

621.3(05)

Э 45

~~201788~~

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1880-1950



госэнергоиздат

1950

7-12

## СОДЕРЖАНИЕ

За творческое развитие передовой науки	3
Б. А. Веников, Г. М. Розанов и Н. Н. Соколов — Характеристики электропередач переменного тока на большие расстояния	8
З. Б. Нейман и К. Ф. Костин — Гидрогенераторы для сельской электрификации	16
В. А. Туманов, В. Г. Гурвич и Е. И. Быков — Развитие энергохозяйства Московского метрополитена	23
И. М. Маркович и С. А. Соловьев — Экспериментальное исследование динамической устойчивости	30
Д. П. Морозов — Энергетика переходных процессов двигателей постоянного тока	38
Э. А. Павлов и А. И. Осипов — Электропилы трехфазного тока 200 гц для лесозаготовок	44
Е. М. Синельников и Г. С. Сомихина — Измерение вращающих моментов асинхронных двигателей при разбеге	48
В. Н. Лобанов, И. М. Камень — Тарифные мероприятия в борьбе за повышение $\cos \varphi$	54
Г. И. Бабат — Трансформаторы электромагнитной энергии	59
<b>ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ</b>	
С. Д. Левинтов — К определению угла $\theta$ в явнополюсных синхронных машинах	64
В. В. Устинов и М. Г. Коган — Высокочастотная установка с колебательным контуром полого типа	65
<b>ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ</b>	
Старейший русский журнал по распространению научных и технических знаний об электричестве (1880—1950)	68
<b>СТАНДАРТЫ И НОРМЫ</b>	
Е. Г. Шрамков — О классификации электроизмерительных приборов	80
<b>ДИСКУССИИ</b>	
К проекту стандарта на номинальные напряжения стационарных электрических сетей	87
<b>ПО СТРАНИЦАМ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ</b>	
<b>ХРОНИКА</b>	
Авторефераты диссертаций	90
25-летие Всесоюзного бюро электрической изоляции ВНИТОЭ	91
Участие ВНИТОЭ в борьбе с электротравматизмом	92
<b>Б. П. Апаров</b>	92
<b>БИБЛИОГРАФИЯ</b>	
Е. В. Чеботарев — Книга К. Г. Марквардта „Энергоснабжение электрифицированных железных дорог“	93
Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике	96



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Доктор техн. наук, проф. **Г. Н. Петров** (редактор), академик **А. И. Берг**,  
доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Бутневич**, доктор техн. наук, проф. **А. А. Гла-  
зунов**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик **В. Ф. Миткевич**,  
канд. техн. наук **И. А. Сыромятников**, член-корр. А. Н. СССР **М. А. Шателен**

Адрес редакции: Москва, Б. Черкасский пер., д. № 2, тел. К 4-24-80.  
Адрес для телеграмм: Москва Электротранс  
Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый  
ящик № 648

**ОБЩЕПРИЗНАНО, ЧТО НИКАКАЯ НАУКА НЕ МОЖЕТ РАЗВИВАТЬСЯ И ПРЕУСПЕВАТЬ БЕЗ БОРЬБЫ МНЕНИЙ, БЕЗ СВОБОДЫ КРИТИКИ.**

**И. В. СТАЛИН**

*Свободные творческие дискуссии по различным отраслям советской науки: философии, биологии, языкоznанию, физиологии, проведенные по указанию ЦК ВКП(б) и товарища Сталина, сыграли исключительно плодотворную роль в дальнейшем развитии передовой советской науки. Новые статьи И. В. Сталина «Относительно марксизма в языкоznании» и «К некоторым вопросам языкоznания» являются гениальным вкладом в науку. Руководствуясь указаниями товарища Сталина, советские учёные новыми открытиями и достижениями приумножат славу отечественной науки.*

## **За творческое развитие передовой науки<sup>1</sup>**

Социалистический строй создал безграничные возможности для быстрого развития науки и практического применения её достижений. На наших глазах происходит то, о чём пророчески говорил Ленин ещё в первые месяцы после победы Великой Октябрьской социалистической революции: «...Только социализм освободит науку от её буржуазных пут, от её порабощения капиталу, от её рабства перед интересами грязного капиталистического корыстолюбия. Только социализм даёт возможность широко распространить и настоящим образом подчинить общественное производство и распределение продуктов по научным соображениям, относительно того, как сделать жизнь всех трудящихся наиболее лёгкой, доставляющей им возможность благосостояния» (Соч., т. 27, изд. 4, стр. 375).

Социализм впервые в истории человечества поставил науку целиком на службу народу. Трудящиеся массы повседневно ощущают благотворность творческого труда советских учёных, значение тех многочисленных научных и технических открытий, которыми из года в год всё больше обогащается Советская страна. В то время как капитализм превращает научные достижения в предмет купли и продажи, использует их для обогащения кучки монополистов, для усиления эксплуатации трудящихся и подготовки новых империалистических войн, — при социализме наука получает возможность оказывать активное воздействие на жизнь десятков миллионов людей, облегчать их труд, поднимать их благосостояние. Наука — важнейшая основа строительства коммунизма, и все практические меры, осуществляемые в нашей стране, вытекают из строго научных предпосылок.

Высоко подняв значение передовой общественной науки в нашей стране, опираясь на преимущества социалистического строя, партия Ленина — Сталина развернула огромную работу по разви-

тию научной мысли во всех областях человеческого знания. И если в первые годы советской власти гениальные ленинские мысли об электрификации страны, о подземной газификации угля, о широком применении других научных достижений казались недальновидным зарубежным наблюдателям не более как фантазией, утопией, то теперь весь мир является свидетелем того, каких огромных успехов достигла наука и техника в Советском Союзе и как быстро претворяются в жизнь самые смелые выводы передовой науки.

Грандиозные стройки сталинских пятилеток, техническое перевооружение всего народного хозяйства были бы немыслимы без широкого развертывания научной работы в нашей стране. Окружённая заботой и вниманием всего советского народа, наука преображала технологические процессы и организацию производства, сна открывала новые несметные богатства в недрах нашей земли, она пришла на колхозные поля и животноводческие фермы, она сопутствовала смелым советским людям, поднимавшимся в стрatosферу и осваивавшим Северный морской путь. Советские учёные дали теоретические основы для конструирования самых современных видов вооружения, доказавших своё превосходство над вражеской техникой в годы Великой Отечественной войны.

Итоги сталинских пятилеток, разгром гитлеровской Германии и империалистической Японии убедительно показали, какими могучими стали советская наука и техника и как выросли научные кадры страны социализма. Нет в настоящее время такой научной или технической проблемы, стоящей перед Советским государством, которую оно не могло бы решить собственными силами. Советская наука возмужала и окрепла настолько, что она может с честью решать все задачи, связанные с постепенным переходом страны от социализма к коммунизму.

Эти новые грандиозные задачи товарищ Сталин поставил перед советскими учёными сразу

<sup>1</sup> Журнал «Большевик» № 11, 1950.

же после победоносного окончания Великой Отечественной войны. Нарисовав величественный план организации нового мощного подъёма народного хозяйства, который дал бы возможность в короткий исторический срок поднять уровень промышленности втрое по сравнению с довоенным, товарищ Сталин указал, что особое внимание должно быть обращено на широкое строительство всякого рода научно-исследовательских институтов, могущих дать возможность науке развернуть свои силы. «Я не сомневаюсь, — сказал товарищ Сталин, — что если окажем должную помощь нашим учёным, они сумеют не только догнать, но и превзойти в ближайшее время достижения науки за пределами нашей страны».

Со времени этой исторической речи товарища Сталина не прошло и пяти лет, а факты уже свидетельствуют о том, что советские учёные успешно решают поставленную перед ними задачу. В соответствии с указаниями товарища Сталина развернулась большая работа по строительству новых научно-исследовательских учреждений. Их количество по сравнению с 1940 годом возросло в полтора раза, а число научных работников в них почти удвоилось. Присуждение правительством Сталинских премий за выдающиеся работы в области науки и коренное усовершенствование методов производственной работы за последние годы особенно ярко показывает, каких замечательных успехов добивается творческая мысль советских людей. Не перечислить всех достижений, которыми учёные порадовали Родину в области автоматики, телемеханики, оптики, радио, химии, биологии и т. д. Тот факт, что наши учёные в короткие сроки овладели секретом производства атомной энергии и атомного оружия, убедительно свидетельствует о колоссальных возможностях советской науки.

Быстрый научный и технический прогресс в Советском Союзе — результат повседневного внимания и заботы о развитии науки со стороны великой партии Ленина — Сталина, руководящей и направляющей силы Советского государства. Партия внимательно следит за процессами, происходящими в науке, окружает заботой учёных и направляет их работу. Наука у нас развивается по плану в соответствии с нуждами народнохозяйственного и культурного строительства, и руководящие идеи партии придают ей огромную жизненную силу.

Партия вооружает научные кадры философией марксизма-ленинизма,ialectическим материализмом, единственно научным мировоззрением и методом познания. Никогда ещё в истории ни одна философская система не оказывала такого благотворного влияния на развитие всех областей человеческого знания, какое оказывает марксистско-ленинское учение. Это учение все-сильно потому, что оно верно, правдиво, даёт совершеннейший инструмент научного исследования, метод, руководствуясь которым все науки могут глубже познавать законы объективной действительности — природы и общества.

В то время как современная буржуазная наука, стремясь продлить существование обречённо-

го на гибель эксплуататорского строя, смертельно боится объективной истины, судорожно изыскивает новые «доводы» для поддержки поповщины, мракобесия, фидеизма, — в Советской стране лженаучные теории разоблачаются, как зло, мешающее нашему движению вперёд. Советская наука — это подлинно объективная наука: стремясь всесторонне и последовательно отражать потребности прогрессивного развития человечества, она не боится правды, а прилагает все усилия к тому, чтобы полнее познать её.

Марксистско-ленинский метод, которым руководствуется советская наука, с начала и до конца проникнут критическим и революционным духом. Только следуя этому методу, требующему единства теории и практики, постоянной проверки теоретических положений в огне живой практики, и можно двигать науку вперёд. Огромное преимущество передовых советских учёных в том, что они всё глубже овладевают методом материалистической диалектики, творчески относятся к науке, не пасуют перед установленными взглядами, а неустанно проверяют их и смело опровергают устаревшие положения.

Товарищ Сталин учит советских научных работников тому, что в науке не может быть канонов и застывших догм. Большевистская партия развивает у наших учёных дух творчества, постоянную жажду докапываться до истины. «Наука, — говорит товарищ Сталин, — потому и называется наукой, что она не признаёт фетишей, не боится поднять руку на отживающее, старое и чутко прислушивающееся к голосу опыта, практики. Если бы дело обстояло иначе, у нас не было бы вообще науки, не было бы, скажем, астрономии, и мы всё ещё пробовали бы обветшалой системой Птоломея, у нас не было бы биологии, и мы всё ещё утешались бы легендой о сотворении человека, у нас не было бы химии, и мы всё ещё пробовали бы прорицаниями алхимиков» («Вопросы ленинизма», изд. 11, стр. 502).

Исклучительное, поистине историческое значение для воспитания советских учёных в духе творческого отношения к науке имело выступление товарища Сталина на приёме в Кремле работников высшей школы 17 мая 1938 года. Товарищ Сталин поднял тост «за процветание науки, той науки, люди которой, понимая силу и значение установленных в науке традиций и умело используя их в интересах науки, всё же не хотят быть рабами этих традиций, которая имеет смелость, решимость ломать старые традиции, нормы, установки, когда они становятся устаревшими, когда они превращаются в тормоз для движения вперёд, и которая умеет создавать новые традиции, новые нормы, новые установки». Это был призыв к смелости в науке, к постоянному развитию научных знаний, не терпящих самоуспокоенности, канонизации отдельных положений в науке, какими бы бесспорными они ни казались.

Товарищ Сталин привёл в пример советским учёным великого Ленина, который умел ломать старое и создавать новое, несмотря ни на какие препятствия, который не боялся идти против течения, против косности, а смело вёл борьбу про-

тив устаревшей науки и прокладывал дорогу для новой науки. Воспитывая именно такое ленинско-сталинское отношение к науке у советских учёных, большевистская партия создаёт все необходимые условия для развития критики и самокритики в науке, активно поддерживает всё новое, передовое, помогая ему в борьбе со старым, отживающим. Партия указала, как велико значение широких, свободных дискуссий для развития наук. Столкновение мнений, сопоставление точек зрения, борьба различных научных школ помогают глубже познавать истину, отбрасывать прочь устаревшие взгляды, расчищать дорогу для новых открытий и достижений. В советском обществе, где не слепая борьба стихийных сил, как при капитализме, а сознательная деятельность людей определяет развитие во всех отраслях общественной жизни, систематически проводимые научные дискуссии становятся одним из важнейших условий успешного движения науки вперёд.

Выдающимся примером такой научной дискуссии является дискуссия по вопросам биологии, проведённая под направляющим влиянием большевистской партии и руководящих идей товарища Сталина. Обсуждение вопросов теории наследственности поставило большие принципиальные вопросы о борьбе подлинной науки, основанной на принципах материализма, с реакционно-идеалистическими пережитками в научной работе. Эта дискуссия, подчеркнувшая творческое значение материалистических принципов для всех областей науки, привела к новым успехам научно-теоретической работы в нашей стране, ускорила появление ряда работ советских учёных, обогативших биологию новыми исследованиями проблемы неклеточных форм жизни и происхождения жизни, новыми данными о природе вирусов и микробов. Новейшие работы О. Б. Лепешинской, развивая передовое материалистическое направление в биологии, ломают старые традиционные представления, тормозящие развитие науки о жизни, и создают новые взгляды, способствующие познанию законов живой природы и вооружению советских людей умением управлять этими законами. Большой интерес в этом отношении представляет и новаторская работа Г. М. Бошьяна «О природе вирусов и микробов».

Однако далеко не во всех сферах науки сделаны необходимые выводы из прошёлшей дискуссии по вопросам биологии, не все поняли, что такого рода дискуссии должны входить в систему, стать постоянным методом научной работы. Значение научной критики и самокритики возвращает по мере того, как наша наука достигает всё больших и больших успехов. Теперь, когда во многих вопросах науки и техники мы далеко остались позади зарубежных учёных, только постоянная критическая проверка того, что уже достигнуто советскими учёными, может гарантировать нас от застоя и самоуспокоенности, способствовать появлению ещё более значительных достижений.

Междуд тем далеко не во всех научных областях такая критика развернута. Взять, например, советское языкознание. Достижения советских

учёных в этой области значительны и не идут ни в какое сравнение с тем, что представляет лингвистика в буржуазных странах. У нас языкознание — это подлинная наука, связанная с историей, археологией, помогающая познавать мир и строить новую культуру народов Советского Союза. Лингвистика в капиталистических государствах — это лженаука, искажающая историю и поставленная на службу интересам империализма. Неизмеримое превосходство советского языкознания над буржуазным бесспорно. Но из-за того, что за последние годы среди советских языковедов не развертывалась научная критика и самокритика, — в науке о языке проявился застой, устаревшие положения канонизировались. Развернувшаяся на страницах «Правды» свободная дискуссия по вопросам языкознания, несомненно, откроет новые широкие перспективы этой науке и окажет благотворное влияние на творческое развитие других наук.

Положение, создавшееся на фронте языкознания, с новой силой подчёркивает значение указания товарища Сталина о том, что в науке нельзя быть рабом традиций и канонизировать устаревшие установки. Ленин и Сталин дали классическое определение того, как надо относиться к традициям, наследству, оставляемому предшествующими поколениями. «Хранить наследство — вовсе не значит ещё ограничиваться наследством», — говорил Ленин, указывая, что ученики должны хранить наследство не так, как архивариусы хранят старую бумагу, а развивать наследство, постоянно пересматривать его в свете новых фактов. Только так и может относиться к уже достигнутому подлинно передовая наука; иного отношения к наследству и не мыслят себе творческие работники.

Все великие люди науки, новаторы, прокладывавшие новые пути, призывали своих учеников не преклоняться перед авторитетами, не бояться опровергнуть те или иные положения, если они не соответствуют новейшим данным, накопленным наукой. Великий русский учёный И. В. Мичурин писал: «Мои последователи должны опережать меня, противоречить мне, даже разрушать мой труд, в то же время продолжая его. Из только такой последовательно разрушающей работы и создаётся прогресс». Ученики Мичурина глубоко прониклись этим заветом, они развивают передовую биологию дальше, экспериментируют, сопоставляют новые данные с теми, которые были известны раньше, и этодвигает науку вперёд, открывает перед ней всё новые и новые перспективы.

В то же время есть и такие научные работники, которые объявляют себя последователями Мичурина и охотно клянутся его именем, но фактически очень мало делают, чтобы обогащать мичуринскую науку новыми достижениями. К мичуринскому наследству такие «последователи» относятся почти так же, как архивариусы — к хранению бумаг. Более того: наряду с чисто словесным признанием достижений передовой материалистической биологии отдельные научные работники продолжали заниматься «разработкой» вопросов, давно решённых наукой и практикой. Так,

например, до недавнего времени Всесоюзный научно-исследовательский институт удобрения, агротехники и агропочвоведения в полном отрыве от колхозов, от практики занимался никчёмными изысканиями в духе давно отвергнутой теории плодосмена. В такой же оторванности от практики социалистического сельского хозяйства протекала работа Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации. Характерно, что и в том и в другом институте царила атмосфера взаимного восхваления друг друга, а декларативное признание величайшего значения передовой теории сочеталось с бездеятельностью в области дальнейшего развития теории.

Можно сослаться и на положение дел в области передовой материалистической физиологии. Всем памятны страстные слова, с которыми обращался великий русский физиолог-материалист Иван Петрович Павлов к молодёжи. Он говорил своим последователям: «...Старайтесь не оставаться у поверхности фактов. Не превращайтесь в архивариусов фактов. Пытайтесь проникнуть в тайну их возникновения. Настойчиво ищите законы, ими управляющие». Павлов воспитывал дух творческих исканий, который должен сопровождать каждому учёному в его работе. Но далеко не все последователи Павлова восприняли его неукротимое творческое горение, постоянное стремление расширять границы человеческого знания. Среди советских физиологов есть и такие, которые полагают, что можно быть верным Павлову, не давая себе труда обогащать павловское наследство, бороться с извращением этого учения. Предстоящая в конце июня совместная научная сессия Академии наук СССР и Академии медицинских наук, посвящённая обсуждению проблем физиологического учения академика И. П. Павлова, несомненно, наметит задачи и перспективы развития идей гениального русского физиолога. Дискуссия, которая должна развернуться на сессии, будет способствовать дальнейшим успехам передовой материалистической физиологии.

Свободная научная дискуссия — важнейшее условие поступательного движения науки вперед; и, наоборот, стремление уклониться от дискуссии, попытка канонизировать любое положение, высказанное признанным авторитетом в науке, ведет к застою. И уж совсем пагубные результаты получаются, когда на руководящих постах в научных учреждениях оказываются люди, не понимающие роли творческого обмена мнениями. К сожалению, есть такие «хапуги» в науке, которые стремятся обеспечить проведение своих идей прежде всего путем захвата организационных позиций. И тогда на научной арене действуют не аргументы, не научные доказательства, а организационные меры. Такие работники не вступают в споры со своими научными противниками, а предпочитают расправляться с ними чисто административным путем. Надо решительно бороться с «администрированием» в науке; успешное разрешение научных проблем возможно только путем свободных дискуссий, в ходе соревнования различных научных школ. В условиях,

когда нет критики и самокритики, нет творческих дискуссий, появляются «монополисты» в той или иной научной области.

Товарищ Сталин призывает к развитию той науки, «которая не дает своим старым и признанным руководителям самодовольно замыкаться в скорлупу жрецов науки, в скорлупу монополистов науки, которая понимает смысл, значение, всесилье союза старых работников науки с молодыми работниками науки, которая добровольно и охотно открывает все двери науки молодым силам нашей страны и дает им возможность заевовать вершины науки, которая признает, что будущность принадлежит молодежи от науки».

Отсутствие критики и самокритики, творческих дискуссий наносит ущерб делу правильно-го воспитания кадров. Обстановка открытых споров развивает такие важнейшие качества ученых, как принципиальность, смелость, умение отстаивать свою точку зрения, бороться за истину, не взирая на лица. Там же, где отсутствует действительно научное обсуждение вопросов, развивается беспринципность, а нелицеприятная критика подменяется приятельскими отношениями и подобострастием к работникам, занимающим видное положение в науке. Имеются, к сожалению, и такие, правда, единичные, случаи, когда отдельные научные работники уклоняются от прямой и ясной оценки того или иного научного открытия или изобретения и, чтобы не испортить отношения или не попасть не в то, предпочитают отдаваться общими, ни к чему не обязывающими фразами. Можно сослаться хотя бы на то, что многие наши научные медицинские журналы уклоняются от обсуждения острых вопросов современной медицины. Некоторые профессора — серьёзные специалисты в своей области — не находили мужества отстаивать свою точку зрения в вопросах, касающихся их специальности, только потому, что в какой-либо газете появилась по этим вопросам рецензия или статья, к тому же не всегда достаточно квалифицированная. Так, например, некоторые выступления «Литературной газеты» по конкретным вопросам науки молчаливо принимались отдельными научными работниками чуть ли не как директивные, хотя и содеряли спорные и даже ошибочные положения, которые специалисты могли бы и должны были бы тут же поправить. Учёный не может отмалчиваться или одобрять то, с чем он не согласен. Беспринципность не к лицу советскому научному работнику, она ничего общего не имеет с духом передовой науки.

Советский народ, большевистская партия заинтересованы в том, чтобы наши учёные проникали всё глубже и глубже в познание законов природы и учились управлять этими законами. Надо со всей решительностью бороться против проявления буржуазных взглядов в науке, разоблачать враждебное идеалистическое мировоззрение. Советские учёные не дискусируют с мракобесами, с представителями буржуазной лженауки, а разоблачают их беспощадно, искореняют растленную буржуазную идеологию. Но следует различать критику, разоблачающую враждебные советскому

обществу взгляды, и критику, призванную помочь советским людям исправлять свои ошибки и недостатки, двигаться вперёд, постоянно совершенствоваться. При всей прямоте, резкости и принципиальности, которыми отличается подлинно большевистская критика по отношению к честным советским людям, она всегда носит товарищеский характер, стремится не подрывать у работников веру в свои силы, а, наоборот, возбуждать у них прилив творческой энергии. Партия решительно осуждает критику заушательскую, злорадствующую по поводу допущенных ошибок; партия учит бережно относиться к кадрам, поддерживать всякого работника, который может принести пользу нашему делу, требует, чтобы критика, вскрывая недостатки, помогала быстрее их исправить. Именно такой должна быть критика на творческих научных дискуссиях, которые следуют сделать постоянной формой работы наших научно-исследовательских учреждений и высших учебных заведений. Это значит, что на заседаниях учёных советов, на кафедрах, конференциях следует не только заслушивать научные доклады, как нередко бывает, а всесторонне обсуждать их. Нельзя считать нормальным, когда не разворачивается обсуждение при рассмотрении диссертационных работ. Необходимо поднять роль наших многочисленных научных журналов в творческом обсуждении важнейших проблем науки.

Очень важное дело — публикация научных трудов, монографий, учебных пособий, а между тем это отсталый участок. Нельзя считать, например, нормальным, что в большинстве высших учебных заведений прекратилось издание отдельных лекций и целых учебных курсов, читаемых профессорами. Опыт показывает, что подлинно научные пособия обычно возникают на основе из года в год читаемых лекционных курсов, которые после тщательной работы кафедры над ними издаются для внутреннего пользования, потом широко обсуждаются, исправляются и, в конце концов, вырастают в полноценные книги, в которых так нуждаются наши научные кадры и учащаяся молодёжь.

Любое из наших научно-исследовательских учреждений, учебных заведений располагает широкими возможностями для повышения творческой активности своих работников и достижения новых успехов в науке. Важнейшим условием претворения этих возможностей в действительность является всемерное укрепление связи науки с жизнью, с производством. Требование единства теории и практики — одно из коренных положений метода марксизма-ленинизма. Развивая это положение, товарищ Сталин показал, что подлинно передовая наука — та, которая «не отгораживается от народа, не держит себя вдали от народа, а готова служить народу, готова передать народу все завоевания науки, которая обслуживает народ не по принуждению, а добровольно, с охотой». Патриотическое движение советских учёных за укрепление связи науки с производством ярко свидетельствует об их горячем стремлении активнее помогать практикам.

Принципиальное значение этого патриотического движения, охватывающего всё большее число научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений, заводов, колхозов, состоит не только в том, что работники науки приходят на помощь производству. Теснее связываясь с практикой, обогащается и сама наука, в научное творчество вовлекаются широкие массы трудящихся. Уходит в прошлое то время, когда пути в науке прокладывались только в тиши академических лабораторий и кабинетов. Нужно ли доказывать, что без массового развития опыта в колхозах, без многочисленной армии борцов за высокие урожаи мичуринская биология не могла бы достичь таких успехов, каких она достигла в настоящее время в Советском Союзе. Без стахановского движения с его новаторскими методами во всех областях производства не могло быть и многих тех достижений, которыми справедливо гордится советская техника. Всё чаще и чаще рабочие-стахановцы, новаторы производства, с успехом выступают в научных аудиториях, излагая с кафедры свой опыт, свои искания, — и это наталкивает людей науки на новые дерзания, на новые открытия.

Связь с жизнью, с производством, с запросами практики и есть то важнейшее условие, без которого не может быть никакого развития науки. «Наука, порвавшая связи с практикой, с опытом, — какая же это наука?» — говорит товарищ Сталин. Сила передовой советской науки в том и состоит, что она не оторвана от жизни, а, внимательно изучая данные опыта, оплодотворяет практику новыми идеями, является прожектором, освещющим путь к новым и новым достижениям. И чем более крепкими будут связи деятелей науки с практикой, с опытом, тем успешнее наука сможет решать задачи, встающие перед нашей страной. А задачи эти всё время растут и усложняются.

Развитие советского общества от социализма к коммунизму предъявляет новые требования к науке. Товарищ Сталин, характеризуя коммунистическое общество, в числе важнейших его черт указывал на то, что это будет общество, «где народное хозяйство, организованное по плану, будет базироваться на высшей технике как в области индустрии, так и в области сельского хозяйства»; что это будет общество, «где наука и искусство будут пользоваться условиями достаточно благоприятными для того, чтобы добиться полного расцвета». Советский Союз быстрыми шагами идёт по пути к коммунизму, и роль науки во всех областях жизни нашей страны возрастает неизмеримо. Расширяется объём научной деятельности, меняется самое её содержание. Общество, свободное от антагонистических противоречий, присущих эксплуататорскому строю, сплотившееся в нерушимом морально-политическом единстве, приобретает могучую силу, позволяющую всё более успешно подчинять себе природу.

Современный мир раскололся на два лагеря. Лагерь поджигателей войны, подавляя всякое

свободное слово передовых учёных, тщится подчинить науку своим человеконавистническим целям. В этих условиях благородное служение советской науки интересам мира и прогресса укрепляет у честных людей всех стран уверенность в неминуемой гибели сил реакции и мракобесия на всём земном шаре.

Благодаря партии Ленина — Сталина советская наука стала самой передовой в мире, а советские учёные завоевали величайший авторитет

и глубокое уважение среди прогрессивных учёных всего мира. Советские учёные окружены горячей любовью своего народа, постоянными заботами партии и правительства. Вдохновляемая великими целями борьбы за коммунизм, возглавляемая гениальным учёным нашего времени, корифеем науки, вождём трудящихся всего мира Сталиным, советская наука добьётся новых творческих успехов на благо нашей Родины и всего прогрессивного человечества.



## Характеристики электропередач переменного тока на большие расстояния

*Кандидат техн. наук, доц. В. А. ВЕНИКОВ, кандидат техн. наук, доц. Г. М. РОЗАНОВ и инж. Н. Н. СОКОЛОВ<sup>1</sup>*

*Московский энергетический институт им. Молотова*

Известные средства увеличения устойчивости позволяют ценой некоторого усложнения электропередачи осуществлять передачу энергии переменным током на любые экономически оправданные расстояния. Еще не обходится очень большая работа для реализации всех средств, увеличивающих пропускную способность электропередач, но можно утверждать, что предельная дальность передачи переменным током определяется, в сущности, уже не столько техническими, сколько экономическими соображениями.

Однако с увеличением расстояний возрастают потери энергии и стоимости сооружения электропередачи, что может при определенных условиях сделать дальнюю электропередачу экономически неоправданной.

**Экономические характеристики** длинных и мощных электропередач переменного тока, как видно по рис. 1, заметно улучшаются применением весьма высоких (400 кв) напряжений. Переход к таким напряжениям позволяет снизить потери (рис. 2) и повысить пропускную способность передачи.

Дальнейшему увеличению пропускной способности содействуют мероприятия, направленные на

развитие систем Советского Союза, сооружение крупных электростанций, удаленных от центров основного потребления электрической энергии, выдвигает перед советскими энергетиками задачу — освоить передачу сверхвысоких мощностей на расстоянии 1000 км и больше. В статье рассмотрены основные вопросы проектирования линий передач, отвечающих указанной задаче. Дан анализ технико-экономических показателей линий 220, 400, 440 кв, рассмотрены характеристики механической части линий, определены потери на корону и приближенно определена грозоупорность.

повышение устойчивости передачи. Здесь в первую очередь должно быть отмечено применение расщепленных проводов, обеспечивающих уменьшение индуктивности, увеличение емкости и возрастание натуральной мощности линии при одновременном ограничении потерь мощности на корону [Л. 1]. Весьма эффективным мероприятием является также последовательное включение статических конденсаторов в линию передачи (серийная компенсация).

**Технические возможности** электропередачи 400 кв характеризуются рис. 3, показывающим предельное расстояние передачи мощности по двухцепной линии, выполненной расщепленным (два в фазе) проводом. Предполагается, что в начале передачи, характеристика которой дана на рис. 3, установлены дроссели, мощность которых выбирается так, чтобы фактический коэффициент мощности генераторов был равен их номинальному коэффициенту мощности.

Значительное увеличение расстояния передачи (без применения серийной компенсации) дает дальнейшее улучшение параметров передачи: переход к большему числу расщепленных проводов, уменьшение реактивности и увеличение постоянной инерции генераторов, применение насыщенных дросселей, синхронных компенсаторов, дросселей на переключательных пунктах и т. д. Применение этих мероприятий резко расширяет масштабы передачи. Применением серийной компенсации электрические длины любых передач могут быть сведены к предельным их значениям, указываемым кривой рис. 3. При этом во всех рассмотренных случаях предполагается ре-

<sup>1</sup> Статья отражает результаты работы, выполненной кафедрой Электрических сетей и систем МЭИ при участии кафедр Сопротивления материалов и Техники высоких напряжений. Работа проводилась под руководством [П. С. Жданова]; в работе, кроме авторов, участвовали Д. А. Федоров, Л. А. Жуков, Л. А. Солдаткина.

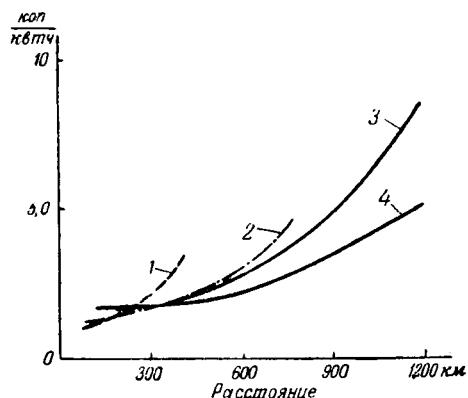


Рис. 1. Стоимость передачи энергии при различных напряжениях.

1 - электропередача 110 кВ; 2 - то же, 220 кВ;  
3 - электропередача 400 кВ без серийной компенсации; 4 - то же, с серийной компенсацией.

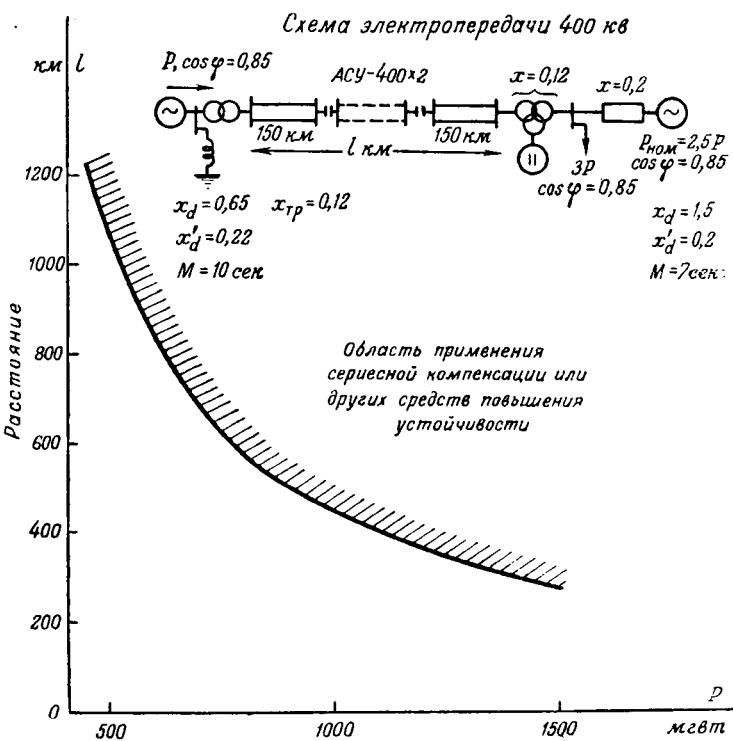


Рис. 3. Дальность передачи электроэнергии по двум цепям 400 кВ (без серийной компенсации) с коэффициентом запаса статической устойчивости (действительный предел) в нормальном режиме, равным 10 %, и времени отключения трехфазного короткого замыкания  $t = 0,1$  сек.

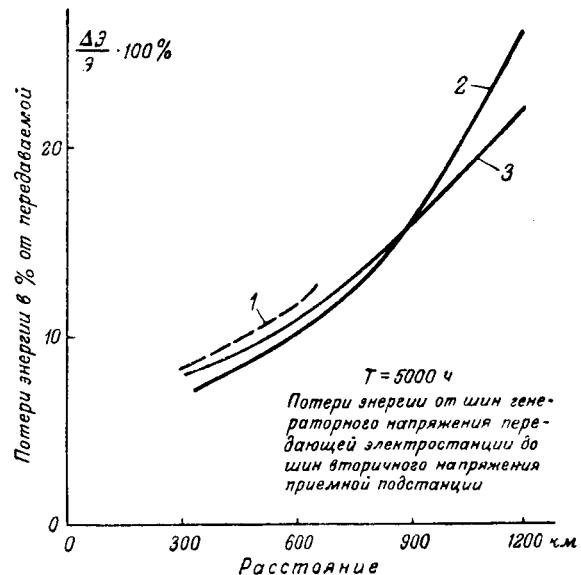


Рис. 2. Относительные потери энергии в зависимости от расстояния и передаваемой мощности.  $T = 5000$  ч  
— 500 000 час.

1 - электропередача 220 кВ,  $P = 500$  мегавт, электропередача 400 кВ; 2 -  $P = 500$  мегавт; 3 -  $P = 1000$  мегавт.

жим с наивысшим эксплуатационным напряжением, обеспечивающим наибольшую пропускную способность электропередачи. Напряжения по концам передачи принимаются одинаковыми, что, как показал соответствующий анализ, наиболее экономично при передаче мощностей порядка натуральной на расстояния свыше 500—600 км.

Для осуществления этих режимов необходимо значительное количество шунтирующих дросселей, синхронных компенсаторов и при длинах, требующих применения серийной компенсации, статических конденсаторов. Изменение суммарной мощности этого оборудования в зависимости от длины передачи и передаваемой по линии активной мощности показано на рис. 4. При этом мощность серийных конденсаторов, устанавливаемых согласно схеме, показанной на рис. 3, определяется нормальным режимом их работы.

Защита от кратковременных перегрузок должна осуществляться специальными мероприятиями. Потери энергии играют существенную роль при определении экономической целесообразности передачи. При напряжении 400 кВ зависимость величины потерь от передаваемой мощности имеет U-образный характер (рис. 5). Этот ход кривых обусловливается наличием значительных, независящих от величины передаваемой мощности, потерь на корону и потерь от протекания емкостных токов. Особенно велико влияние постоянных потерь в случае малых удельных загрузок цепей электропередач. В таких передачах при снижении нагрузок целесообразным оказывается выключение части цепей.

Основную долю потерь энергии в электропередачах составляют потери в линии, достигающие 70—80 % от суммарных потерь при больших расстояниях и 40—65 % при передачах умеренной (300—600 км) длины.

**Потери энергии на корону**, оказывающие заметное влияние на экономические характеристики передачи 400 кВ, существенно зависят от выполнения линии (с одиночными или расщепленными проводами) и диаметра примененных проводов. Для выбора целесообразного диаметра провода необходимо определение годовых потерь энергии на корону и проведение технико-экономического анализа вариантов различного конструктивного выполнения механической части линии электропередач.

Современное состояние теории короны не дает сколько-нибудь надежных методов определения

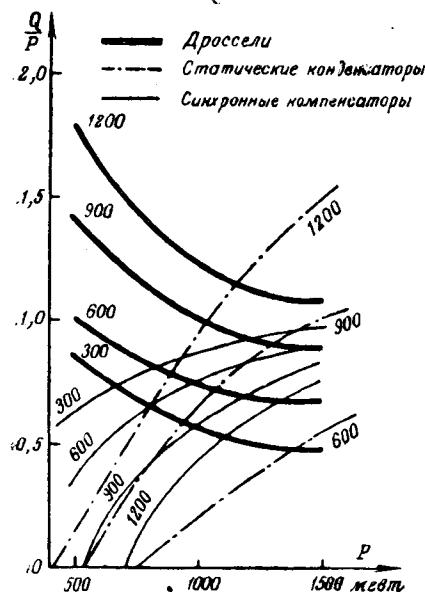


Рис. 4. Относительная мощность (в долях от передаваемой) дросселей, синхронных компенсаторов и серийных конденсаторов для электропередач 400 кв, выполненных проводом  $2 \times \text{ACU}-400$ .

Рис. 5. Потери мощности и энергии в электропередачах 400 кв (2 цепи с проводом  $2 \times \text{ACU}-400$ ) в процентах от передаваемой.  $T = 5000$  час.

потерь при различных метеорологических условиях. Поэтому определение величины потерь энергии, необходимое при установлении экономических характеристик передач различных типов, пришлось проводить путем пересчета имеющихся экспериментальных данных [Л. 2]. Примененный метод пересчета основывался на вытекающем из условия частичного подобия приближенном допущении, согласно которому при соблюдении соотношения

$$\frac{\delta_1^a}{E_{\max_1}} = \frac{\delta_2^a}{E_{\max_2}} = \text{idem}; \quad (1)$$

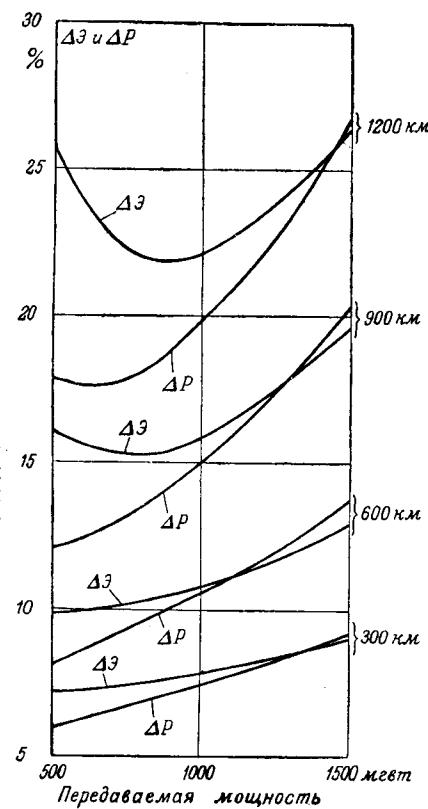
потери в различно выполненных линиях, но при одинаковом числе расщепленных проводов и при приблизительно одинаковом их диаметре одинаковы.

Здесь  $E$  — напряженность поля;

$\delta$  — относительная плотность воздуха;

$a$  — коэффициент, равный  $1 - \frac{2}{3}$ .

Этот метод не претендует на точность и может рассматриваться только как приближенный рабочий метод для определения среднегодовых потерь. Таким путем и были пересчитаны к принятым расчетным данным и метеорологическим условиям предполагаемых трасс электропередач имеющиеся экспериментальные данные. Было установлено, что величина среднегодовых потерь на корону, — наиболее существенная при технико-экономическом анализе, — очень сильно зависит от метеорологических условий на трассе линии передачи. Так, на трассах линий, проходящих в Европейской части СССР, при наиболее неблагоприятном сочетании метеорологических условий, среднегодовые потери при рабочем напряжении 400 кв могут доходить до 2,4 квт на 1 км на фазу при проводах типа  $2 \times \text{ACU}-400$ , 1,52 квт на 1 км на фазу при  $2 \times \text{ACU}-500$  ( $d=32$  мм) и 1,3 квт на 1 км на фазу при проводах  $2 \times \text{ACU}-600$  ( $d=34$  мм). При более благопри-



ятных условиях погоды значения среднегодовых потерь, как это видно из кривых рис. 6, получаются значительно меньшими.

Аналогично устанавливаются значения потерь для напряжения 220 и 440 кв.

Нельзя не отметить, что отсутствие надлежащих метеорологических сведений заставляет указанные выше величины рассматривать только как ориентировочные. При выборе диаметра провода допускаемая величина потерь на корону должна составлять определенную долю от потерь на нагревание. В первом приближении [Л. 1] эта доля принималась равной 15—20%.

Настоящая работа позволила уточнить соотношение потерь короны и нагревания, выявив его зависимость от передаваемой мощности, длины и напряжения передачи.

Рис. 7 показывает зависимость отношения  $\frac{\Delta\mathcal{E}_k}{\Delta\mathcal{E}_n}$  от передаваемой мощности.

Здесь  $\Delta\mathcal{E}_k$  — потери на корону;  $\Delta\mathcal{E}_n$  — потери на нагревание проводов.

Значения  $\frac{\Delta\mathcal{E}_k}{\Delta\mathcal{E}_n}$ , отвечающее экономическим плотностям тока, будут оптимальными. Так, например, при передаче натуральной мощности по линии 400 кв длиной 1200 км, выполненной проводами  $2 \times \text{ACU}-500$ , оптимальное отношение  $\frac{\Delta\mathcal{E}_k}{\Delta\mathcal{E}_n}$  равно 0,15. Соответственно при линии длиной 900 км — 0,19 и при линии 600 км — 0,25.

При передачах 450 мгв по двухцепной линии длиной 1200 км отношение  $\frac{\Delta\mathcal{E}_k}{\Delta\mathcal{E}_n}$ , отвечаю-

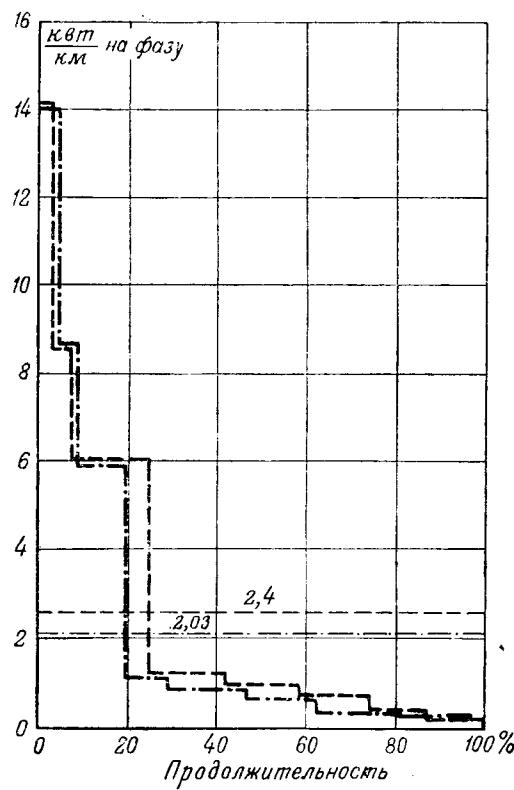


Рис. 6. График продолжительности потерь на корону на коротком участке линии при наиболее и наименее благоприятных метеорологических условиях. Расщепление на два провода  $d = 29,3$  мм. Напряжение 400 кв.

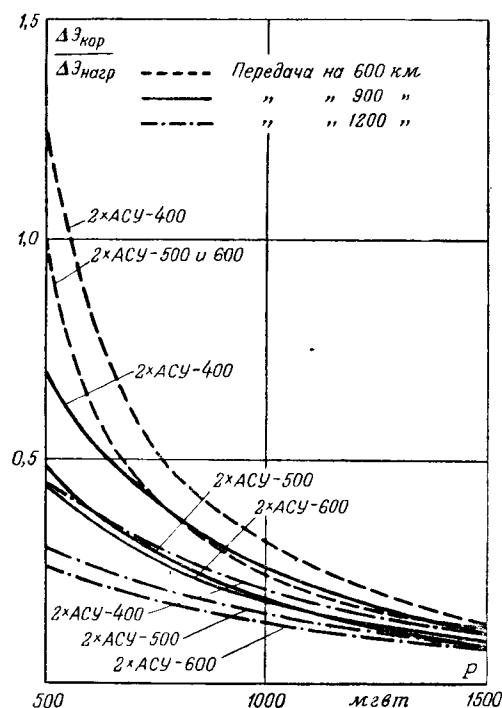


Рис. 7. Отношение  $\frac{\Delta\mathcal{E}_k}{\Delta\mathcal{E}_n}$  для двух цепей электропередач 400 кв с расщепленными проводами  $2 \times ACU-400$ ;  $2 \times ACU-500$  и  $2 \times ACU-600$  в зависимости от передаваемой мощности.  $\Delta\mathcal{E}_k$  — годовые потери энергии на корону;  $\Delta\mathcal{E}_n$  — потери на нагревание ( $T = 5000$ ).

шее экономической плотности тока, составляет 1,50, а при передачах 750 мвт на расстояние 600 к.и—0,35. Для передач 440 кв отношение  $\frac{\Delta\mathcal{E}_k}{\Delta\mathcal{E}_n}$  несколько увеличивается.

**Линии с расщепленными проводами** (два в фазе) были приняты в качестве основного типа линий передач 400 кв. При этом обеспечивается достаточное увеличение пропускной способности линии и допустимые потери на корону при применении проводов марки ACU-400-600. В отдельных случаях при необходимости увеличения пропускной способности может оказаться более рациональным применение линий с расщеплением фазы на три или четыре провода. Расчеты опор для линии с расщепленными проводами следует проводить, исходя из расчета обрыва одного провода в пучке расщепленных проводов. Такой подход, практически вполне допустимый, приводит к снижению веса опоры, уменьшению количества изоляторов и, следовательно, снижению стоимости линии.

Рассмотрение большого количества конструкций<sup>2</sup> различных типов показало, что наиболее легкой по весу, удобной по транспортировке и монтажу является опора типа «рюмка» с же-

зобетонным фундаментом (рис. 8). Сопоставление этой опоры с распространенной в СССР опорой портального типа показывает, что вес и объем железобетонных фундаментов опоры типа «рюмка» получается значительно меньше (9,9 т вместо 11,65 т, соответственно 14,4 м<sup>3</sup> вместо 26,8 м<sup>3</sup>). Интересно отметить, что вес промежуточной опоры для проводов типа 1 ACUP 650 220,  $2 \times ACU-400$  и  $4 \times ACU-185$  получается практически одинаковым.

Расчеты, связанные с выбором типа опоры, велись в предположении закрепления проводов на промежуточных опорах в глухих зажимах. При аварийном режиме принимался обрыв одной фазы при нерасщепленных проводах и обрыв всех проводов фазы при расщепленных проводах.

Изменение расчетного аварийного режима, рассмотрение обрыва одного провода в пучке расщепленных проводов вместо обрыва всех проводов (при глухих зажимах) приводит к значительному (на 25—30%) уменьшению веса промежуточных опор. Те же результаты дает применение выпускающих зажимов при расчете на обрыв всех проводов в фазе. Так, вес опоры типа «рюмка», предназначенный для указанных выше типов проводов, при длине гирлянды изоляторов 5,25 м, уменьшается до 6,6 т при длине пролета 400 м, до 7,1 т при пролете 450 м и 7,7 т при пролете 500 м.

<sup>2</sup> Конструкции опор разрабатывались кафедрой Сопротивления материалов МЭИ (М. А. Левит) при участии кафедры Электрических сетей и систем.

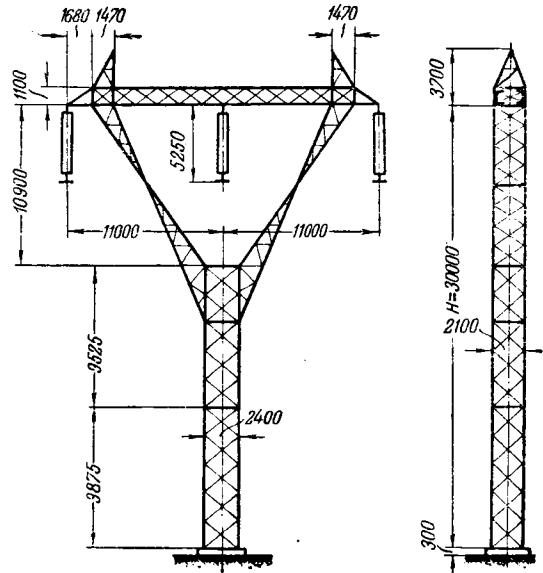


Рис. 8. Опора типа „рюмка“ с железобетонным фундаментом.

Рассмотрим влияние различных факторов на вес промежуточной опоры.

1. Зависимость веса промежуточной опоры от диаметра провода при двух проводах в фазе, при длине пролета 450 м, при глухих зажимах и расчете на обрыв всех проводов фазы показана на рис. 9. Веса опор анкерного типа с увеличением диаметра, а следовательно, и сечения провода также возрастают, что приводит к росту стоимости сооружения 1 км линии.

2. Влияние изменения длины пролета на вес промежуточной опоры при расщепленных проводах 2×ACU-400 при тех же, что и выше, прочих расчетных условиях можно характеризовать следующими цифрами: при длине пролета 400 м опора имеет вес 8,73 т и при длинах 450 и 500 м — 9,85 и 10,8 т соответственно. Принимая вес опоры на 1 км линии для пролета 450 м за единицу, получим, что вес опор при других пролетах составляет 0,996 при пролете 400 м и 0,99 при пролете 500 м. Вес металла при пролете 500 м получается, таким образом, наименьший. Если принять во внимание уменьшение количества гирлянд изоляторов с увеличением длины пролета, то длина пролета 500 м окажется наиболее экономичной. Веса опор анкерного типа практически одинаковы, так как их вес определяется аварийным режимом, а натяжения проводов для рассматриваемых случаев почти одинаковые.

3. Влияние изменения длины гирлянды изоляторов. Сопоставление расчетов промежуточных опор, проведенных при указанных выше условиях для длин гирлянды изоляторов 4,75, 5,25 и 6 м показало, что вес опор практически не изменяется. Это объясняется тем, что с удлинением гирлянды изоляторов высота опоры увеличивается, но уменьшается натяжение оборванного провода, благодаря чему и остается неизменным вес опоры.

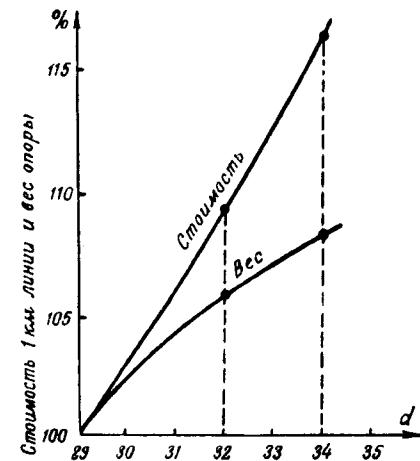


Рис. 9. Изменение стоимости 1 км линии и веса промежуточной опоры с изменением диаметра проводов 2×ACU.

Соотношение стоимостей сооружения линий различной конструкции дается таблицей 1, показывающей экономическую целесообразность применения для линий 400 кв расщепленных проводов.

Таблица 1

Ориентировочные соотношения стоимостей 1 км линий с одним проводом в фазе и с расщепленными проводами, %

	1×ACU- $\frac{650}{2:0}$	2×ACU-400	4×ACU-185
Вариант I . . . . .	100	97	104
Вариант II . . . . .	100	89	94

Полная стоимость сооружения 1 км линии складывается из основных и дополнительных затрат. При подсчете основных затрат было принято: коэффициент использования пролета 0,9, число промежуточных опор 75%, анкерных 15% и угловых 10%.

Приведенная в табл. 1 полная стоимость сооружения 1 км линии определена в двух вариантах: 1) для всех марок проводов (обрыв всех проводов в фазе, глухие зажимы); 2) для расщепленных проводов (обрыв одного провода в фазе или выпускающие зажимы).

При проведении анализа предполагалось, что на линиях 400 кв будут применяться изоляторы типа П-7. Эти изоляторы должны монтироваться в виде трех гирлянд (опоры анкерного типа) и двух или одной гирлянды в зависимости от варианта (опоры промежуточные). В случае применения специальных изоляторов типа ВЭИ, имеющих строительную высоту 180 мм и диаметр тарелки 310 мм с гарантированной испытательной нагрузкой 10,5 т, число гирлянд изоляторов будет соответственно меньше, а именно: две гирлянды (опора анкерного типа) и одна гирлянда (опоры промежуточные).

Для обеспечения импульсного разрядного напряжения в пределах 1 800—2 000 кв необходимо иметь в гирлянде 21—22 элемента типа ВЭИ.

**Экономические возможности передачи** устанавливаются, исходя из двух основных показателей: стоимости передачи энергии и капитальных затрат на 1 квт переданной мощности. Под стоимостью передачи электроэнергии понимаются ежегодные расходы, отнесенные к переданной энергии. При этом принимается, что передача имеет число часов использования максимума  $T=5\ 000$  и стоимость потерянной энергии определяется по средневзвешенной стоимости энергии в энергосистемах (10 коп/квтч).

Отчисления от капитальных затрат на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание принимались 8%—для линий передач и 10%—для подстанций.

При определении экономических показателей капитальные затраты подсчитывались по следующим данным (цены 1945 г.):

Таблица 2

	220 кв	400 кв
Линии передачи с расщепленными проводами		
2-АСУ-400 . . . . .	—	300 тыс. руб/км
Линии передачи на двухцепных металлических опорах с проводом		
· АСУ-400 . . . . .	240 тыс. руб/км	
То же на одноцепных . . .	150 . . . . .	
Трансформаторы 400/10 кв	— . . . . .	30 руб/квт
Трансформаторы		
400/110/10 кв . . . . .	— . . . . .	40 . . . . .
Трансформаторы 220/10 кв	16 руб/квт	
Трансформаторы		
220/110/10 кв . . . . .	22 . . . . .	
Ячейка выключается . . .	700 тыс. руб.	2000 тыс. руб.
Дроссели на генераторном напряжении . . . . .	15 руб/квт	15 руб/квт
Синхронные компенсаторы	90 . . . . .	90 . . . . .
Статические серийные конденсаторы . . . . .	90 . . . . .	100 . . . . .
Дополнительные сооружения на понизительных подстанциях . . . . .	7 000 тыс. руб.	10 000 тыс. руб.
То же, на переключательных пунктах . . . . .	3 000 . . . . .	4 000 . . . . .

Здесь под напряжением 400 кв понимается наивысшее эксплоатационное напряжение. Если аппаратура 400 кв будет допускать длительную работу при повышенном на 10% напряжении (440 кв), то возникает вопрос о целесообразности работы в нормальном режиме при этом высшем напряжении (это позволит увеличить пропускную способность электропередачи). Вместе с тем повышение напряжения с 400 до 440 кв удорожает и усложняет конструирование аппаратуры, особенно выключателей. Разработанный в настоящее время тип выключателя 400 кв вряд ли может быть непосредственно положен в основу конструирования выключателя на 440 кв, если не ити на некоторое ухудшение его параметров и, в частности, на увеличение времени отключения. Таким образом, применение повышенного до 440 кв напряжения во многом определяется возможностью выполнения аппаратуры этого напря-

жения без существенного усложнения и удорожания по сравнению с аппаратурой напряжения 400 кв.

В настоящей работе была сделана попытка выявить целесообразность повышения напряжения с 400 до 440 кв на основании общих технико-экономических показателей электропередач этих напряжений. Приближенная оценка изменения стоимости аппаратуры при изменении напряжения с 400 до 440 кв была произведена на основании обработки литературных и некоторых проектных данных. Стоимость трансформаторов и выключателей при напряжении 440 кв в соответствии с этими данными получена на 30% больше, чем при напряжении 400 кв. Возможно, что это соотношение несколько завышено. Стоимость сооружения 1 км линии 440 кв принята на 10 тыс. руб. больше линии 400 кв (при одинаковом сечении проводов и одинаковом типе расщепления). При сравнительном анализе линии 400 и 440 кв принималось, что пропускная способность электропередачи возрастет пропорционально квадрату отношения напряжений.

Электропередача 220 кв сравнивалась по своим технико-экономическим показателям с электропередачей 400 кв. Для повышения уровня устойчивости электропередач 220 кв были применены дроссели, а при загрузках более 100 мвт на цепь и длинах свыше 500 км серийная компенсация статическими конденсаторами.

Технико-экономические расчеты, результаты которых приведены на рис. 10, показывают, что для электропередач 220 кв длиной порядка 300 км стоимость передачи энергии при передаваемых мощностях выше 500 мвт остается примерно постоянной и равной 1,8 коп/квтч. Это объясняется тем, что при повышении передаваемой мощности требуется сооружение дополнительных цепей.

Для электропередач 220 в длиной порядка 600 км минимальная стоимость передачи энергии получается при загрузке 125—150 тыс. квт на цепь и составляет около 2,8 коп/квтч.

Сопоставление технико-экономических показателей электропередач 220 кв с электропередачами 400 и 440 кв дается на рис. 10. Передачи напряжения 400 и 440 кв, рассмотренные здесь, предполагались двухцепными с сечением проводов 2×АСУ-400. С увеличением передаваемой мощности стоимость передачи энергии сначала падает, а затем начинает повышаться. Наиболее резкое изменение наблюдается при длинных электропередачах. Это объясняется тем, что на стоимость передачи существенно влияет стоимость линии, не зависящая от передаваемой мощности. Стоимость же оборудования в первом приближении прямо пропорциональна передаваемой мощности. Минимум стоимости наступает приблизительно при передаче натуральной мощности независимо от длины передачи. Абсолютный минимум для каждой длины передачи напряжения 400 и 440 кв примерно одинаков.

Сопоставление напряжения 400 и 220 кв показывает, что при длинах в 300 км стоимость передачи энергии для этих напряжений пример-

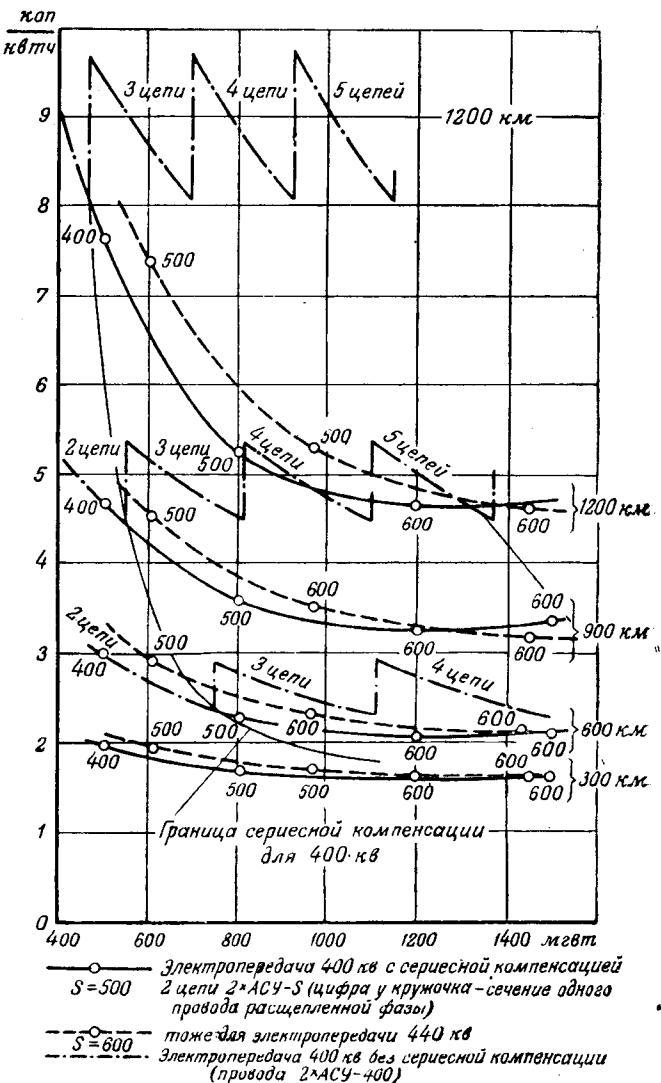
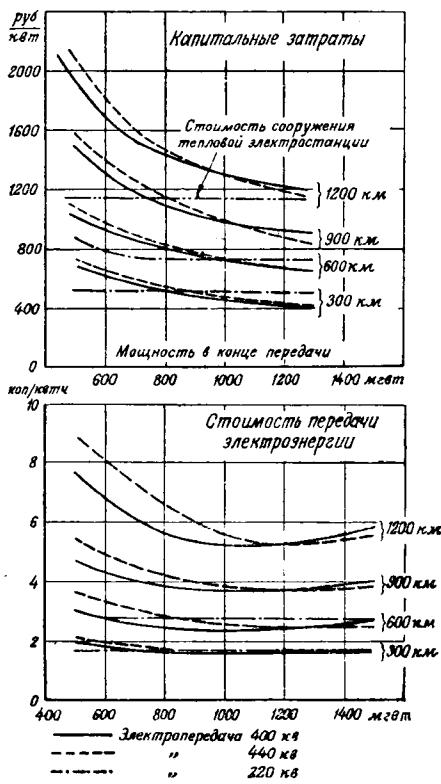


Рис. 11. Стоимость передачи электроэнергии при напряжении 400 и 440 кв для различных длин передач, для электропередач с сериесной и без сериесной компенсацией.

ния специальных средств, позволяющих увеличить удельную нагрузку на цепь.

В довольно широком диапазоне мощностей и расстояний экономические показатели электропередач 400 и 220 кв близки между собой. Это подтверждает вывод [Л. 1] о возможности ограничиться только одной ступенью напряжения выше 220 кв, а именно 400 кв. Введение между этими ступенями промежуточных напряжений в настоящих условиях нецелесообразно.

**Сопоставление напряжения 400 и 440 кв** проведено на кривых рис. 11, показывающих стоимость передачи энергии по двум цепям 400 и 440 кв при различных сечениях проводов, выбранных по плотности тока 0,5–0,6 а/мм<sup>2</sup>, являющейся, как показано ниже, экономической. В этом случае минимум стоимости выражен менее резко, чем при рассмотрении линий постоянного сечения (рис. 10), и соответствует мощностям, большим натуральной примерно на 20%. Минимальная стоимость передачи энергии при

но одинакова для мощностей, начиная с 600–700 тыс. квт.

При меньших мощностях стоимость передачи энергии для электропередач 400 кв повышается, а для электропередач 220 кв остается постоянной, поскольку здесь с уменьшением мощности сокращается число цепей. Учитывая, что и капитальные затраты для электропередач 220 кв меньше, чем для 400 кв (рис. 10), можно сделать вывод, что при расстояниях порядка 300 км во всем диапазоне рассмотренных мощностей экономично применение напряжения 220 кв. При передаче мощностей менее 500 тыс. квт на расстояния до 600 км экономичным и целесообразным также можно считать напряжение 220 кв.

Для расстояния порядка 600 км и передаваемых мощностях свыше 700 тыс. квт стоимость передачи энергии при напряжении 400 кв на 10–15% меньше, чем при напряжении 220 кв, при сериесной компенсации. Если для электропередачи напряжением 220 кв не применять сериесной компенсации, то стоимость передачи энергии при напряжении 400 кв на 25–30% меньше.

Таким образом, проведенный анализ позволяет ориентировочно разграничить область применения напряжений 220 и 400 кв и показывает, что область применения напряжения 220 кв может быть значительно расширена по сравнению с существующими передачами за счет примене-

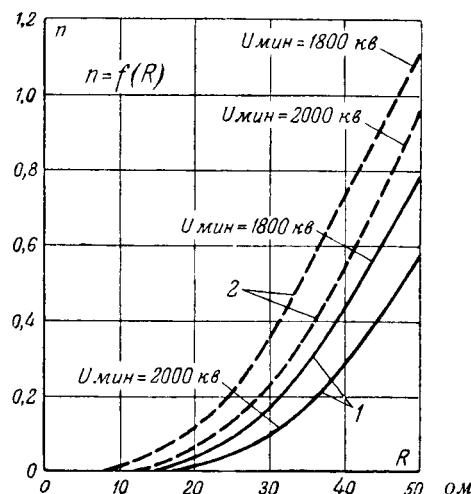


Рис. 12. Зависимость удельного числа отключений (100 км линии 20 грозовых дней) от сопротивления заземления.  
1—без учета индуцированных перенапряжений;  
2—с учетом индуцированных перенапряжений.

напряжениях 400 и 440 кв получается почти одинаковой (для данного расстояния), но при 440 кв она соответствует большим мощностям.

При передаваемых мощностях до 1 200—1 300 квт экономические показатели передач 400 кв несколько лучше, чем у передач 440 кв. В частности, при отсутствии сериесной компенсации в случаях, когда нагрузки на цепь не могут быть большими, напряжение 400 кв более предпочтительно. Лишь при мощностях более 1 300—1 500 квт может оказаться целесообразным напряжение 440 кв (при условии передачи всей мощности по двум цепям).

Возможные области применения напряжения 440 кв таковы, что в настоящее время необходимость его применения не возникает, тем более, что это связано с дополнительными техническими трудностями. Поэтому следует остановиться на более низком уровне напряжения и ограничиться напряжением 400 кв, как наивысшем эксплоатационном напряжении.

Экономически целесообразные сечения проводов электропередач 400 и 440 кв определяются изменением основных экономических показателей при изменении сечения в пределах 400—600  $mm^2$ . Полученные зависимости показывают, что при увеличении сечения стоимость передачи энергии сначала уменьшается весьма заметно, но в дальнейшем ее спад замедляется. При некоторых расстояниях и мощностях стоимость передачи энергии даже начинает увеличиваться с увеличением сечения. Вспомогательным критерием для установления экономической целесообразности увеличения сечения может служить срок окупаемости дополнительных капитальных затрат при переходе на повышенные сечения. Сроки окупаемости при различных передаваемых мощностях оказались близкими между собой для различных длин линий передач, что позволило выбирать сечения проводов только в зависимости от передаваемых мощностей. Ориентируясь на срок

окупаемости 15 лет, получаем экономически целесообразные сечения проводов для различных диапазонов передаваемых мощностей. Переходя затем к плотностям тока, устанавливаем, что экономически целесообразные значения их лежат в пределах 0,5—0,6  $a/mm^2$ .

Из приведенных на рис. 10,11 данных вытекает, что экономические характеристики электропередач 400 кв резко ухудшаются при малых удельных загрузках на цепь. Это показывает на настоятельную необходимость увеличения пропускных способностей электропередач.

Сериесная компенсация является одним из средств, позволяющих это осуществить. Результаты определения основных экономических показателей для электропередач 400 кв с сериесной компенсацией и без нее приведены на рис. 11. Кривая стоимости передачи энергии для электропередачи без сериесной компенсации имеет пилюобразную форму. Скачки этой кривой соответствуют мощностям, при которых по условиям устойчивости необходимо добавление цепи.

Если рассматривать передачу мощности в пределах 800—1 300 тыс. квт и в этом диапазоне для электропередач без сериесной компенсации брать загрузку цепей, близкую к предельной, то получаются следующие значения стоимостей передачи энергии:

Таблица 3

	Среднее значение стоимости, коп/квтч		
	1 200 км	900 км	600 км
Электропередача с сериесной компенсацией . . . . .	5,0	3,5	2,2
Электропередача без сериесной компенсации . . . . .	8,5	4,7	2,8
Соотношения стоимостей . . . . .	0,6	0,75	0,8

Приведенные данные показывают экономическую эффективность применения сериесной компенсации, особенно для электропередач на большие расстояния. Снижение стоимости передачи энергии достигает 25—40% для электропередач длиной 900—1 200 км.

**Грозоупорность линий электропередач 400 кв** также была предметом исследований. Как показали расчеты, результаты которых приведены<sup>3</sup> на рис. 12, абсолютная грозоупорность линий 400 кв может быть достигнута при сопротивлении заземления от 9 до 12 ом при минимальном импульсном напряжении гирлянды от 1 800 до 2 000 кв. При увеличении сопротивления заземления до 15 ом можно ожидать продолжительной безаварийной работы линии 400 кв в пределах от двух до пяти лет при импульсном напряжении гирлянды от 1 800 до 2 000 кв при длине линии 1 000 км и 20 грозовых днях в году.

**Выводы.** 1. Задача передачи мощностей, превышающих 1 000 тыс. квт, на расстояния порядка

<sup>3</sup> Расчеты выполнены Л. Ф. Дмоховской (кафедра Техники высоких напряжений МЭИ).

1 000—1 200 км, решается применением линий передач напряжением 400 кв.

2. Технические трудности, связанные главным образом с проблемой устойчивости, в настоящее время могут быть устранены относительно просто.

3. На линиях 400 кв целесообразно применение расщепленных проводов. Рекомендуется применение двух проводов в фазе, хотя в отдельных случаях, при необходимости повышения пропускной способности без применения серийной компенсации, могут быть применены провода, расщепленные на три и четыре.

4. Для линий 400 кв целесообразной конструкцией является опора типа «рюмка».

5. При расстояниях порядка 300—400 км более экономичным является напряжение 220 кв. При расстояниях более 500—600 км и передаваемых мощностях порядка 700—1 200 тыс. квт экономичным является напряжение 400 кв (рассматривается передача двумя цепями при серийной компенсации).

6. Напряжение 400 кв должно рассматриваться как наивысшее эксплуатационное напряжение. Повышение максимально допустимого напряжения с 400 до 440 кв экономически оправдывается

при удельных нагрузках цепи свыше 700 тыс. квт и в настоящих условиях не рекомендуется.

7. Экономически целесообразной плотностью тока для электропередачи 400 кв при числе часов использования максимума порядка 5 000 является 0,5—0,6 а/мм<sup>2</sup>.

8. Для электропередач 400 кв экономически эффективно применение серийной компенсации при мощностях более 800 тыс. квт и расстояниях свыше 600 км.

9. Из рассмотрения экономических показателей протяженных электропередач 400 кв вытекает целесообразность максимального увеличения пропускной способности.

10. Сооружение электропередач 400 кв следует в первую очередь проводить для передачи больших количеств электроэнергии.

### Литература

1. П. С. Жданов, В. А. Веников и Г. М. Розанов. Электропередача 400 кв переменного тока. Электротехника, № 11, 1948.

2. Отчеты о международной энергетической конференции, 1948 (CIGRE).

26. 4. 1950



## Гидрогенераторы для сельской электрификации

Инж. З. Б. НЕЙМАН и инж. К. Ф. КОСТИН

Свердловск

Гидрогенераторы, предназначенные для непосредственного присоединения к гидротурбинам, изготавляются четырех серий: ВГС-1-325, ВГС-2-325, ВГС-3-260, ВГС-4-213.

Это вертикальные гидрогенераторы мощностью от 200 ква до 4 000 ква и скоростью вращения от 100 об/мин до 300 об/мин.

При проектировании указанных серий гидрогенераторов стояли следующие задачи:

1. Получение возможности мелкосерийного производства вместо изготовления отдельных гидрогенераторов путем максимально возможной унификации материалов, деталей и целых узлов гидрогенераторов.

2. Создание конструкций, технологически менее трудоемких и с возможно меньшим сортаментом применяемых материалов.

3. Получение гидрогенераторов с технико-экономическими показателями, более высокими, чем выпускались до войны.

4. Обеспечение надежной работы, а также удобства монтажа и обслуживания гидрогенераторов.

Эти задачи были успешно разрешены благодаря: а) проектированию гидрогенераторов в виде отдельных серий, каждая из которых объединяется

рассматриваются технико-экономические и эксплуатационные показатели гидрогенераторов четырех уральских серий, авторы которых за разработку данных конструкций удостоены Сталинской премии. Показаны преимущества гидрогенераторов уральской серии в сравнении с гидрогенераторами фирмы GE.

няет ряд различных по мощности и скоростям генераторов, выполненных только в одном габарите при помощи одного компаундного штампа статора; б) углубленному электрическому расчету многих вариантов серий и, наконец, в) применению новых конструктивных форм исполнения гидрогенераторов.

Предварительно намеченная заводом «Уралэлектроаппарат» шкала мощностей общей серии гидрогенераторов на 6 300 и 400/230 в в диапазоне мощности от 200 до 4 000 ква и на скорости вращения от 100 до 600 об/мин приведена в табл. 1 (напряжение 400/230 в для габаритов ВГС-213 — ВГС-140). Предельным габаритом, исходя из возможности транспортировки по железной дороге неразъемного статора, является генератор ВГС-325, имеющий наружный диаметр активной стали статора 3 250 мм и наружный диаметр станины 4 000 мм. Наибольшая мощность была установлена 4 000 ква, при которой еще целесообразно выполнение гидрогенератора по разомкнутому циклу вентиляции.

По мере выявления потребности в тех или иных группах гидрогенераторов на базе шкалы мощностей общей серии (табл. 1) создавались частные отдельные серии машин уже для кон-

Таблица 1

Примечание.  $l$  — длина активной стали статора, в см.

крайних типов гидротурбин. До настоящего времени освоены четыре такие отдельные серии: ВГС-1-325, ВГС-2-325, ВГС-3-260, ВГС-4-213. Эти четыре серии гидрогенераторов, как видно из таблицы, уже покрывают большую часть шкалы мощности общей серии.

Процент нарастания мощности в серии составляет 20—40% и доходит до 50% при переходе на следующий габарит, т. е. не отличается от процента нарастания мощности, принятого для сбычной серии синхронных машин. Шкала скоростей серии гидрогенераторов согласована с имеющимися типами гидротурбин соответствующих мощностей и является вполне целесообразной за исключением гидрогенераторов на 130,5 об/мин, которые внесены во 2-ю Уральскую серию по требованию проектантов гидростанций. Более удачно было бы принять скорость 130,5 об/мин вместо 125 об/мин, что вполне возможно без существенных изменений и без всякого утяжеления гидрогенераторов.

Основные технические данные гидрогенераторов четырех серий приведены в табл. 2.

Значение к. п. д. при частичных нагрузках приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, значения к. п. д. при 75% нагрузке равны или больше к. п. д. при 100% (номинальной) нагрузке. Это обусловлено стремлением обеспечить лучший к. п. д. при наиболее частом и продолжительном режиме работы гидрогенераторов.

Реактивности и постоянные времени гидрогенераторов приведены в табл. 4.

В гидрогенераторах каждой из серий, несмотря на различные длины активных частей, сохраняются одинаковые габариты и одинаковые подгенераторные фундаменты.

Активные части гидрогенераторов отличаются в пределах каждой серии в основном только длиной активной стали. Наружный и внутренний диаметры стали статора, размеры и число пазов, размер элементарного проводника статорной обмотки, размеры меди ротора и т. д. одинаковы для гидрогенераторов одной серии. Выбор основных активных размеров генератора, диаметра и длины активной стали производится, исходя из задачи обеспечения требуемого махового момента ротора без добавочного маховика, а также обеспечения для удобства эксплоатации возможности выема колеса и крышки турбины через рассточку статора. Это обусловило применение машин для 2-й, 3-й и 4-й серий относительно большого диаметра и малой активной длины стали статора. Например, для машин серии ВГС-2-325 минимальное значение  $l/D_a = 0,062$ , для серии ВГС-4-213 минимальное значение  $l/D_a = 0,0515$ . Эти так называемые узкие машины не имеют оптимальной геометрии активной части. Однако при подобной геометрии для рассматриваемого диапазона мощностей значительно легче получить технологичную, менее материалоемкую и надежную в эксплоатации конструкцию гидрогенератора.

Таблица 2  
Технические данные гидрогенераторов

Тип	Скорость, об/мин	Мощность		Напряжение, в	Ток, а	К. п. д. %	Возбудитель		Маховой момент, $\text{м}\cdot\text{м}^2$	Вес, т	
		квт	квт				об/мин	тип		ротора,	общий,
ВГС-4-213/11-20	300	250	200	400	361	89	1 000	ПН-145	3,5	2,3	6,4
ВГС-4-213/15-20	300	375	300	400	540	89,8	1 000	ПН-145	3,8	2,5	7,0
ВГС-4-213/20-20	300	500	400	400	725	90,8	1 000	ПН-145	4,6	3,1	7,5
ВГС-4-213/11-24	250	200	160	400	290	88,0	1 000	ПН-145	3,0	2,3	6,5
ВГС-4-213/15-24	250	275	220	400	397	88,5	1 000	ПН-145	3,8	2,5	7,0
ВГС-4-213/20-24	250	375	300	400	540	89,6	1 000	ПН-145	4,8	3,5	8,0
ВГС-4-213/24-24	250	500	400	400	725	90,5	1 000	ПН-145	6,5	4,3	9,2
ВГС-3-260/20-24	250	850	680	6 300	78	92,0	980	ПН-290	15	6	16,5
ВГС-3-260/24-24	250	1 200	950	6 300	110	93,0	980	ПН-290	17	6,7	17,5
ВГС-3-260/29-24	250	1 500	1 200	6 300	138	93,2	980	ПН-290	19,5	7,5	18,5
ВГС-1-325/24-24	250	2 000	1 600	6 300	183	93,4	250	BBC 74/24-6	53	14,2	37
ВГС-1-325/29-24	250	2 500	2 000	6 300	230	93,8	250	BBC 74/24-6	64	17,2	41
ВГС-1-325/39-24	250	3 200	2 500	6 300	293	94,5	250	BBC 74/24-6	80	19,2	44
ВГС-1-325/49-24	250	4 000	3 200	6 300	366	96,0	250	BBC 74/24-6	85	20,5	48
ВГС-4-213/15-28	214	225	180	400	325	88,8	1 000	ПН-145	4	2,6	7,1
ВГС-4-213/20-28	214	325	260	400	470	89,6	1 000	ПН-145	5,8	3,8	8,2
ВГС-4-213/24-28	214	450	360	400	650	90,0	1 000	ПН-145	7	4,5	9,5
ВГС-3-260/20-28	214	750	600	6 300	69	91,8	980	ПН-290	15	6	16,5
ВГС-3-260/24-28	214	950	760	6 300	87,5	92	980	ПН-290	17	6,7	17,5
ВГС-3-260/29-28	214	1 250	1 000	6 300	115	92,5	980	ПН-290	20	7,5	18,5
ВГС-1-325/24-28	214	1 650	1 320	6 300	151	93,0	214	BBC 74/24-6	53	14,2	37
ВГС-1-325/29-28	214	2 000	1 600	6 300	183	93,5	214	BBC 74/24-6	64	17,2	41
ВГС-1-325/39-28	214	2 750	2 200	6 300	252	94,5	214	BBC 74/24-6	80	19	45,5
ВГС-1-325/49-28	214	3 500	2 800	6 300	320	95,0	214	BBC 74/24-6	85	20,4	48
ВГС-4-213/15-32	187	200	160	400	230	87,8	1 000	ПН-145	4	2,7	7,2
ВГС-4-213/20-32	187	300	240	400	435	88,6	1 000	ПН-145	6	4	8,5
ВГС-4-213/24-32	187	400	320	400	580	89,4	1 000	ПН-145	7,3	4,9	9,8
ВГС-3-260/20-32	187	550	440	6 300	50,5	90,6	980	ПН-290	15	6	16,5
ВГС-3-260/24-32	187	800	640	6 300	73,5	91,5	980	ПН-290	17	6,7	17,5
ВГС-3-260/29-32	187	1 000	800	6 300	92	92	980	ПН-290	20	7,5	18,5
ВГС-1-325/24-32	187	1 350	1 080	6 300	124	92,7	187	BBC 74/34-6	53	14,2	37
ВГС-1-325/29-32	187	1 800	1 440	6 300	165	93,2	187	BBC 74/34-6	64	17,2	41
ВГС-1-325/39-32	187	2 300	1 840	6 300	212	93,8	187	BBC 74/34-6	80	19	44
ВГС-1-325/49-32	187	3 125	2 500	6 300	288	94,5	187	BBC 74/34-6	85	20,4	47
ВГС-3-260/20-40	150	450	360	6 300	41,5	90	980	ПН-290	15	6,1	16,5
ВГС-3-260/24-40	150	600	480	6 300	55,5	90,5	980	ПН-290	17	6,7	17,5
ВГС-3-260/29-40	150	750	600	6 300	69,5	90,8	980	ПН-290	20	7,5	18,5
ВГС-1-325/24-40	150	1 050	840	6 300	90,5	91,5	150	BBC 74/24-6	53	14,2	37
ВГС-1-325/29-40	150	1 500	1 200	6 300	138	93	150	BBC 74/24-6	64	17,2	41
ВГС-1-325/39-40	150	2 000	1 600	6 300	184	93,5	150	BBC 74/34-6	75	18,3	42
ВГС-1-325/49-40	150	2 500	2 000	6 300	230	94,0	150	BBC 74/34-6	85	20	44
ВГС-2-325/20-46	130,5	375	300	6 300	34,5	87	975	ПН-400	28	6,9	18
ВГС-2-325/24-46	130,5	500	400	6 300	46	88	975	ПН-400	32	7,7	19,6
ВГС-2-325/29-46	130,5	625	500	6 300	57,5	89	975	ПН-400	36	8,7	20,7
ВГС-2-325/34-46	130,5	700	560	6 300	64,5	90	975	ПН-400	42	10,1	22,2
ВГС-2-325/24-60	100	375	300	6 300	34,5	87,5	800	ПН-400	35	8,3	19,6
ВГС-2-325/29-60	100	500	400	6 300	46	88,3	800	ПН-400	40	9,8	21,2
ВГС-2-325/34-60	100	600	480	6 300	55,5	89,2	800	ПН-400	47	11,5	23

Кроме того, такие машины обладают лучшей способностью к унификации, так как выполнение ряда машин различных оборотов на одном штампе статора с меньшим  $I/D_a$  допускают большое число оптимальных решений по расходу материалов, по магнитным загрузкам и т. д., чем машины с большим  $I/D_a$ . Те преимущества, которые получаются только за счет технологичности и снижения общего веса гидрогенераторов, легко

окупают возможный весьма незначительный перерасход активных материалов. При этом следует иметь в виду, что надежность в эксплуатации подобных машин выше.

Необходимо отметить, что большинство машин уральских серий благодаря рациональному расчету и общих преимуществах их конструкции не имеют перерасхода активных материалов по сравнению с подобными машинами индивидуаль-

Таблица 3  
Коэффициент полезного действия генераторов  
при частичных нагрузках

Доля нагруз- ки												
1/1	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86
3/4	97	96	95	94	93	92,2	91,2	90,2	89,3	88,3	87,3	86,3
1/2	96,3	95,3	94,1	93,1	92	90,8	89,6	88,5	87,6	85,5	85,2	84

Таблица 4  
Реактивности и постоянные времени

Серия	$X_c$	$X_d$	$X'_d$	$T_{d_0}$ сек
ВГС-1-325	$0,12 \div 0,15$	$1 \div 1,4$	$0,25 \div 0,4$	$1,8 \div 2,3$
ВГС-2-325	$0,07 \div 0,09$	$0,55 \div 0,7$	$0,2 \div 0,24$	$0,9 \div 1,1$
ВГС-3-260	$0,13 \div 0,16$	$1,2 \div 1,4$	$0,25 \div 0,4$	$0,9 \div 1,5$
ВГС-4-213	$0,12 \div 0,16$	$1 \div 1,6$	$0,25 \div 0,5$	$0,8 \div 1,0$

нного производства. На рис. 1 приведено сравнение индивидуально спроектированного вертикального гидрогенератора 250 ква, 600 об/мин (изготовленного в 1948 г. на одном из заводов электропромышленности), типа СВ-99/24-10 с генератором типа ВГС-140/15-10. Генератор типа СВ-99/24-10 имеет подвесное исполнение с двумя крестовинами и добавочным маховиком. Генератор спроектирован в 15-м габарите с  $D_a = 990$  мм. Генератор нового типа спроектирован в 17-м габарите с  $D_a = 1400$  мм,  $l = 150$  мм, т. е.  $l/D_a = 0,107$ . Гидрогенератор типа ВГС-140/15-10 благодаря большому диаметру ротора имеет увеличенный маховой момент ( $0,85$  тм<sup>2</sup>) без применения добавочного маховика. Отсутствие добавочного маховика и малая длина активной стали позволяет значительно понизить высоту генератора и вследствие этого отказаться от нижней крестовины. Общий вес генератора ВГС-140/15-10 — 4700 кг, а СВ-99/24-10 — 5900 кг, т. е. на 25% больше.

Затрата рабочего времени на изготовление гидрогенератора ВГС-140/15-10

меньше на 35—40%, чем генератора СВ-99/24-10.

По расходу активных материалов и к. п. д. этих двух типов генераторов имеем:

	ВГС-140	СВ-99
1. Активная сталь . . . .	412 кг	370 кг
2. Медь статора . . . .	148 "	147 "
3. Медь ротора . . . .	100 "	117 "
4. К. п. д. . . . .	89,3%	88,4%

Коэффициент полезного действия генератора ВГС-140 выше в основном за счет меньших механических потерь.

Таким образом, по всем показателям целесообразнее выбрать генератор в исполнении ВГС-140. С эксплуатационной стороны генератор ВГС-140 по сравнению с СВ-99 значительно удобнее для обслуживания, так как благодаря отсутствию узла нижней крестовины не требует доступа снизу генератора, не имеет маховика, затрудняющего доступ сверху генератора и резко увеличивающего длину вала, позволяет легче производить разборку, сборку и монтаж генератора, требует меньшей кубатуры помещения станции, несмотря на несколько большую площадь, занимаемую статором, и одновременно резко упрощает конструкцию подгенераторного фундамента. Кроме того, машины такого типа более устойчивы с механической точки зрения и менее склонны к вибрации, так как центр тяжести ротора близко расположен к опорам на фундаменте.

Сравнение других типов генераторов уральских серий с индивидуальными генераторами более

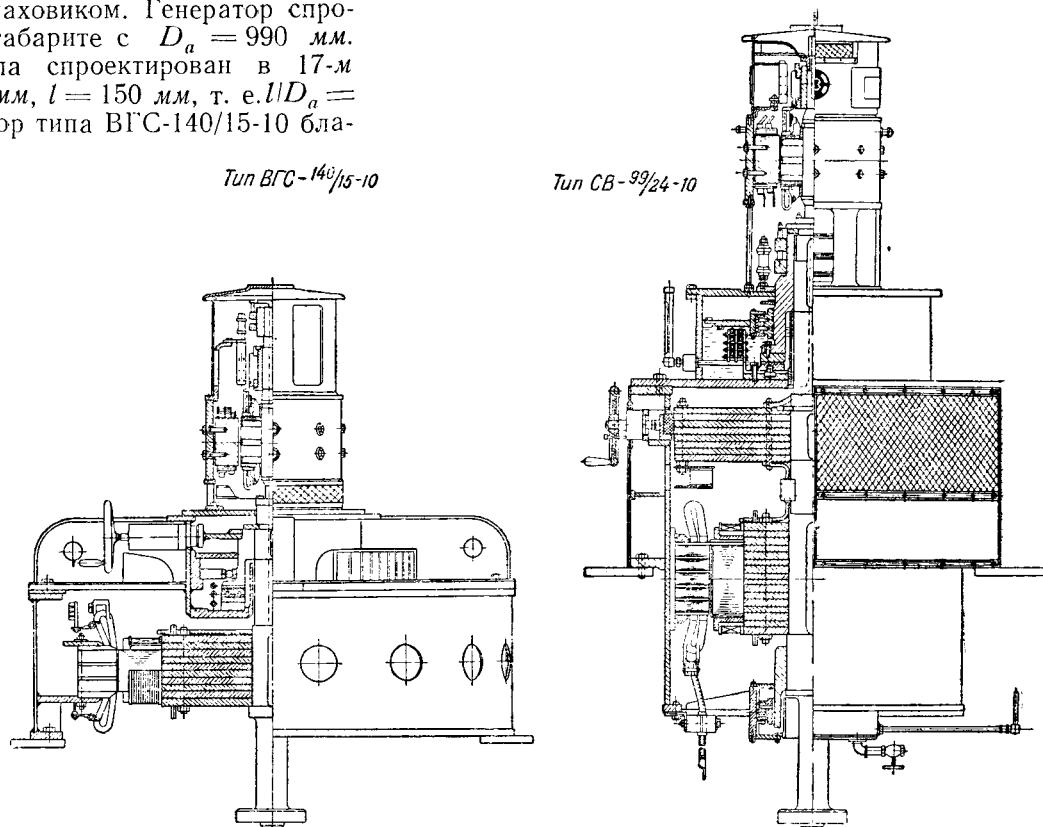


Рис. 1. Гидрогенераторы мощностью 250 ква, 440/230 в, 600 об/мин.

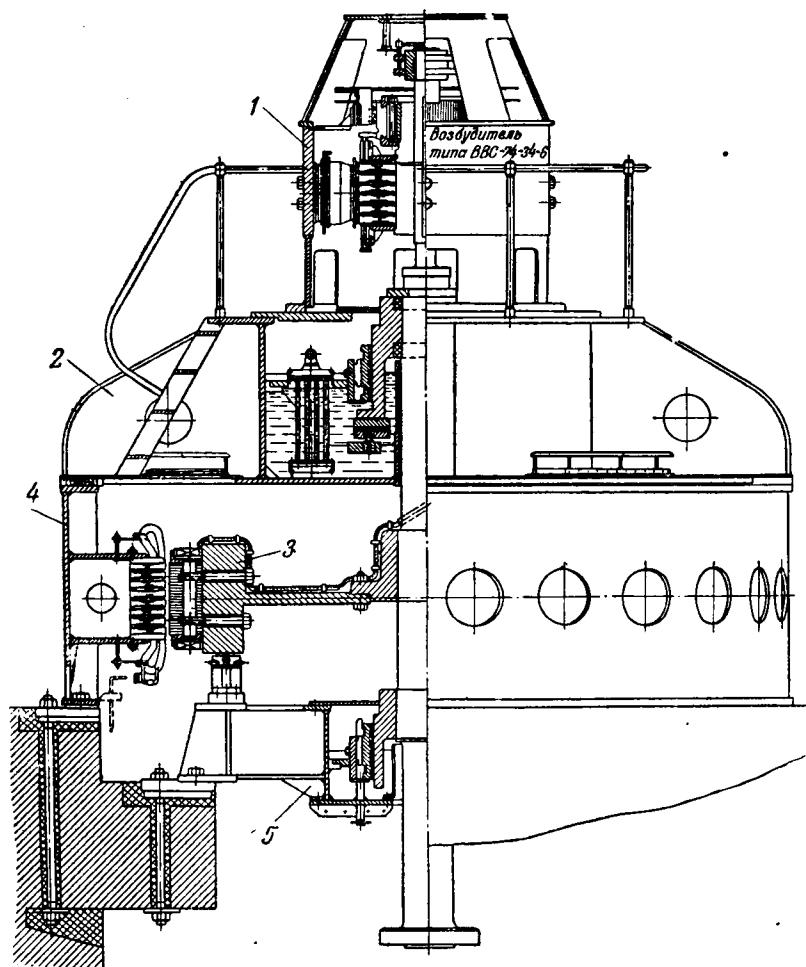


Рис. 2. Гидрогенератор типа ВГС-1-325 (1-я серия).

раннего выпуска еще в большей степени подтверждает целесообразность применения машин в конструктивном выполнении завода «Уралэлектроаппарат», обеспечивающих необходимый маховой момент без добавочного маховика и позволяющего отказаться от узла нижней крестовины.

Маховые моменты гидрогенераторов приведены в таблицах основных технических данных. Эти значения маховых моментов обеспечивают постоянные инерции:

в 1-й уральской серии . . . . .	$3,0 \div 8,5$ сек
во 2-й . . . . .	$3,0 \div 4,5$ "
в 3-й . . . . .	$2,6 \div 1,5$ "
в 4-й . . . . .	$2,5 \div 4,2$ "

Постоянная инерция, или иначе — время разбега представляет собой время в секундах, в течение которого генератор достигает номинального числа оборотов в минуту при развертывании его номинальным вращающим моментом и определяется по формуле:

$$T_a = \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 \cdot \frac{GD^2 n^2}{P_n \cos \varphi},$$

где  $GD^2$  — маховой момент ротора,  $\text{тм}^2$ ;

$P_n$  — номинальная мощность генератора,

$\text{kva}$ ;

$n$  — скорость вращения,  $\text{об/мин}$ .

Следует отметить, что  $T_a$  достаточно иметь в пределах от 2,5 до 4 сек. для всех серий, особенно если дополнительно учитывать влияние маховых моментов генераторов и двигателей, составляющих данную систему, а также наличие автоматических регуляторов напряжения. Опыт эксплуатации гидрогенераторов показывает, что при сбросе нагрузки нарастание скорости не превышает 20% в одну секунду. Случай сброса полной нагрузки весьма редки и являются аварийными, при которых производятся отключения генератора. Обычно наибольший процент изменения нагрузки не превосходит 50%. При 50% изменении нагрузки нарастание скорости не превосходит 8% в секунду.

Конструктивное исполнение и габаритные размеры гидрогенераторов всех четырех серий приведены на рис. 2, 3, 4 и 5.

Гидрогенераторы 1-й серии ВГС-1 имеют подвесное исполнение с двумя направляющими подшипниками и подпятником, расположенным в верхней груженесущей крестовине. Возбудитель непосредственно присоединен к валу генератора.

Гидрогенераторы 2-й серии, ВГС-2-325, имеют зонтичное исполнение с одним направляющим подшипником. Подпятник расположен в нижней груженесущей крестовине. Возбудитель присоединен к валу генератора посредством клиноременной передачи.

Гидрогенераторы 3-й и 4-й серий, ВГС-3-260 и ВГС-4-213, имеют подвесное исполнение с одним направляющим подшипником и подпятником, расположенным в верхней груженесущей крестовине. Возбудитель присоединен к валу генератора посредством клиноременной передачи.

Все гидрогенераторы выполняются с самовентиляцией по разомкнутому циклу охлаждения.

Подпятники гидрогенераторов сегментного типа с вращающимся диском и рассчитаны на нагрузку от веса вращающихся частей всего гидроагрегата и реакции воды в сумме, равной (примерно) трехкратному весу ротора. Направляющие подшипники также сегментные за исключением гидрогенераторов 4-й серии, где подшипники шариковые. Смазка подпятника и направляющих подшипников — замкнутая — внутри масляных ванн, где размещены и маслоохладители.

Гидрогенераторы всех серий рассчитаны на угонное число оборотов не ниже двукратного от номинальной скорости, т. е.  $n_{уг} \leq 2n_{ном}$  об/мин.

Торможение гидрогенераторов должно производиться примерно с  $1/3$   $n_{ном}$  посредством имеющихся в 1, 2 и 3-й сериях универсальных тормозов-домкратов, позволяющих также осуществлять подъем ротора гидрогенератора на высоту до 20 мм. Подъем вращающихся частей агрегата

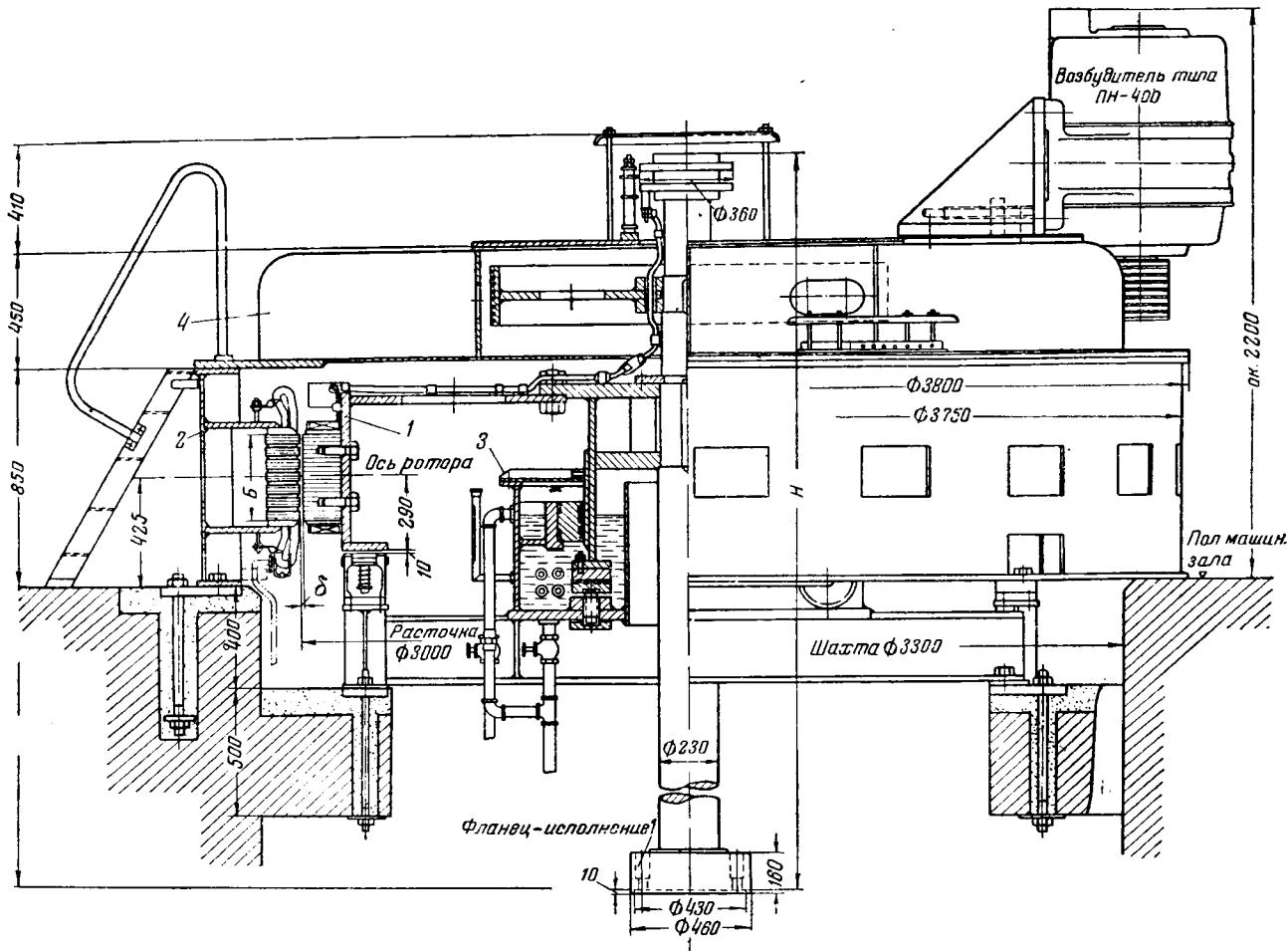


Рис. 3. Гидрогенератор серии ВГС-2-325 (2-я серия).

может быть произведен подачей масла в тормоза помошью нагнетательного насоса или при помощи встроенного в тормоза винтового домкрата. Торможение выполняется подачей сжатого воздуха в тот же тормоз. В отдельных случаях (при отсутствии компрессорной установки) допускается торможение маслом.

Торможение гидрогенераторов 4-й серии осуществляется ручным винтовым тормозом.

Термоконтроль гидрогенераторов производится термометрами сопротивлений, установленными в обмотке и в стали статора, в подплатнике и в направляющих подшипниках, а также ртутными термометрами (для генераторов 4-й серии).

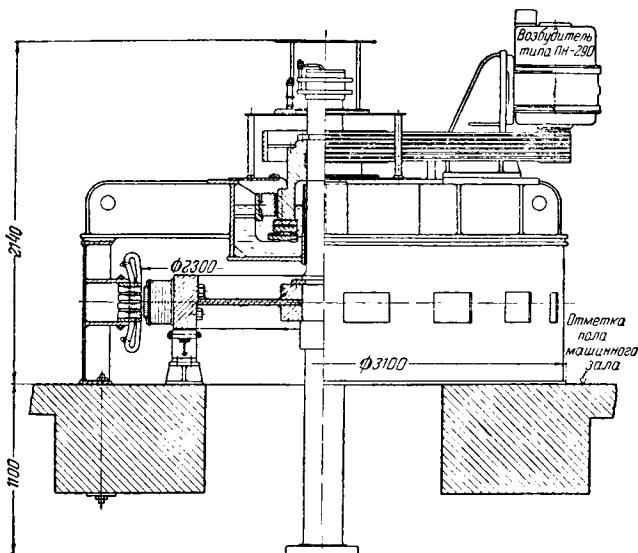


Рис.4. Гидрогенератор типа ВГС-3-260 (3-я серия).

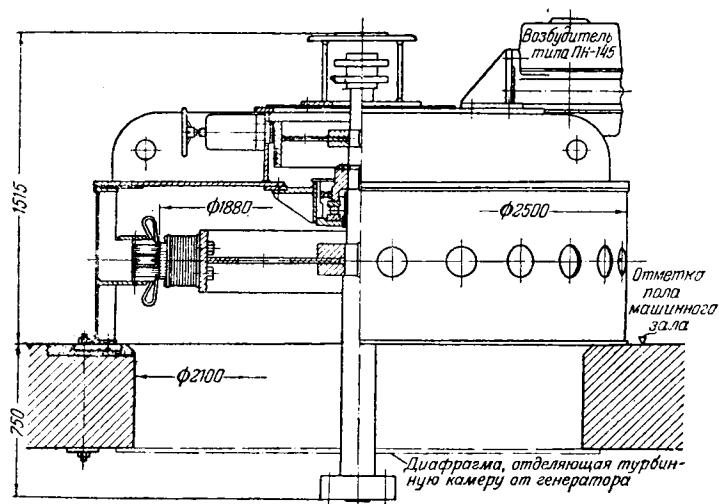


Рис. 5. Гидрогенераторы типа ВГС-4-213 (4-я серия).

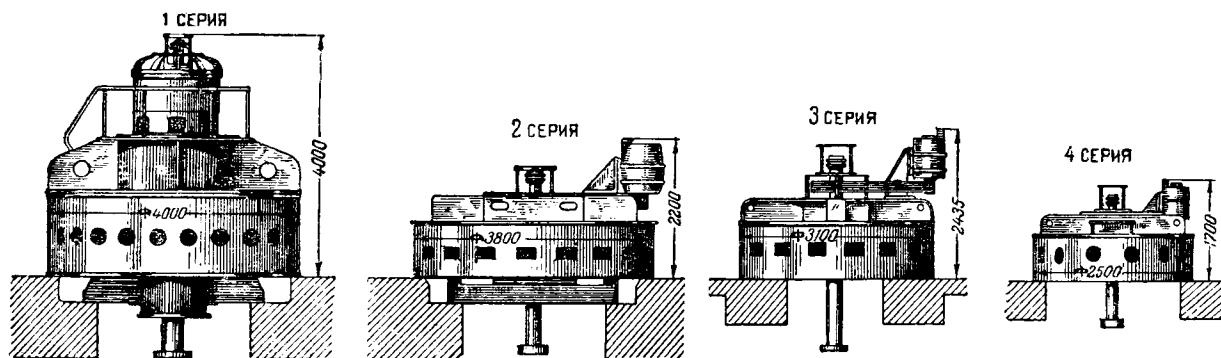


Рис. 6. Внешний вид гидрогенераторов.

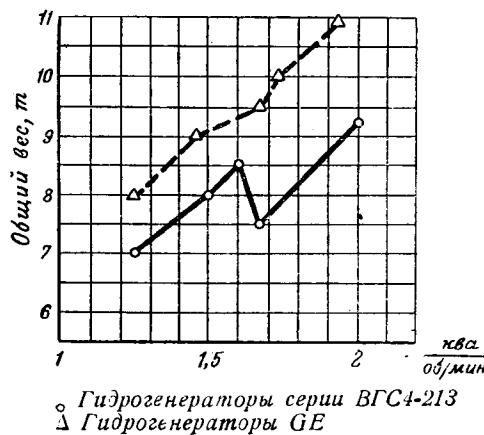
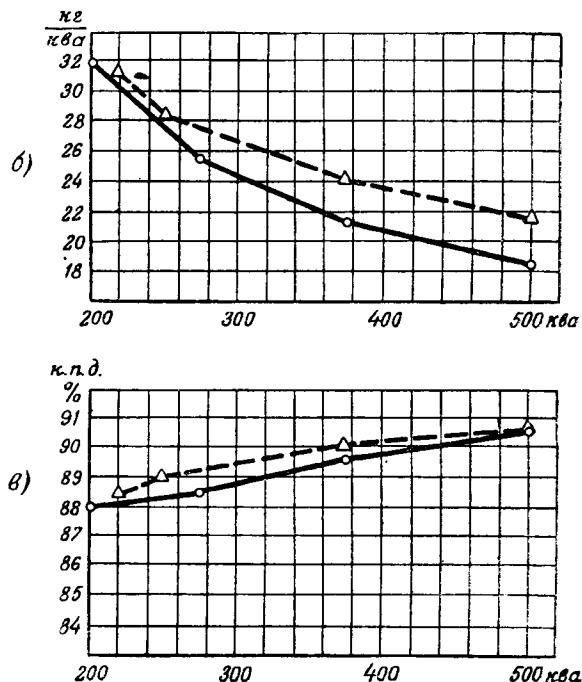


Рис. 7. Сравнение весовых данных (а, б) и к. п. д. гидрогенераторов серии ВГС-4-213 и генераторов АТВ фирмы GE.  
Данные по генераторам АТВ заимствованы из ценика на вертикальные гидрогенераторы фирмы GE.



Внешний вид гидрогенераторов каждой из серий представлен на рис. 6.

Конструкция генераторов разработана с учетом возможности перехода на автоматизированное управление. Подпятники и направляющие подшипники и система охлаждения их рассчитаны на длительную работу в угонном режиме. Большинство механических деталей гидрогенератора сварной конструкции (станины, крестовины, магнитные колеса и т. д.).

Основные конструктивные узлы: грузонесущая крестовина, подпятник, направляющие подшипники, маслоохладители, возбудители и т. д. в пределах каждой серии стандартизированы. Кроме того, целый ряд одинаковых деталей используется в различных сериях: маслоохладители, тормоза, контактные кольца, полюса роторов и т. д. Подобная унификация не только значительно упрощает производство, но создает ряд неоспоримых преимуществ для эксплуатирующих организаций. Наиболее тяжелой частью гидрогенератора является собранный ротор. Магнитное колесо ротора с полюсами в гидрогенераторах наибольшего габарита ВГС-325 прикрепляется болтами к втулке, насаненной на вал. Полюса

ротора во всех гидрогенераторах прикрепляются к ободу только болтами.

Статор у всех гидрогенераторов неразъемный. Сталь крепится на круглых шпильках. Обмотка статора катушечная шаблонная. Изоляция обмоток на 6 300 в класса В усиленная и обеспечивает надежную работу гидрогенераторов во всех режимах. Крестовины выполнены таким образом, что обеспечивают легкий доступ к подпятнику и направляющим подшипникам. Все узлы и детали гидрогенераторов выполнены с большим коэффициентом запаса по механической прочности.

Опыт эксплуатации на многих гидростанциях подтвердил хорошие технико-экономические показатели и высокую надежность работы гидрогенераторов уральских серий. Температура подпятников и направляющих подшипников никогда не превосходила 30—40°. Задирания трущихся поверхностей подпятника не наблюдалось не только во время эксплуатации, но даже и в период испытаний и наладочных работ по пуску.

Благодаря высокой электрической прочности изоляции обмоток до сих пор не зафиксировано ни одного случая нарушения изоляции или про-

боев обмоток. Также нет случаев повышенного нагрева обмоток.

Жесткость принятой конструкции гидрогенераторов обеспечивает спокойную их работу, без вибраций при всех рабочих режимах гидрогенераторов.

Испытания гидрогенераторов всех четырех серий на заводе или на местах установки полностью подтвердили их расчетные данные и характеристики, а также соответствие требованию ГОСТ на электрические машины.

Многие гидростанции до настоящего времени работают с ручным регулированием, при котором неизбежен частый разгон гидрогенераторов. До настоящего времени не наблюдалось, чтобы в результате разгона на гидрогенераторе остались бы деформации, требующие ревизии или ремонта его.

Для характеристики уровня использования материалов приводим результаты сравнения по расходу меди гидрогенераторов 4-й серии с гидрогенераторами серии АТВ фирмы GE (рис. 7, б и в — для генераторов 250 об/мин).

Опыт создания уральских серий и их хорошие эксплоатационные качества показывают целесообразность разработки агрегатов меньшей и большей мощности по сравнению с уже освоенной шкалой мощностей. Следует уже сейчас рассмотреть вопрос о создании серий вертикальных гидрогенераторов для непосредственного соединения с гидротурбинами на тех же принципах электрического расчета, конструирования, унификации, технологичности и т. д., как и уральские серии, но на мощности ниже от 100 до 200 ква и выше от 4 000 до 8 000 ква.

[20. 3. 1950]



## Развитие энергохозяйства Московского метрополитена

**Инж. В. А. ТУМАНОВ, инж. В. Г. ГУРВИЧ, инж. Е. И. БЫКОВ**

*Московский метрополитен им. Кагановича*

Товарищ Сталин дал указание построить в столице Советского Союза лучший в мире метрополитен.

Это указание вождя народов с честью выполняет дважды орденоносный коллектив строителей метрополитена. С осуществлением каждой новой очереди строительства значительно улучшается архитектура станций, расстет разнообразие и богатство их отделки, совершенствуется и множится техника московского метрополитена.

15 мая 1950 г. исполнилось пятнадцать лет со дня ввода в эксплуатацию первой линии московского метрополитена. За этот период на метрополитене сложился коллектив эксплуатационников, хорошо овладевший разносторонней техникой метрополитена, продвинувший ее значительно вперед и повседневно обеспечивающий слаженную работу большого и ответственного предприятия.

Метрополитен наиболее насыщен механизмами с электроприводом по сравнению с другими видами электрического транспорта. Поэтому сложный комплекс подземной железной дороги может нормально работать только при бесперебойном снабжении электротягой всех его механизмов.

Задержка поезда на станции или перегоне хотя бы на одну минуту может повлечь за собой нарушение движения по всей линии; перебой

*Освещены основные этапы развития и усовершенствования энергохозяйства московского метрополитена за 15 лет. Приведены некоторые данные эксплуатации подстанционного оборудования, электросетей, автоматики, телепрограммирования и защиты. Отмечены результаты содружества работников эксплуатации, заводов и научно-исследовательских организаций.*

в работе эскалаторов может вызвать закрытие станции; погасание освещения на подземной станции хотя бы кратковременно — совершенно недопустимо, нарушение питания электроэнергии устройств автоблокировки приведет к опозданию поездов и т. п.

Энергосистема метрополитена призвана обеспечить получение электрической энергии от Мосэнерго, преобразование ее в соответствии с назначением, аккумулирование энергии для аварийных нужд и распределение ее между потребителями. Учитывая эти обстоятельства, проектировщики и монтажники Метростроя и «Центрэлектромонтажа» передавали в эксплуатацию новые линии метрополитена с надежным питанием и достаточным резервированием. В свою очередь деятельность энергетиков эксплуатации была направлена на: 1) организацию эксплуатации, обеспечивающей бесперебойное энергоснабжение всех потребителей электроэнергии метрополитена; 2) увеличение мощностей подстанций и пропускной способности электросетей с ростом размеров движения поездов; 3) усовершенствование оборудования и схем путем внедрения передовой техники в целях дальнейшего повышения надежности и экономичности всего энергохозяйства.

Развитие энергосистемы шло по мере ввода в эксплуатацию новых линий метрополитена

и увеличения интенсивности движения поездов на эксплоатируемых линиях. При открытии движения на первой очереди метрополитена курсировало вначале 12 пар четырехвагонных составов и к концу первого года — 15 пар шестивагонных составов в час. В настоящее время интенсивность движения резко увеличилась. Соответственно количество и мощность тяговых и понизительных подстанций московского метрополитена возросли в несколько раз. При этом работы по усилению мощности существующих подстанций и увеличению пропускной способности сетей почти на 35% выполнялись силами эксплоатационного персонала.

Попутно изменялось техническое оснащение и методы управления сложной и разветвленной энергосистемой.

**Подстанции.** Основным и наиболее ответственным элементом энергосистемы метрополитена является тяговая подстанция. На тяговых подстанциях происходит преобразование трехфазного тока в постоянный и распределение электроэнергии для электропоездов, эскалаторов, освещения, сантехнических устройств, автоблокировки и т. д.

При вводе в эксплуатацию новых участков и в связи с увеличением интенсивности движения поездов на тяговых подстанциях устанавливались все более мощные металлические ртутные выпрямители с сеточным регулированием выпрямленного напряжения. Основываясь на опыте эксплуатации, энергетики метрополитена совместно с заводом-изготовителем непрерывно улучшали конструкции и схемы ртутных выпрямителей. Были реконструированы аноды выпрямителей, улучшена система откачки газов, автоматизирована работа масляных насосов, разработана и смонтирована сеточная защита, улучшена система охлаждения выпрямителей. В результате этих, а также некоторых других мероприятий увеличилась перегрузочная способность выпрямителей и повысилась их надежность в работе. Улучшение отдельных элементов ртутных выпрямителей не прекращалось и в годы Великой Отечественной войны: была улучшена конструкция катода, рационализирована схема регулирования напряжения выпрямленного тока и др.

В это же время в опытной эксплуатации на подстанциях метрополитена испытывался новый, конструктивно более совершенный многоцилиндровый выпрямитель, разработанный Всесоюзным электротехническим институтом. Результаты испытаний были учтены при серийном выпуске многоцилиндровых выпрямителей РМНВ 500×6, которыми оборудованы подстанции новых линий. Циркуляционно-замкнутая система охлаждения этих выпрямителей с индивидуальными теплообменниками при применении дистилированной воды предотвращает коррозию корпуса выпрямителей. В процессе эксплуатации этих выпрямителей была улучшена схема их собственных нужд.

Трансформаторы Московского трансформаторного завода за весь период эксплуатации оказались весьма надежными. Завод с каждым выпуском совершенствовал их конструкцию. Эксплоа-

тационный персонал метрополитена производит самостоятельно ремонт и испытания трансформаторов.

В начале эксплуатации на подстанциях московского метрополитена применялись масляные выключатели с большим объемом масла. На подстанциях последующих линий применены уже трехбаковые маломасляные выключатели. Применение таких выключателей особенно важно для подземных подстанций метрополитена.

Одним из наиболее ответственных элементов тяговых подстанций являются быстродействующие выключатели постоянного тока, выполняющие одновременно коммутационные и защитные функции. Конструкция выключателей заводами постепенно усовершенствовалась, причем большую роль в этом сыграли глубокие исследования и испытания, которые проводились на подстанциях метрополитена. Устанавливаемые в настоящее время новые по конструкции быстродействующие выключатели имеют широкие пределы регулировки и обладают малой чувствительностью к колебаниям напряжения оперативного тока. Для повышения оперативной гибкости мощные разъединители постоянного тока контактной сети были оборудованы моторными приводами с дистанционным управлением.

За 15 лет претерпели изменения собственные нужды тяговых подстанций. В частности, вместо применявшихся ранее стеклянных ртутных выпрямителей и двигатель-генераторов в настоящее время на новых подстанциях в качестве основных зарядных агрегатов установлены более надежные и устойчивые в работе селеновые выпрямители.

С развитием метрополитена в соответствии с потребностью в более мощных и технически оснащенных тяговых подстанциях менялся и облик всей подстанции в целом. Новые типы аппаратуры и оборудования позволили улучшить компоновку подстанций, удобнее и рациональнее разместить оборудование. Для оздоровления условий труда персонала на этих подстанциях выделены специальные помещения, оборудованные мощной вентиляцией, для переборки ртутных выпрямителей.

**Задача.** Релейная защита на стороне переменного тока, осуществленная на московском метрополитене по общепринятым схемам, работала надежно и не потребовала в процессе эксплуатации каких-либо существенных изменений. Решить вопрос защиты на стороне выпрямленного тока, особенно в части кабельной сети, оказалось значительно труднее. При повреждении одножильного кабеля в цепь короткого замыкания вводятся большие переходные сопротивления и величина тока короткого замыкания оказывается недостаточной для срабатывания быстродействующего выключателя, отрегулированного в соответствии с рабочими нагрузками. Даже в тех случаях, когда броня одножильного кабеля металлически соединялась с рельсами (отрицательный полюс) при больших длинах кабелей создавались мертвые зоны по защите, доходящие до 50% длины.

Неотключаемое короткое замыкание вызвало бы повреждение и вывод из строя рядом лежащих в коллекторе кабелей. Готовых решений защиты одножильных кабелей большой протяженности не было. Для решения этого весьма важного для метрополитена вопроса было разработано несколько систем защит, наиболее удачные из которых после проверки в лабораторных условиях были смонтированы и поставлены в опытную эксплуатацию. К системам защиты одножильных кабелей, оправдавшим себя в эксплуатации и в настоящее время действующим на подстанциях метрополитена, относятся следующие:

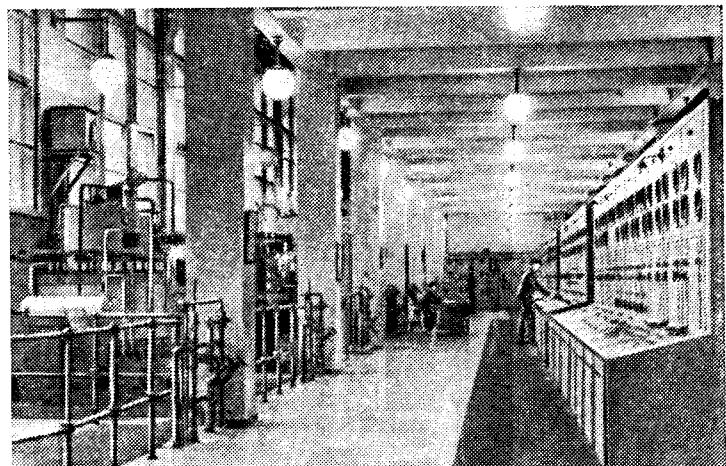
а) Дифференциальная-токовая защита, работающая на принципе небаланса токов, имеющего место при повреждениях кабеля. Осуществлена эта защита посредством высоковольтных токовых реле, подключаемых к разнопотенциальным точкам специальных шунтов и действующих при своем срабатывании на отключение быстродействующих выключателей.

б) Потенциальная-токовая защита, основанная на появлении потенциала на оболочке кабеля в момент его повреждения: Селективность работы этого вида защиты обеспечивается при условии достаточной изоляции между свинцовой оболочкой и броней кабеля. Идя навстречу нуждам метрополитена, заводы начали выпускать кабель со специальной изоляцией между броней и свинцом кабеля, благодаря чему потенциальная-токовая защита в дальнейшем должна получить широкое распространение.

в) Дифференциальная-импульсная защита. При этой защите быстродействующее реле включается в цепь двух дифференциально соединенных трансформаторов тока, без стальных магнитопроводов, установленных на противоположных концах защищаемого кабеля. Работа защиты основана на появлении тока в обмотках реле в момент повреждения кабеля при неуставновившемся режиме.

Увеличение пассажироперевозок потребовало организации движения шестивагонными составами вместо курсировавших вначале четырехвагонных, что вызвало увеличение в 1,5 раза пусковых нагрузок. Это привело к появлению мертвых зон по защите контактной сети, где в ряде случаев ток короткого замыкания в отдаленной точке оказывался меньше рабочих нагрузок. Применяемые на электрических железных дорогах для увеличения тока короткого замыкания посты секционирования в условиях метрополитена по ряду обстоятельств оказались мало пригодными. В целях ликвидации мертвых зон была разработана и внедрена схема связи между линейными выключателями разных подстанций, питающих один участок контактной сети, что позволило увеличить пределы регулировки быстродействующих выключателей почти в 2 раза и обеспечило ликвидацию мертвых зон.

Научно-исследовательскими организациями и работниками эксплуатации разработан ряд новых



Машинный зал тяговой подстанции.

оригинальных защит контактной сети, которые будут внедряться при дальнейшем повышении интенсивности движения и увеличения числа вагонов в поезде. В процессе эксплуатации, а также на вновь построенных тяговых подстанциях смонтирована защита шин 825 в, обеспечивающая надежное и селективное отключение в случае замыкания на землю. Защита осуществлена при помощи электромагнитных токовых реле, врезанных в магистраль заземления в распределительстве постоянного тока.

**Автоматика и телемеханика.** Опыт эксплуатации показал, что основным условием для обеспечения бесперебойного энергоснабжения является правильное ведение режима работы сложных агрегатов тяговых подстанций. Ртутный выпрямитель работает исправно, если температура его корпуса и охлаждающей воды поддерживается в определенных пределах, ртутные насосы обтекаются беспрерывно водой, нагрузка ртутного выпрямителя не превышает заданной и т. п. В строго заданных пределах должно поддерживаться также напряжение оперативного тока, от которого зависит надежная работа защитных коммутационных аппаратов, а также ряда других элементов подстанции.

Важным условием является умелое и своевременное использование резервных агрегатов и выключателей. Персонал подстанций, даже наиболее квалифицированный, окончивший специальные курсы и имеющий стаж работы, полностью не может обеспечить такого наблюдения за режимом работы подстанции и своевременного использования резервов, которые при интенсивности работы метрополитена гарантировали бы бесперебойную подачу электроэнергии ко всем потребителям.

В связи с этим во всю широту встал вопрос о необходимости автоматизации основных процессов на подстанциях и телемеханики управления их коммутационными аппаратами с центрального электродиспетческого пункта, ибо только автоматизация обеспечивает четкую рабо-

ту оборудования, правильное и своевременное использование резервов вне зависимости от степени внимания и квалификации дежурного персонала. В результате большой творческой работы инженеров московского метрополитена и при участии ряда заводов в настоящее время автоматизирована  $\frac{1}{3}$  общего количества подстанций, из которых часть оборудована телеуправлением с центрального диспетчерского пункта. Кроме того,  $\frac{1}{3}$  подстанций оборудована так называемой «малой автоматикой», при которой автоматизировано резервирование только наиболее ответственных агрегатов.

В первый период автоматизация подстанций производилась на базе реле типов РЭ, КП и др. В настоящее время все большее распространение получают проверенные в лаборатории метрополитена и в опытной эксплоатации на подстанциях кодовые и телефонные реле.

На подстанциях метрополитена автоматизированы процессы повторного включения ртутно-выпрямительных агрегатов и быстродействующих выключателей в случае отключения их от перегрузки, а также при исчезновении причины, вызвавшей их временное отключение (перегрев или переохлаждение ртутного выпрямителя, временное погасание дуги возбуждения и т. д.), замещение неисправного агрегата или выключателя резервным, переключение на аварийный источник питания освещения, поддержание в заранее предусмотренном режиме температуры агрегатов, стабилизация напряжения оперативного тока и другие процессы, позволившие перевести эти подстанции на работу без дежурного персонала.

Используя физические явления, происходящие при повреждениях в контактной сети, приборы автоматики позволяют отличать при равных величинах токов короткие замыкания от перегрузок, чего не мог сделать самый квалифицированный дежурный.

Большая экспериментально-исследовательская работа была проведена на метрополитене для выбора системы телеуправления, ее схем и конструкций. Вначале в опытную эксплоатацию были поставлены телестановки распределительной системы с временным кодом. Однако, несмотря на ряд ее преимуществ, эксплоатация первого периода показала большое время передачи приказов и сигналов, что в условиях метрополитена являлось недостатком системы.

На основе стендовой проверки и опытной эксплоатации была разработана и принята амплитудно-импульсная распределительная система, обеспечивающая крайне важную в условиях метрополитена большую скорость передачи. В качестве селектирующего кода принята амплитуда тока, усиленного в 5—6 раз по сравнению с импульсами движения искателя. Время передачи распорядительной серии составляет 3—4 сек, а по запросу не более 15 сек при передаче сигналов по трем группам.

Посредством телемеханики электродиспетчер имеет возможность управлять с центрального диспетчерского пункта масляными выключателями, быстродействующими выключателями, разъ-

единителями с моторными приводами и другими управляемыми аппаратами. При помощи телесигнализации электродиспетчер в любой момент видит на диспетчерском щите фактическое положение схемы подстанций. О всяком нарушении нормального режима работы оборудования диспетчер получает телесигнал с указанием места и характера нарушения. Таким образом, непосредственное управление подстанциями сосредоточено в руках опытного инженера, принимающего оперативные решения с учетом работы смежных подстанций.

Одновременно с системой телеуправления и сигнализации разрабатывались совместно с Центральной лабораторией треста «Центрэлектромонтаж» схемы и конструкции устройства телеметрии, позволяющие электродиспетчеру в любой момент замерять нагрузки агрегатов и сети, а также напряжения на шинах переменного и выпрямленного тока.

Как показал длительный опыт эксплоатации автотелеуправляемых подстанций, надежность работы оборудования и бесперебойность энергоснабжения в целом значительно повысились по сравнению с подстанциями, обслуживаляемыми дежурным персоналом.

Благодаря применению так называемых «программных» операций, когда одной диспетчерской командой производится целая серия предусмотренных включений и отключений аппаратов на автотелеуправляемых подстанциях, удалось значительно сократить время подачи и снятия напряжения с контактного рельса, увеличив тем самым ночное «окно» для проведения ремонтных работ в туннеле метрополитена.

Разработанные на метрополитене советскими инженерами, целиком из отечественного оборудования, проверенные в эксплоатации схемы и конструкции устройств автоматики и телеуправления подстанциями приняты для применения на последующих очередях строительства московского метрополитена.

В значительной степени опытом метрополитена в этой области пользуются и другие предприятия Советского Союза.

**Кабельная сеть.** Электрические связи в энергосистеме метрополитена осуществляются кабелями, которые выбраны в зависимости от назначения и условий прокладки. Уже с вводом первой очереди протяженность кабельной сети метрополитена достигла значительной величины. С пуском второй очереди в 1938 г. протяженность кабельной сети удвоилась, а к началу 1950 г. она возросла еще более. Кабели метрополитена проложены на различных трассах и имеют различные условия работы. Они проходят в подвалах и коллекторах подстанций, по вертикальным стволам шахт, в железобетонных и тюбинговых туннелях, под платформами станций, в трубчатых переходах, под путями депо и т. д. Кабели подвержены воздействиям колебаний температуры, вибрации и могут подвергаться вредному действию блюжающих токов.

Трасса многих кабелей имеет значительную разность высотных отметок. Все это вызывает особую сложность эксплоатационного обслуживания их.

Жесткое крепление кабелей в стволах шахт с расстоянием между кронштейнами не более 1 м оказалось надежным.

Серьезная задача возникла в связи с тем, что у обычных кабелей при большой разнице высотных отметок происходит стекание компаунда, осушение верхних концов и возможно распиление свинцовой оболочки внизу. Задача решалась путем применения на вертикальных участках кабелей с осущеной изоляцией, кабелей с резиновой изоляцией и устройством на кабелях с бумажной изоляцией стопорных муфт, а также применением кабелей с оцинкованной проволочной броней.

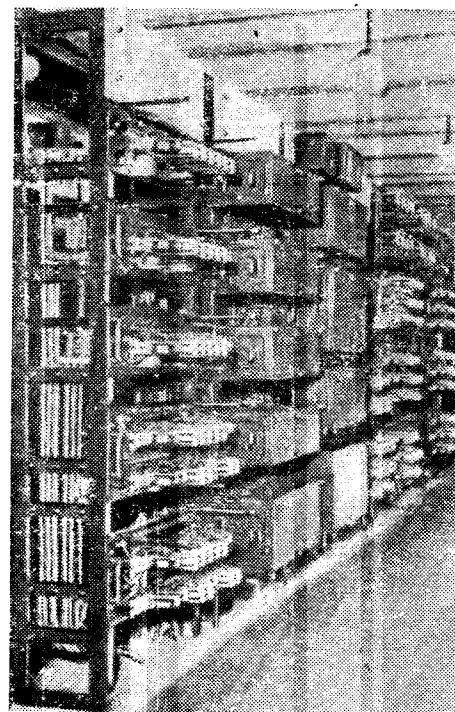
В специфических условиях метрополитена при сочетании высокой надежности кабельной сети с ограниченными габаритами туннелей применяются только свинцовые муфты.

Работники метрополитена решили такие существенные вопросы, как соединение кабеля ОСБГ с кабелем СБГ, кабеля СРБГ с кабелем СБГ. Исследуется не менее существенный для туннельных условий вопрос о применении холодных компаундов. Несколько опытных муфт, залитых холодным компаундом, проходят длительную эксплоатационную проверку. После ряда экспериментов работниками метрополитена разработаны полноценные концевые заделки для кабелей сети 825 в. Лучшими из предложенных заделок, фарфоровой и кембриковой, оборудуются вновь прокладываемые кабели, а также и кабели старых прокладок при ремонте.

В процессе эксплоатации все кабели, проложенные в туннеле и коллекторах, подвергаются тщательным периодическим осмотрам и профилактике. Два раза в год производятся плановые испытания кабелей, при которых своевременно выявляются дефекты в изоляции, чем предотвращаются их аварийные отключения. Принятые на метрополитене высокие величины испытательных напряжений постоянным током достаточны для надежного выявления дефектов изоляции и безопасны для изоляции здоровых кабелей. При испытаниях снимаются вольтамперные и амперсекундные характеристики.

С 1947 г. не было случаев аварий с кабелями из-за дефектов изоляции, не выявленных при испытаниях, что подтверждает эффективность испытаний и свидетельствует о планомерном повышении электрической прочности кабельной сети метрополитена.

Разность потенциалов между телом туннеля и ходовым рельсом, используемым на метрополитене в качестве обратного провода, служит причиной стекания тока из рельсов в грунт и появления так называемых «блуждающих токов», могущих вызвать электрохимическую коррозию металлических подземных сооружений. Наличие в подземных сооружениях метрополитена больших масс металла придавало вопросу борьбы с коррозией большое значение. Исходя из того, что величина блуждающих токов про-



Щит автоматики тяговой подстанции.

порциональна разности потенциалов между ходовым рельсом и телом туннеля и обратно пропорциональна изоляции ходового рельса, был намечен, и в процессе эксплоатации проведен в жизнь ряд мероприятий в этой области.

Для снижения потенциалов ходовых рельсов были уложены уравнительные соединения между путями, главным образом в местах пуска поездов. В целях снижения величины падения напряжения в ходовых рельсах последние годы усиленно внедряются сварные стыки. С этой же целью силами эксплоатации усилены отсасывающие линии и проложены дополнительные отсосы на консольных участках трассы.

Проведены большие работы по изоляции рельсовых цепей от тела туннеля путем улучшения верхнего строения пути и стока грунтовых вод, а также применением пропитанных шпал и т. д.

Помимо этого совместно с научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта в 1946—1947 гг. проведено глубокое изучение коррозии ходовых рельсов и осуществлен ряд дополнительных защитных мероприятий. В 1947 г. были выпущены «Временные правила защиты сооружений и устройств метрополитена от электрокоррозии».

Для оперативного контроля сопротивления рельсовых стыков работники метрополитена разработали стыкоскоп, смонтировав его на тележке, что значительно облегчило и ускорило замеры этих сопротивлений.

**Электроосвещение.** Помимо задачи обеспечения повседневной работы метрополитена электро-

освещение должно обеспечивать хорошую освещенность для пассажиров и украшать подземные сооружения. Оно должно отвечать архитектурной отделке станции, выполнять декоративные функции, подчеркивать архитектурные особенности, выделяя лепные украшения и формы. Поэтому к выбору системы освещения и типа светильников предъявляются большие и разнообразные требования.

На метрополитене для освещения станций и вестибюлей применяются сотни типов арматур и светильников. Однако обычными лампами накаливания не всегда удается поддерживать надлежащее и достаточное освещение, а также создать нужный световой эффект, подчеркивающий красоту подземных дворцов московского метрополитена. Это обстоятельство, а также и то, что мощность осветительных установок на метрополитене составляет тысячи киловатт, заострило вопрос о применении люминесцентного освещения, являющегося более экономичным, чем лампы накаливания, и обладающего лучшими световыми качествами.

Для проверки целесообразности применения этого вида освещения на московском метрополитене станция Кировская была оборудована люминесцентными лампами. Опытная эксплоатация, в период которой проводился ряд замеров и наблюдений, показала, что использование люминесцентного освещения в сооружениях метрополитена технически целесообразно и снижает расход энергии.

При применении правильно подобранных типов люминесцентных ламп значительно выигрывает архитектура станций, оживает мрамор и создается достаточно благоприятное для пассажиров освещение. Теперь люминесцентное освещение осуществлено на двух новых станциях кольцевой линии (на Курской и на Серпуховской).

По мере увеличения выпуска люминесцентных ламп и аппаратуры к ним и снижения их стоимости этот вид освещения будет все более широко применяться на станциях метрополитена.

**Экономия электроэнергии.** Метрополитен является крупным потребителем электроэнергии и поэтому вопросу рационального расходования ее уделяется серьезное внимание.

Сокращение расхода электроэнергии проводилось по линии улучшения работы подвижного состава, внедрения рациональных режимов движения поездов, оборудования вагонов авторежимами и счетчиками постоянного тока, установки интервальных часов на станциях.

Уменьшен также расход электроэнергии на собственные нужды метрополитена и на собственные нужды тяговых подстанций. Так, если расход на собственные нужды одной тяговой подстанции в сутки в 1940 г. принять за 100%, то в 1949 г. он составлял уже только 87%.

Уменьшение расхода электроэнергии на собственные нужды метрополитена шло за счет снижения потерь холостого хода двигателей эскалаторов и сантехники, а также твердого соблюдения графика работы двигателей и освещения.

К мероприятиям по экономии электроэнергии можно отнести: применение при формовке ртутных выпрямителей метода короткого замыкания, перевод аккумуляторных батарей на режим постоянного подзаряда, перевод подстанций на автотелеуправление, рационализация сети освещения и электрического отопления, поддержание на шинах подстанций наибольшего допустимого напряжения, замена сборных стыков контактного и ходового рельсов сварными, учреждение энергонадзора за экономным расходованием электроэнергии, организация социалистического соревнования за экономию электроэнергии и проведение других общественных мероприятий.

**Организация эксплоатации и рационализация.** Надежная работа электрооборудования подстанций, кабельной сети и сети освещения обеспечивается систематическим надзором и уходом со стороны эксплоатационного персонала. В первый период работы метрополитена эксплоатация энергоустройств была построена по территориальному принципу, например, участки понизительных подстанций обслуживали также прилегающую кабельную и осветительную сеть. С ростом объема и технического оснащения энергохозяйства однородные по оборудованию объекты были выделены в самостоятельные участки и специализированные цехи. Для этой же цели создана дистанция защиты и автоматики с цехами защиты, автоматики и телемеханики; дистанция ремонта, ведущая капитальный и средний ремонт ртутных выпрямителей, трансформаторов, масляных и быстродействующих выключателей. Дистанция ремонта имеет подсобные участки: трансформаторно-масляное хозяйство, химическую лабораторию, мастерские.

Оперативно-техническое руководство энергосистемой сосредоточено на электродиспетчерском пункте с придаными ему бригадами скорой технической помощи. Правильному обслуживанию энергохозяйства способствует четкое ведение технической документации и учета состояния оборудования, производственно-техническое планирование. Эксплоатация каждого вида оборудования проводится в строгом соответствии с разработанными на метрополитене технологическими процессами обслуживания и ремонта.

Из года в год растет творческая инициатива стахановцев, инженеров и техников. В 1946 г. энергетики метрополитена внесли 46 рационализаторских предложений, в 1947—76, в 1948—200, в 1949—248 и за 3 мес. 1950 г.—100. Большинство предложений дает значительный технический эффект и направлено на повышение надежности работы энергохозяйства. Одновременно с этим достигнут значительный экономический эффект, выразившийся за 5 лет в сумме более 1 млн. руб.

В порядке рационализации решены большие технические задачи, в том числе: реконструирован привод поручня эскалаторов, благодаря чему повышен общий к. п. д. машин, разработаны новые виды защиты кабелей постоянного тока, разъединители контактной сети (форкамера) перенесены в туннель к контактному рельсу для

лучшей защиты от токов короткого замыкания. Предложен ряд новых реле, новых схем управления и автоматики. Заводы-изготовители внесли ряд конструктивных изменений в выпускаемое ими оборудование по предложениюм рационализаторов метрополитена.

**Содружество с заводами и научно-исследовательскими организациями.** В вопросе усовершенствования энергетического хозяйства и внедрения новых видов оборудования и схем значительную помощь метрополитену оказывали заводы и научно-исследовательские организации.

Усовершенствование конструкций и испытание новых ртутных выпрямителей и быстродействующих выключателей производилось совместно с заводами-изготовителями и при участии Всесоюзного электротехнического института им. Ленина.

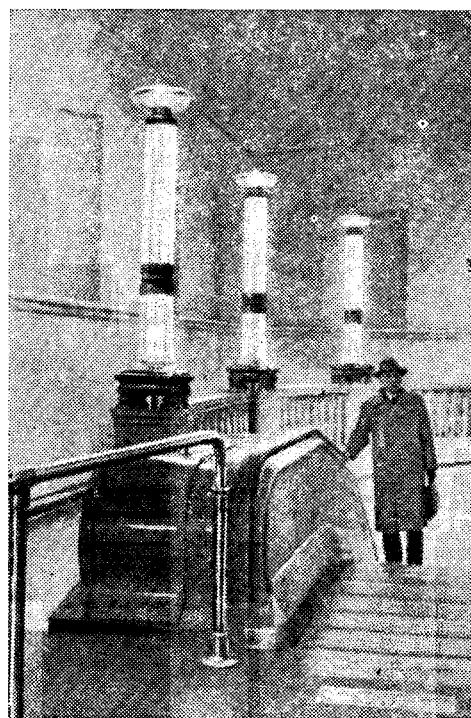
В испытании новых видов защит участвовал Московский энергетический институт им. Молотова и Московский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Дзержинского.

В борьбе с буждающими токами большую помощь метрополитену оказал центральный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта.

В свою очередь московский метрополитен всегда охотно предоставлял возможность научно-исследовательским институтам и заводам производить исследования и испытания новых типов аппаратуры в сетях и на подстанциях метрополитена, принимая в этих работах самое активное участие. Помимо работ, проводимых совместно с заводами и научно-исследовательскими организациями, энергетики метрополитена самостоятельно проводили большое количество испытаний и исследований во всех областях хозяйства, как в лабораториях, так и непосредственно на подстанциях и в сетях.

Были созданы также передвижные испытательные установки для профилактических испытаний кабелей, распределительств высокого напряжения, маслонаполненной аппаратуры, высоковольтных изоляторов и пр. Эти установки оснащены не только стандартным оборудованием, но в ряде случаев для них разрабатывались и изготавливались специальная аппаратура и приборы, как-то: переносные кенотронные аппараты на различное напряжение, специальные приборы для замеров буждающих токов, передвижные пульты для исследования физических процессов в ртутных выпрямителях и другие.

Таким образом, подстанции и сети Московского метрополитена, наряду с выполнением своей основной роли являлись одновременно и крупной производственной лабораторией, в ко-



Люминесцентное освещение  
предэскалаторного зала станции  
Курская-кольцевая.

торой, благодаря тесному содружеству эксплуатации с заводами и научно-исследовательскими организациями, совершенствовалось оборудование и вырабатывались методы правильного и надежного обслуживания электрохозяйства.

Остается пожелать, чтобы совместная работа и в дальнейшем протекала столь же плодотворно. В частности, ждут своего быстрейшего разрешения такие задачи, имеющие первостепенное значение для метрополитена: а) дальнейшее увеличение перегрузочных способностей ртутных выпрямителей и упрощение схемы собственных нужд РМНВ; б) организация серийного выпуска отпаянных ртутных выпрямителей с воздушным охлаждением; в) выпуск промышленностью сухих трансформаторов для подземных подстанций и замена маслонаполненных проходных втулок пустотными; г) расширение ассортимента люминесцентных ламп и регулирующей аппаратуры к ним; д) массовый выпуск кабельной промышленностью арматуры для концевых заделок и соединительных муфт и аппаратуры для опрессовки кабельных наконечников к кабелям различных типов и марок.

[26. 4. 1950]



# Экспериментальное исследование динамической устойчивости

Доктор техн. наук И. М. МАРКОВИЧ и кандидат техн. наук С. А. СОВАЛОВ

Москва

Пропускная способность дальних передач переменного тока при схеме параллельной работы цепей определяется в основном уровнем динамической устойчивости передачи. Наличие излишних запасов в методологии расчетов может привести к нецелесообразному удорожанию дальних передач или к необоснованному переходу на схему работы раздельными блоками. Опыт эксплуатации некоторых энергосистем давно уже подсказывает, что такие излишние запасы имеются. На это неоднократно указывал также Технический отдел МЭС.

Схема работы раздельными блоками в большинстве случаев снимает вопрос о динамической устойчивости передачи, но в то же время эта схема является менее надежной и предъявляет повышенные требования к величине врачающегося резерва мощности в приемной системе.

Общепринятые методы расчета динамической устойчивости, как известно, базируются на ряде допущений, принимаемых без достаточного анализа, по тем мотивам, что они идут в запас надежности. Эти допущения в основном сводятся к неучету: 1) насыщения магнитной цепи генераторов; 2) активных сопротивлений цепей статора, трансформаторов, дуги и т. д.; 3) демпферных моментов, обусловленных скольжением генераторов, что особенно существенно в послеаварийном режиме; 4) дополнительных потерь энергии в режиме короткого замыкания и в послеаварийном режиме: в обмотке ротора, в стали ротора (от поля созданного токами обратной последовательности, и от поля, созданного апериодическими слагающими токов статора) и в обмотке статора (от апериодических слагающих токов статора).

Хотя большинство указанных допущений, по-видимому, не так уж сильно увеличивает расчетный запас динамической устойчивости, но вся совокупность этих допущений приводит к неверной оценке предела динамической устойчивости.

Произведено экспериментальное исследование динамической устойчивости передачи 220 кв от гидростанции. Результаты опыта сопоставлены с результатами расчета; произведен анализ расчетного запаса динамической устойчивости при расчетах по общепринятой методике. Доказана практическая возможность точного расчета динамической устойчивости, что имеет существенное значение как для эксплуатации существующих систем, так и для проектирования дальних передач от мощных гидростанций.

Это обстоятельство может вызвать удорожание вновь сооружаемых дальних передач и неправильную эксплуатацию существующих.

**Испытания.** В связи с затруднениями, которые имели место в эксплуатации из-за недостаточного

уровня динамической устойчивости существующей двухцепной передачи 220 кв от мощных гидростанций и связанной с этим необходимостью перехода от схемы параллельной работы цепей к схеме раздельной их работы при увеличении нагрузки передачи было решено проверить экспериментально динамическую устойчивость передачи от гидростанций, а также оценить величину запаса, обусловленного обычными расчетными допущениями. Этот переход осуществлялся всякий раз, когда суммарная нагрузка передачи достигала предела по динамической устойчивости, определенного по общепринятым методам. Схема передачи 220 кв, осуществленная при испытаниях, представлена на рис. 1.

Номинальная мощность каждого из двух однотипных гидрогенераторов 55 тыс. квт. Мощность трансформаторной группы 138 тыс. ква. Точка В на схеме (рис. 1)—приемный узел сети 220 кв мощной системы. На полосах А' 220 кв осуществлялось металлическое соединение двух фаз с землей. При проведении испытаний устанавливалась точно заданная нагрузка генераторов, после чего выключателем 3 производилось включение на короткое замыкание. Защита автоматически отключала выключатель 3 и одновре-

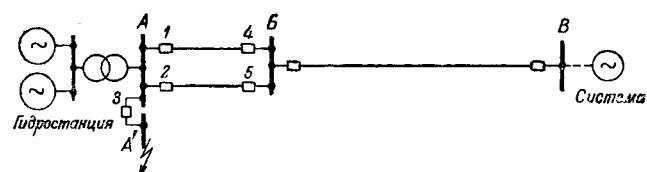


Рис. 1. Схема передачи 220 кв при испытаниях.

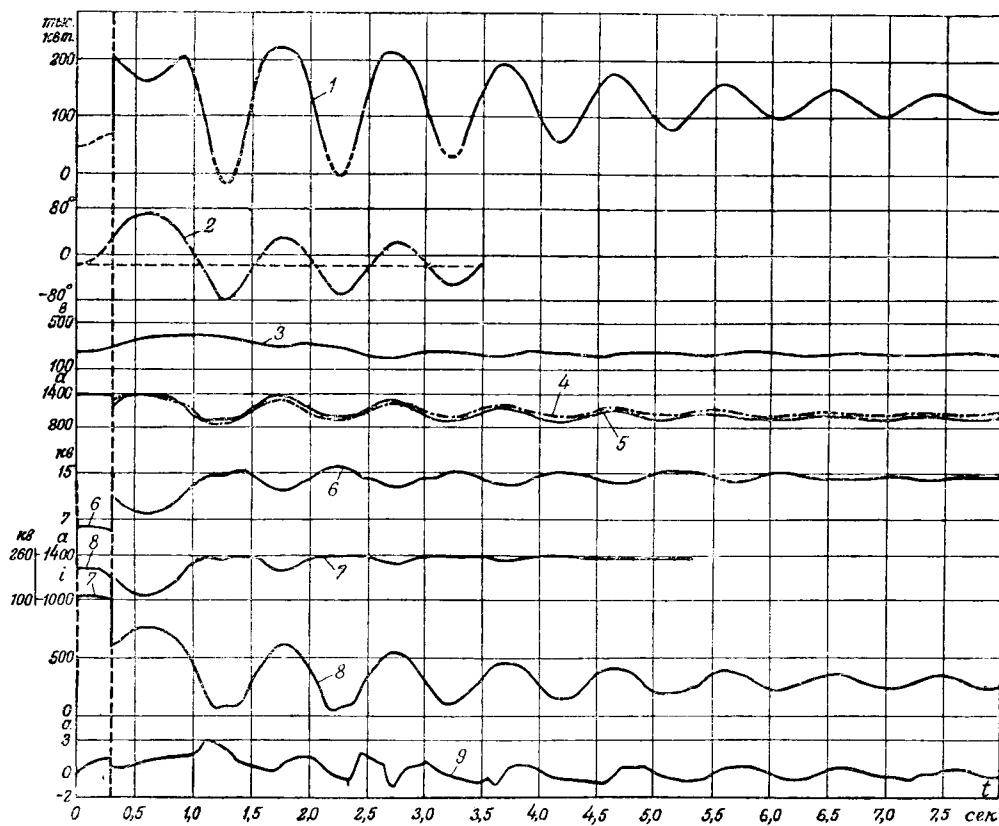


Рис. 2. Результаты обработки осциллограмм по второму опыту.

1 — активная мощность на стороне 220 кв трансформаторной группы; 2 — относительный угол генератора № 2 (относительно системы); 3 — напряжение ротора генератора № 2; 4 и 5 — токи роторов генераторов № 1 и № 2; 6 — напряжение полос генераторного напряжения; 7 — напряжение полос 220 кв; 8 — ток трансформаторной группы на стороне 220 кв; 9 — ток электронного регулятора генератора № 2.

менно с ним выключатель 2 с общим временем действия защиты и выключателя 0,28—0,29 сек.

Таким образом, условия испытания были эквивалентны возникновению внезапного двухфазного замыкания на землю на одной из цепей участка А—Б вблизи полос А с автоматическим отключением поврежденной цепи в 0,28—0,29 сек. Произведенными до испытаний расчетами динамической устойчивости (выполненные в предположении постоянства э. д. с. за переходным реактивным сопротивлением  $X'_d$ ) предельная по условиям динамической устойчивости суммарная нагрузка генераторов установлена 115—120 тыс. квт. Испытания проводились дважды: а) при суммарной нагрузке 130 тыс. квт (предельная мощность турбин) и б) при суммарной нагрузке 125 тыс. квт. Программой испытаний было предусмотрено, что при возникновении сильных качаний, после 3-го перехода через нуль стрелки ваттметра трансформаторной группы, персонал отделяет оба генератора от сети.

В первом опыте — при нагрузке генераторов 130 тыс. квт — появились весьма значительные качания и персонал, действуя в соответствии с программой, отключил выключатель 1, чем отделил оба генератора от сети. Осциллограммы первого опыта показали, что хотя действительно возникли сильные качания, но они имели затухающий характер. Поэтому опыт был повторен при нагрузке генераторов 125 тыс. квт, причем

персоналу было дано указание отделить генераторы от сети не ранее чем через 6—10 сек после начала качаний и только в том случае, если качания не будут затухать.

При втором испытании наблюдались столь же значительные качания мощности (с четырехкратным переходом стрелки ваттметра группы через нуль); после 3-го — 4-го цикла качаний стало ясно, что качания имеют затухающий характер и генераторы не отделялись от сети. Через 30 сек качания практически прекратились. Характер процесса одинаков в I и II опытах; увеличение длительности короткого замыкания во II опыте (с 0,28 сек до 0,29 сек) примерно компенсируется снижением нагрузки генераторов (со 130 тыс. квт до 125 тыс. квт).

Динамическая устойчивость в обоих испытаниях сохранилась; однако большая амплитуда качаний указывает на то, что испытуемый режим близок к предельному по условиям динамической устойчивости. В поведении каждого из генераторов незаметно существенных расхождений; активная нагрузка обоих генераторов при испытаниях была одинаковой; незначительное расхождение в начальных токах роторов не могло повлиять на ход переходного процесса (расхождение в величинах  $E_d$  по сравнению со средним расчетным значением порядка 2—3%). В дальнейшем анализе и расчетах поведение обоих генераторов принималось идентичным.

**Расчеты динамического перехода и их сопоставление с результатами испытаний.** На рис. 2 представлены определенные в результате обработки осциллограмм изменения во времени: угла генератора № 2, активной мощности на стороне 220 кв трансформаторной группы, напряжения ротора генератора № 2, токов роторов обоих генераторов, напряжения на полосах 220 кв, тока трансформаторной группы на стороне 220 кв и тока электронного регулятора генератора № 2—по второму испытанию. Расчеты переходных процессов проводились для условий второго испытания, при котором генераторы не отключались от сети. В табл. 1 дано полученное из второго испытания изменение: угла генератора № 2 (относительно значения нормального режима), активной мощности и тока на стороне 220 кв трансформаторной группы, напряжения и тока ротора генератора № 2 в первом цикле качаний.

В этой же таблице приведены соответствующие полученным значениям тока и напряжения ротора э. д. с.  $E_d$  и  $E_{de}$ , подсчитанные по параметрам эквивалентной схемы замещения. С данными, приведенными в табл. 1, и производится в дальнейшем сопоставление результатов расчетов. Прежде всего были произведены расчеты нормального режима, определены э. д. с. и углы сдвига генераторов и эквивалентные полные сопротивления связи с системой. Приемная система замещалась при этом реактивным сопротивлением, полученным в результате упрощения электрической схемы системы; генераторы системы замещались своими переходными реактивными сопротивлениями. Затем были проведены следующие расчеты для предварительного анализа:

а) По значениям мощности, полученным из опыта, было определено изменение относительного угла сдвига генераторов. Значения угла, полученные по расчету, были сопоставлены с значениями, полученными из опыта (приложение 3). Как видно из рис. 3, полученное по расчету значение максимального угла в первом цикле качаний (кривая  $a$ , рис. 3) меньше полученного из опыта (кривая  $b$ , рис. 3), на  $6^\circ$ ; моменты времени, соответствующие максимальному значению

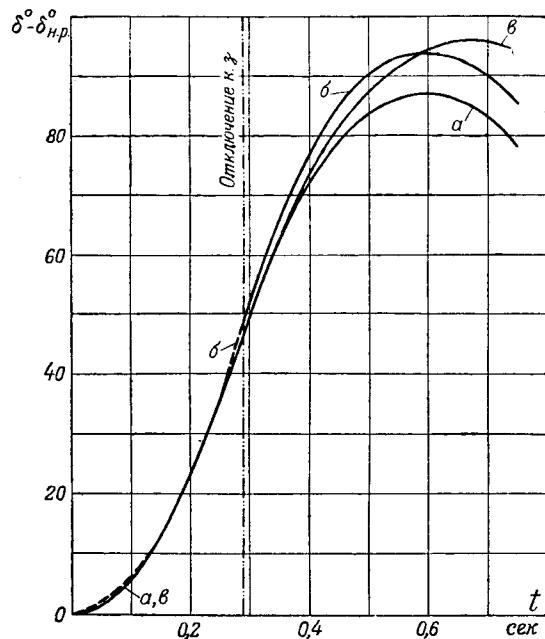


Рис. 3. Изменение относительного угла, подсчитанное по полученным из опыта значениям электрической мощности генераторов.

угла, совпадают. Однако, если снизить значения электрической мощности в послеварийном режиме против принятых выше всего на 5%, то расчетное значение максимального угла (кривая  $b$ , рис. 3) окажется на  $2,5^\circ$  больше полученного из опыта (приложение 3). Это обстоятельство характеризует хорошее соответствие друг другу осциллограмм относительного угла и электрической мощности, а также подтверждает достаточную точность принятой в расчете постоянной механической инерции агрегатов.

б) По значениям напряжения ротора и угла генератора, полученным из опыта, было определено изменение э. д. с.  $E_d$ . Начальное значение относительного угла и соотношения величин тока ротора и э. д. с.  $E_d$ , а также напряжения ротора и э. д. с.  $E_d$  взяты из расчета нормального режима. На рис. 4 сопоставлено

Таблица 1

Время после короткого замыкания, сек	Нормальный режим	0,0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,29	0,29	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75
$(\delta^0 - \delta_{нр}^0)_{осц}$ . . .	0	0	(2)	(6)	(13)	(23)	(35)	(47)	47	64	75	83	88	91	91	90	87	83
$P_{2p}$ , тыс. квт . . .	125	(50)	(53)	(55)	(60)	(65)	(69)	(70)	202	193	184	177	166	163	161	163	171	178
$I_{рот2}^*$ , а . . . . .	950	1 370	1 370	1 370	1 370	1 360	1 360	1 360	1 190	1 250	1 320	1 370	1 390	1 390	1 390	1 390	1 390	1 365
$U_{рот2}^*$ , в . . . . .	245	245	247	250	255	265	280	300	300	310	322	335	345	350	360	370	375	380
$I_{2p}^{**}$ , а . . . . .	266	1 275	1 275	1 275	1 275	1 235	1 230	1 200	590	610	665	705	740	745	744	742	732	720
$E_d$ , кв . . . . .	338	437	487	487	487	485	485	485	424	445	470	487	493	495	495	495	495	485
$E_{de}$ , кв . . . . .	338	338	341	345	352	336	386	414	414	428	444	452	476	483	497	510	518	524

\* Без учета периодической составляющей тока ротора.

\*\* Симметричная составляющая тока обмотки 220 кв трансформаторной группы.

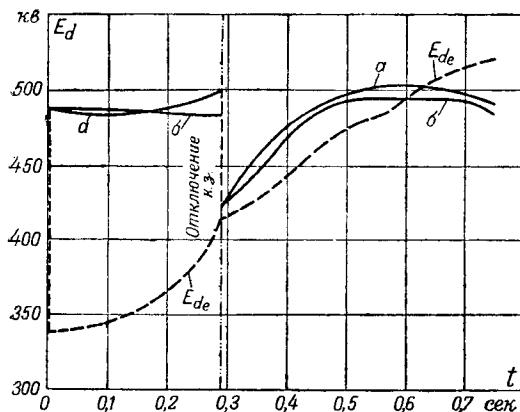


Рис. 4. Изменение  $E_d$ , подсчитанное по полученным из опыта значениям напряжения ротора и угла генераторов.

полученное по этому расчету изменение  $E_d$  (кривая *a*) с изменением  $E_d$ , полученным по значениям тока ротора из осциллограммы испытания (кривая *b*). На том же рис. 4 дано изменение  $E_{de}$ , полученное по значениям напряжения ротора, взятым из осциллограммы опыта.

Как видно из рис. 4, расчетные значения  $E_d$  (и соответствующие им расчетные значения тока ротора) почти совпадают со значениями, полученными из испытаний (расхождение не превышает 2%). Это обстоятельство характеризует хорошее соответствие друг другу осциллограмм угла, тока ротора и напряжения возбуждения, а также подтверждает достаточную точность принятых в расчете постоянной электромагнитной инерции и параметров расчетных схем замещения.

в) По значениям относительного угла генератора и тока ротора, полученным из опыта, было определено изменение электрической мощности генераторов. Определение мощности производилось без учета насыщения и демпферного момента, но с учетом потерь в трансформаторе. Сопоставление расчетных значений электрической мощности (кривая *a*, рис. 5) с значениями, полученными из опыта (кривая *b*, рис. 5) представляет электрическую мощность по осциллограмме плюс потери в трансформаторе, показывает, что электрическая мощность по расчету ниже, чем по испытаниям. Это обстоятельство характеризует влияние неучета насыщения и демпферного момента при определении электрической мощности по заданному изменению угла.

После этого предварительного анализа были произведены расчеты переходного процесса по общепринятой методике с учетом изменения во времени реакции статора и влияния регуляторов напряжения. Величина расчетного интервала 0,05 сек (для интервалов 0,25—0,29—0,35—0,40 сек приращение угла определялось по формулам, учитывающим неравенство смежных интервалов). Учет влияния регуляторов напряжения мог быть произведен более точно, чем обычно, так как вместо недостаточно обоснованных допущений о характере изменения во времени напряжения на

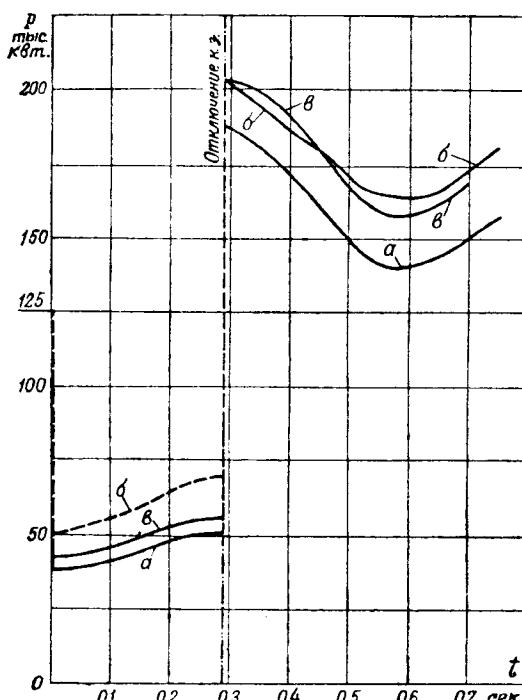


Рис. 5. Изменение электрической мощности, подсчитанное по полученным из опыта значениям относительного угла генераторов и тока ротора, без учета насыщения и с учетом насыщения.

зажимах возбудителя это изменение было принято в соответствии с осциллограммой.

На рис. 6 сопоставлены значения электрической мощности генератора, э. д. с.  $E_d$  (пропорциональной току ротора) и угла генераторов, определенные этим расчетом (кривые *a*) с данными, полученными из опыта (кривые *b*). Как видно из рис. 6, расчет указывает на нарушение динамической устойчивости, в то время как на опыте динамическая устойчивость не была нарушена. Это обстоятельство подчеркивает наличие запаса в расчетах по обычной методике. Однако это не позволяет еще говорить о величине расчетного запаса, так как характер качаний, зафиксированных на осциллограмме, как уже отмечалось, указывает на близость режима при испытаниях к предельному по условиям динамической устойчивости.

Для определения величины общего запаса в расчетах по общепринятой методологии и, в частности, для оценки влияния различных допущений на величину расчетного запаса было проведено специальное исследование, позволившее внести в расчет необходимые уточнения. После внесения этих уточнений было получено хорошее совпадение расчетов с испытаниями. Это совпадение является наиболее важным результатом настоящего исследования, так как оно подтверждает правильность данного ниже объяснения расхождений обычного расчета и эксперимента, доказывает практическую возможность выполнения точных расчетов динамической устойчивости

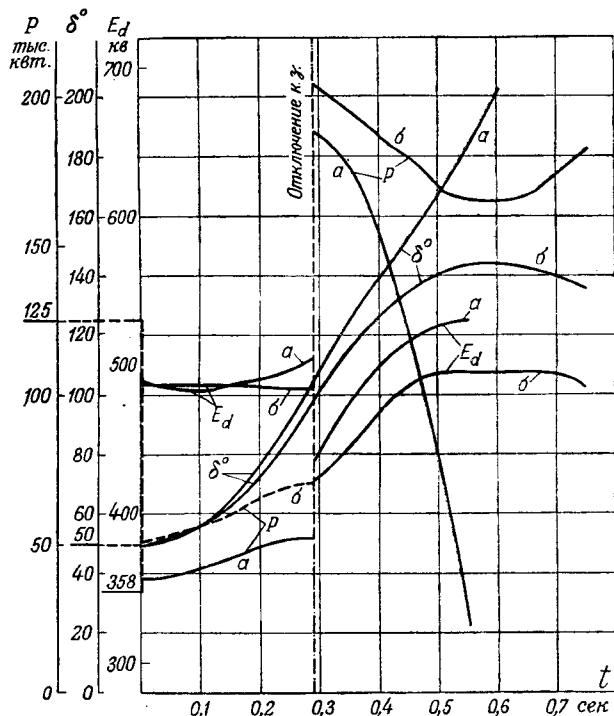


Рис. 6. Сопоставление результатов расчета по обычной методике с данными опыта.

и позволяет оценить запасы, вводимые принятием обычных упрощающих допущений.

Следует подчеркнуть, что выводы из настоящего исследования непосредственно применимы лишь к случаю гидрогенераторов без демпферных обмоток.

Были произведены следующие расчеты:

а) Расчет электрической мощности по значениям относительного угла и тока ротора, полученным из опыта, но с учетом насыщения магнитной цепи генератора. Метод расчета изложен в приложении 4.

На рис. 5 сопоставлены изменения электрической мощности генераторов по расчету без учета насыщения (кривая *a*), по осциллограмме испы-

таний (кривая *b*) и по расчету с учетом насыщения (кривая *c*). Как видно из сопоставления этих кривых, электрическая мощность в послеаварийном режиме, определенная по расчету с учетом насыщения, близко подходит к значениям, взятым из осциллограммы. Таким образом, можно прийти к выводу, что основной расчетный запас обусловлен неучетом насыщения.

б) Определение демпферной мощности по значениям углов и скоростей их изменения, взятым из осциллограммы испытаний. Как видно из табл. 2, демпферная мощность  $P_d$  имеет существенное значение только в послеаварийном режиме и при больших скольжениях. Значения демпферной мощности в режиме короткого замыкания невелики и лежат в пределах точности расчетов и измерений. В данном случае большие скольжения в послеаварийном режиме имели место лишь в течение 3—4 интервалов после отключения короткого замыкания. Очевидно, что неучет демпферных мощностей в режиме короткого замыкания, а также в послеаварийном режиме при малых скольжениях для гидрогенераторов без демпферных обмоток не может привести к существенному увеличению расчетного запаса.

в) Определение дополнительной мощности на валу генераторов, обусловленной потерями активной мощности в статоре и роторе генераторов. К числу этих потерь относятся: 1) дополнительные потери (сверх значения потерь в доаварийном режиме), пропорциональные разности квадратов токов переходного и доаварийного режимов; 2) дополнительная мощность, потребляемая обмоткой ротора (сверх мощности, потребляемой в доаварийном режиме); 3) дополнительные потери в стали ротора от полей обратной последовательности, возникающих в режиме несимметричного короткого замыкания; 4) дополнительные потери в стали ротора от поля, созданного апериодической слагающей токов статора.

В приложении 5 дана методология подсчета указанных потерь и определения той доли этих потерь, которая вызывает торможение генераторов.

В табл. 2 приведены отдельные составляющие дополнительной нагрузки генераторов от указанных потерь. Как видно из табл. 2 и приложения 5, существенное значение имеет учет дополнительной нагрузки от потерь в статоре как в режиме короткого замыкания, так и в послеаварийном режиме. Прочие потери, за исключением потерь в стали ротора от поля апериодической слагающей токов статора, весьма незначительны; что же касается потерь в стали от поля апериодической слагающей токов статора, то влияние их несущественно из-за быстрого затухания этих потерь.

В заключение был произведен следующий расчет (табл. 3): электрические мощности генераторов для каждого интервала подсчитывались по значениям относительных углов и токов роторов генераторов, полученным из осциллограммы, при этом учитывалось влияние насыщения магнитной цепи, демпферного момента и всех дополнительных потерь, упомянутых выше. По значениям полученных результатирующих мощностей генератор-

Таблица 2

$t_{\text{сек}}$	$P_d$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$\Sigma P$ , тыс. кВт
0	0	4,22	0,21	0,22	3,80	8,45
0,05	0,04	4,26	0,22	0,21	1,40	6,13
0,10	0,09	4,29	0,22	0,21	0,51	5,32
0,15	0,17	4,33	0,24	0,20	0,19	5,13
0,20	0,28	4,38	0,27	0,19	0,07	5,19
0,25	0,41	4,55	0,30	0,16	—	5,41
0,29	0,47	4,69	0,35	0,13	—	5,64
0,29	5,93	2,31	0,26	—	1,47	9,97
0,35	4,04	3,22	0,32	—	0,44	8,02
0,40	2,46	3,63	0,39	—	0,16	6,64
0,45	1,32	4,16	0,43	—	0,03	6,00
0,50	0,67	4,42	0,50	—	—	5,59
0,55	0,29	4,50	0,52	—	—	5,31
0,60	0	4,50	0,55	—	—	5,05
0,65	-0,31	4,50	0,58	—	—	4,77
0,70	-0,61	4,42	0,59	—	—	4,40

ров определялись значения угла сдвига генераторов, которые затем сопоставлялись с исходными значениями угла из опыта.

Таблица 3

$t_{\text{сек}}$	$\delta^0 - \delta_{\text{нр}}^0$	$P$ , тыс. квт	$\Sigma P$	$P + \Sigma P$	$\Delta P$	$\Delta \delta^0$	$(\delta^0 - \delta_{\text{нр}}^0)_{\text{оп}}$
0	0	42,18	8,45	50,63	74,37	1,49	0
0,05	1,49	43,42	6,13	49,55	75,45	4,51	(2)
0,10	6,0	45,71	5,32	51,03	73,97	7,47	(6)
0,15	13,47	49,19	5,13	54,32	70,68	10,29	(13)
0,20	23,76	52,71	5,19	57,90	67,10	12,97	(23)
0,25	36,73	55,57	5,41	60,98	64,02	12,25	(36)
0,29	48,98	55,76	5,64	61,40	63,60	48,4	
0,29	49,98	203,70	9,97	213,67	88,67	17,04	48,4
0,35	66,02	199,35	8,02	207,37	82,37	10,6	65,7
0,40	76,62	191,08	6,64	197,72	72,72	7,69	77,1
0,45	84,31	179,15	6,00	185,15	60,15	5,29	85,5
0,50	89,60	168,23	5,59	173,82	48,82	3,33	90,7
0,55	92,93	159,42	5,31	164,73	39,73	1,74	93,8
0,60	94,67	158,77	5,05	163,82	39,82	0,18	93,9
0,65	94,85	161,53	4,77	166,30	41,30	1,48	93,1
0,70	93,37	169,51	4,40	173,91	48,91	3,44	90,2
0,75	89,93					86,1	

Как видно из табл. 3, расхождение между значениями углов по расчету и по осциллограмме весьма незначительно и находится в пределах точности измерений и расчетов. Сопоставляя результатирующую мощность по табл. 3 с результатами расчетов без учета насыщения, демпферных моментов и дополнительных потерь можно убедиться в том, что принимаемые обычно допущения привели к ошибке в определении электрической мощности от 28 до 33% для режима короткого замыкания и от 13,5 до 16% для послеаварийного режима. Именно эта ошибка в определении электрической мощности создает излишний расчетный запас, который во многих случаях является весьма нежелательным.

Приближенные расчеты динамической устойчивости генераторов с быстродействующими регуляторами напряжения производятся обычно в предположении постоянства э. д. с.  $E'$  за переходным реактивным сопротивлением ( $X_d'$ ) или в предположении постоянства продольной слагающей этой э. д. с. ( $E_d'$ ). Для оценки расхождения в результатах таких приближенных расчетов с результатами опытов, описываемых в настоящей работе, произведены расчеты как при постоянстве  $E'$ , так и при постоянстве  $E_d'$  без учета демпферной мощности и дополнительных потерь. Результаты того и другого расчета дают значительное расхождение с опытом; по обоим расчетам динамическая устойчивость нарушается. Расчет по условию постоянства  $E_d'$  дает результаты, близкие к результатам расчета, учитывающего изменение напряжения возбуждения и реакции статора, что объясняется относительно малым изменением  $E_d'$  в пределах первого цикла качаний генератора с быстродействующим регулятором напряжения.

Для случаев, подобных рассматриваемому (в частности, для гидрогенераторов без демпферных обмоток), желательно было бы использовать упрощенную методику расчета по постоянству э. д. с.  $E'$  или ее продольной слагающей  $E_d$  без учета дополнительных потерь с внесением таких поправок, которые устранили бы излишний расчетный запас; эти поправки могли бы заключаться в замещении генератора реактивным сопротивлением, меньшим, чем переходный. Для оценки такого эквивалентного реактивного сопротивления в рассмотренном случае были проведены расчеты в предположении постоянства фиктивной э. д. с. за реактивным сопротивлением  $\alpha X_d'$  или продольной слагающей этой э. д. с. (где  $\alpha$  — коэффициент меньше единицы). Результаты расчетов угла и мощности по условию постоянства э. д. с. даны на рис. 7 и 8. Данные опыта представлены пунктирными кривыми. Сопоставление результатов расчета и опыта показывает, что значения  $\alpha$ , при которых расчетные кривые относительного угла и электрической мощности приближаются к кривым, построенным по данным опыта, лежат в пределах

$\alpha = 0,55 \div 0,7$  — при условии постоянства э. д. с.

за реактивным сопротивлением  $\alpha X_d'$ ;

$\alpha = 0,65 \div 0,75$  — при условии постоянства продольной слагающей указанной э. д. с.,

**Заключение.** Выполнено исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Общепринятые методы расчета динамической устойчивости дают существенный запас надежности из-за ряда расчетных допущений. При отказе от этих допущений могут быть выполнены расчеты динамической устойчивости, дающие результаты, практически совпадающие с экспериментальными данными.

2. Расчетный запас в основном обусловлен неучетом насыщения магнитной цепи генератора и дополнительных потерь в цепях статора. Неучет демпферной мощности (для гидрогенераторов без демпферных обмоток) допустим для режима короткого замыкания, а также при малых скольжениях и для послеаварийного режима; учет демпферной мощности дает уточнение лишь при расчете мощности в послеаварийных режимах при больших скольжениях. Прочие дополнительные потери (кроме дополнительных потерь в цепях статора) могут не учитываться ввиду незначительного их влияния.

3. Производство аналогичных исследований для турбогенераторов является насущной необходимостью как для правильной эксплуатации существующих систем, так и для правильного проектирования дальних передач.

Большое участие и помощь в проведении испытаний оказали инженеры: М. М. Белоусов, К. Т. Нахапетян, А. Ф. Яковлев, Г. С. Сафразбекян. Помощь в обработке осциллограмм и проведении расчетов оказали инженеры: Л. А. Кириллова, Н. А. Карамзина, Л. М. Вайнштейн и В. А. Звягинцев. Член-корр. Академии наук СССР И. С. Брук, канд. техн. наук Н. И. Со-

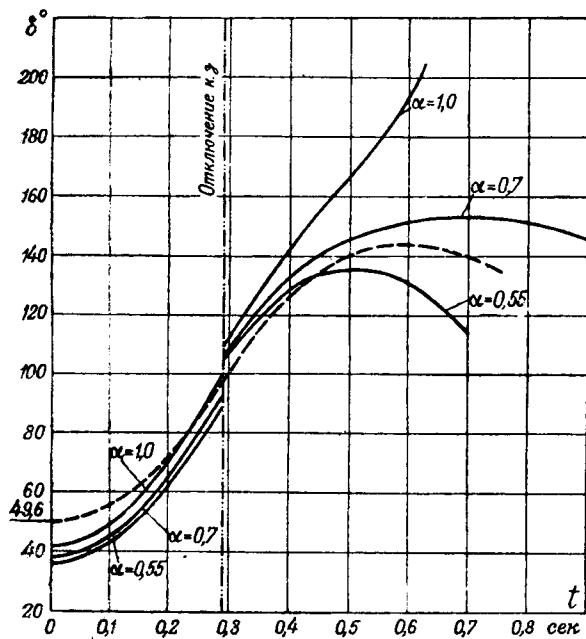


Рис. 7. Сопоставление результатов расчета изменения относительного угла при постоянстве э. д. с. за реактивным сопротивлением  $\alpha X_d'$  с данными опыта.

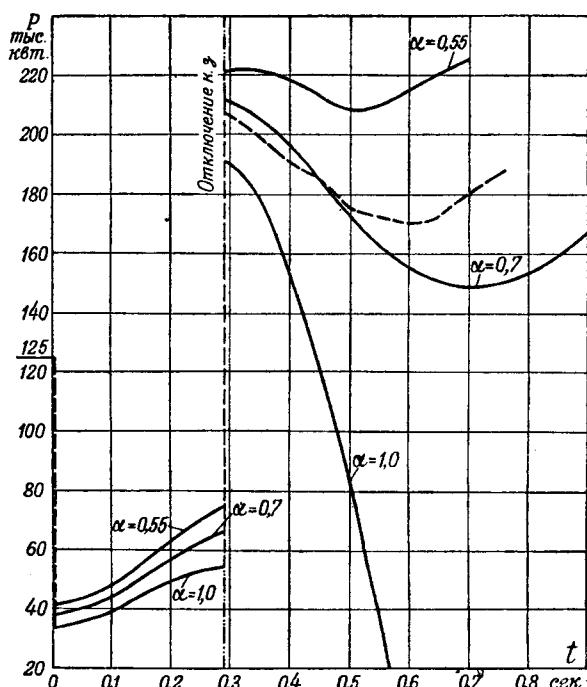


Рис. 8. Сопоставление результатов расчета изменения электрической мощности при постоянстве э. д. с. за реактивным сопротивлением  $\alpha X_d'$  с данными опыта.

ков и В. И. Горушкин сообщили авторам ряд ценных замечаний.

**Приложение 1. Измерение угла генератора.** Для определения изменения угла генератора относительно системы по предложению М. М. Белоусова было использовано по данное на щит управления гидростанции по линии связи напряжение от сети 120 в, получающей питание от одной из центральных станций системы. Проверка на осциллографе этого напряжения на гидростанции показала строгую синусоидальность кривой. Напряжение было подведено к одной из обмоток ваттметрового шлейфа осциллографа; к другой обмотке того же шлейфа подводилось напряжение вспомогательного генератора № 2. Осциллографировалось, таким образом, произведение двух напряжений. По соотношению положительной и отрицательной амплитуд этого произведения был определен косинус угла между векторами подведенных к шлейфу напряжений.

Непосредственно полученные из осциллограммы значения угла  $\delta$  для послеаварийного режима показаны на рис. 2 (абсолютные значения угла) и в табл. 1 (изменение угла относительно его значения в доаварийном режиме); изменение угла в аварийном режиме не могло быть получено из осциллограмм из-за искажающего влияния токов несимметричного короткого замыкания на линию связи.

Подсчет угла по осциллограмме является достаточно точным (с точностью 1—2°) при углах порядка 20° и больших; определение меньших углов не может быть произведено с достаточной точностью и соответствующие участки кривой изменения угла на рис. 2 показаны как приближенные — пунктиром.

Действительное изменение угла генератора (относительно системы), однако, отличается от непосредственно полученного из осциллограммы из-за изменения угла в самом вспомогательном генераторе. Поэтому в изменение угла главного генератора внесена поправка, учитывающая изменение угла сдвига вектора э. д. с. за синхронным реактивным сопротивлением в поперечной оси относительно вектора напряжения на зажимах вспомогательного генератора.

Величина поправки составила от 1,4° для  $t = 0,29$  сек до 3,2° для  $t = 0,7$  сек.

**Приложение 2. Параметры расчетной схемы и доаварийный режим.** При определении электрических парамет-

ров генераторов были использованы результаты детального испытания одного из однотипных генераторов, что позволило уточнить ряд заводских (паспортных) данных.

Параметры генераторов: главный генератор 62,5 об/мин;  $P = 55$  тыс. квт (допускается форсировка до 65 тыс. квт); номинальная кажущаяся мощность  $N_h = 68,75$  тыс. ква;  $U_h = 13,8$  кв;  $X_d = 0,762$ ;  $X_q = 0,605$ ;  $X_d' = 0,326$ ;  $X_d'' = 0,302$  (демпферные обмотки отсутствуют); реактивное сопротивление Потье  $X_e = 0,18$ ;  $T_{d0} = 5,45$  сек;  $M = 10,24$  сек (по опыту самоторможения).

Вспомогательный генератор (на одном валу с главным) 1600 квт, 3,15 кв.

Агрегат возбуждения: асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, 640 квт, 3 кв; возбудитель главного генератора: длительная мощность 525 квт при 375 в, 1400 а, кратковременная (6 сек) — 950 квт; подвозбудитель к возбудителю главного генератора: 16 квт, 230 в.

Возбудитель имеет две обмотки возбуждения: основную, питающуюся от подвозбудителя, и специальную дополнительную обмотку — для питания от электронного регулятора.

Электронный регулятор двухсистемный — ВЭИ с максимальным током порядка 2 а, имеет медленно действующее устройство, воздействующее на реостат возбуждения возбудителя для разгрузки регулятора.

Имеются устройства быстродействующего возбуждения и развозбуждения (БВ и БР), действующие на сопротивление, включенное в цепь возбуждения возбудителя, с установками порядка  $\pm 5\%$  от установленного напряжения (установка корректируется токовой стабилизацией). «Потолок» возбуждения соответственно для генераторов № 1 и № 2 — 1500 и 1600 а, что составляет величину порядка 130—140% от номинального тока возбуждения; скорость подъема возбуждения 300—350 в/сек. Запаздывание БВ и БР порядка 0,10—0,15 сек. Постоянная времени возбудителя примерно равна 0,35 сек.

**Примечание.** В момент работы БВ или БР в обмотке электронного регулятора индуктировалась э. д. с., вызывавшая обратное зажигание тиристоров и закорачивание обмотки на время порядка десятых

долей секунды. В результате этого увеличивалась результирующая постоянная времени возбуждения (при мерно 0,7 сек). При возврате БВ (БР) имели место случаи импульсного действия БР (БВ) из-за недостаточного демпфирования реле.

Параметры трансформаторной группы:  $N_H = 138$  тыс. квт;  $U_H = 242 \pm 2 \times 2,5\% / 13,8$  кв, соединение обмоток звезда-треугольник;  $r_k = 0,114$ .

При составлении расчетной схемы замещения система замещалась эквивалентным реактивным сопротивлением; при этом генераторы системы, работающие на сеть 220 квт, замещались своими переходными реактивными сопротивлениями; приведенные реактивные сопротивления сеги 110 кв определялись по данным расчета токов короткого замыкания в системе.

**Режим перед опытом.** Перед испытаниями был создан вращающийся резерв в системе порядка 100—120 тыс. квт; кроме того, имелась нагрузка потребителя-регулятора порядка 40 тыс. квт, подлежащая отключению в случае снижения частоты. Активная нагрузка главных генераторов: I опыт —  $2 \times 65 = 130$  тыс. квт, II опыт —  $2 \times 62,5 = 125$  тыс. квт. Реактивная нагрузка станции соответственно 33 и 31,5 тыс. квт. Напряжение на шинах 220 квт и 13,8 квт; I опыт 247 квт и 13,9 квт (по осциллограмме 14,1 квт), II опыт — 243,5 квт и 13,7—13,8 квт. Токи роторов соответственно генератора № 1 и генератора № 2; I опыт — 1000—1020 а и 960 а (по осциллограмме 1000 а), II опыт — 1000—1010 а и 950 а.

Нагрузка вспомогательных генераторов (на общем валу с главными) по 500 квт.

При испытаниях турбины были на автоматическом регулировании — управлялись регуляторами скорости при отведенных ограничителях открытия.

**Эквивалентные схемы замещения.** Для упрощения всего анализа схемы аварийного, аварийного и послеаварийного режимов преобразованы (по методу эквивалентных э. д. с.) в простейшие схемы работы генератора на шины бесконечной мощности с напряжением  $U_s$ , через полное сопротивление  $Z_q$ ; при этом э. д. с. за приведенным реактивным сопротивлением системы принималась постоянной, генераторы гидростанции замещались своими синхронными реактивными сопротивлениями в поперечной оси.

По полученным параметрам схем замещения определены соотношения между величинами э. д. с. и выражениями для активной мощности генераторов (с учетом активного сопротивления трансформаторной группы, но без учета активного сопротивления обмоток статора).

**Приложение 3. Расчет изменения угла по значениям мощности, полученным из осциллограммы.** Активная мощность замерялась на стороне 220 квт трансформаторной группы; ваттметровый шлейф осциллографа был включен по двухэлементной схеме.

Отсчет по осциллограмме мощности для режима короткого замыкания затруднен из-за наложения кривых различных шлейфов. Принятые на основании осциллограммы (табл. 1) значения мощности за время режима короткого замыкания являются ориентировочными, поэтому уточнение величины мощности за счет учета добавочных потерь в трансформаторной группе и генераторах не производилось. Сопоставляя расчетное приращение угла — 46,39° с полученным из опыта — 48,4°, можно заключить, что принятное ориентировочно значение мощности в режиме короткого замыкания является несколько завышенным. Для послеаварийного режима к величине мощности, замеряемой шлейфом, прибавлялись добавочные потери в трансформаторной группе и генераторах. Точность определения мощности по осциллограмме для послеаварийного режима ограничена некоторой несбалансированностью трехфазного шлейфа и предположительно для больших значений мощности оценивалась величиной порядка 5% (проверка шлейфа мощности была произведена на специально собранной испытательной схеме). На рис. 3 приведены результаты расчета изменения угла в послеаварийном режиме и сопоставление с результатами опыта.

**Приложение 4. Определение электрической мощности с учетом насыщения по значениям относительного угла и тока ротора, полученным из опыта.** Параметры схем замещения и эквивалентные напряжения приемного конца

взяты так же, как и в расчете электрической мощности, без учета насыщения.

Расчет проводился в каждом интервале методом подбора в следующей последовательности. Задается предполагаемая величина  $I_d$  генераторов. Далее определяется по характеристике холостого хода значение продольной составляющей э. д. с. за реактивным сопротивлением рассеяния —  $E_{ld}$ , соответствующее результирующим ампервиткам ротора; величина последних пропорциональна ( $I_{rot} - \alpha I_d$ ), где  $\alpha$  — коэффициент пересчета тока статора к эквивалентному току ротора, определяемый по характеристикам холостого хода и короткого замыкания.

По значениям:  $E_{ld}$ , напряжения на приемном конце —  $U_s$ , относительного угла  $\delta_{12}$  и параметрам эквивалентной схемы, определяется более точное значение  $I_d$  по формуле

$$I_d = \frac{(E_{ld} - U_s \cos \delta_{12}) X_q - r U_s \sin \delta_{12}}{X_e X_q + r^2};$$

здесь  $X_q$  — реактивное сопротивление эквивалентной схемы при замещении генераторов синхронными реактивными сопротивлениями в поперечной оси;  $X_e$  — то же при замещении генераторов реактивными сопротивлениями рассеяния;  $r$  — активное сопротивление в эквивалентной схеме замещения.

Полученное значение  $I_d$  является первым приближением. По этому значению вновь определяется  $E_{ld}$  и по той же формуле находится  $I_d$  во втором приближении и т. д. до тех пор, пока не будет найдено достаточно точное значение.

Далее находится  $I_a$  по формуле

$$I_a = \frac{U_s \sin \delta + I_d r}{X_q}.$$

Электрическая мощность, отдаваемая генераторами, определяется по формуле

$$P = I_a U_s \sin \delta_{12} + I_q U_s \cos \delta_{12} + (I_d^2 + I_q^2) r.$$

Во всех предыдущих формулах  $I_d$  и  $I_q$  представляют фазовые значения, увеличенные в  $\sqrt{3}$  раза.

**Приложение 5. Определение дополнительной нагрузки генераторов.** Дополнительная нагрузка генераторов складывается из ряда следующих составляющих:

1. **Демпферная мощность.** При определении этой мощности не учитывалось активное сопротивление цепи; начальное значение угла генератора видно из расчета нормального режима, изменение угла по времени — из осциллограммы. Постоянная времени демпферного контура  $T_d''$  принята по данным завода — 0,23 сек, величина  $X_d''$  по испытаниям на однотипном агрегате — 92,5% от  $X_d'$ .

2. **Дополнительные потери в активном сопротивлении цепи статора.** При определении этих потерь использовались значения симметричной слагающейся тока прямой последовательности статора, полученные из расчета электрической мощности с учетом насыщения. По величинам  $E_{ld}$ ,  $I_d$ ,  $I_q$  из того же расчета определены слагающие  $U_d$  и  $U_q$  напряжения на шунте короткого замыкания и ток обратной последовательности в режиме короткого замыкания.

Исходя из величины потерь в цепи статора в аварийном режиме определены дополнительные потери мощности, вызванные увеличением тока в цепи статора (для режима короткого замыкания с учетом тока обратной последовательности, но без учета апериодической слагающейся). Значения добавочной нагрузки генератора, вызванной увеличением потерь в цепи статора  $P_1$ , даны в табл. 2.

3. **Дополнительная мощность, потребляемая обмоткой ротора.** Так как агрегаты возбуждения получают питание от вспомогательных генераторов, находящихся на одном валу с главными, то эта дополнительная мощность оказывает тормозящее действие как дополнительная нагрузка главных генераторов.

Мощность, потребляемая обмоткой ротора, пропорциональна напряжению возбудителя (или  $E_{de}$ ) и току ротора (или  $E_d$ ). Дополнительная мощность — сверх мощности, потребляемой в доаварийном режиме, в силу этого равна:

$$p_2 = p_{02} \left( \frac{E_{de} E_d}{E_{dnp}^2} - 1 \right) \text{тыс. квт},$$

где  $E_{de}$  и  $E_d$  подсчитываются соответственно по значениям напряжения и тока ротора, взятым из осциллографа, а  $p_{02}$  — определенные по данным специальных испытаний на однотипном агрегате, потери в обмотках двух генераторов, приведенные к режиму доаварийной нагрузки.

4. Потери в стали ротора от поля, созданного токами обратной последовательности в режиме короткого замыкания. Потери в стали ротора от поля обратной последовательности аналогичны потерям в роторе асинхронного двигателя. Как следует из схемы замещения асинхронного двигателя, половина потерь в роторе, вызванных полем обратной последовательности, покрывается из сети, другая — передается через вал от турбины.

По испытаниям, проведенным на однотипном агрегате<sup>1</sup>, потери в стали ротора генератора, приведенные к току обратной последовательности, равному по величине номинальному току статора, составляют 970 квт.

Таким образом, дополнительная нагрузка от потерь в стали ротора от поля обратной последовательности

$$p_3 = 0,5 \cdot 2 \cdot 0,970 \left( \frac{I_2}{I_n} \right)^2 \text{тыс. квт},$$

<sup>1</sup> И. А. Сыромятников. Вопросы эксплуатации синхронных генераторов. Госэнергопиздат. 1948.

где  $I_2$  — отношение тока обратной последовательности в генераторе к номинальному току статора.

5. Потери в стали ротора от апериодических токов статора. Мощность этих потерь является дополнительной нагрузкой агрегата.

Для оценки величины потерь, вызываемых апериодическими токами статора, использованы те же данные о потерях в стали ротора от поля обратной последовательности. Потери в стали ротора можно приближенно считать пропорциональными  $\sqrt{f}$ , и поэтому потери, вызванные неподвижным в пространстве полем, будут в  $\sqrt{2}$  раза меньше, чем от поля обратной последовательности той же величины.

Зная изменение величин  $I_d$  и  $I_q$  по величине и фазе при переходе от нормального режима к аварийному и от аварийного к послеаварийному можно определить  $I_{an}$  — обобщенный апериодический ток статора (приближенно — без учета влияния токов обратной последовательности) и оценить начальное значение потерь, пользуясь формулой

$$p_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} 2 \cdot 0,970 \left( \frac{I_{an}}{I_n} \right) \text{тыс. квт}.$$

Значения  $p_4$  для различных моментов первого цикла качаний даны в табл. 2.

Следует отметить, что апериодические слагающие токов статора создают также заметные потери в активном сопротивлении статора, однако правильный учет этих потерь без анализа изменения энергии, запасенной в магнитном поле контура, не может быть произведен и для рассматриваемой задачи это усложнение расчета было бы нецелесообразным.

[3. 1. 1950]



## Энергетика переходных процессов двигателей постоянного тока

*Доктор техн. наук, проф. Д. П. МОРОЗОВ*  
*Московский энергетический институт им. Молотова*

### Баланс мощности.

Мощность<sup>1</sup>, подводимая из сети к двигателю, в переходном режиме пуска

$$P = 9,81(M_0 + M_c + M_j) \omega + i^2 R_0 = P_0 + P_c + P_j + P_m. \quad (1)$$

расходуется на:

1) мощность потерь холостого хода  $P_0 = 9,81 M_0 \omega$ ;

2) нагрузочную мощность  $P_c = 9,81 M_c \omega$ , обусловленную наличием на валу момента статического сопротивления;

3) механическую мощность  $P_j = 9,81 M_j \omega$ ; энергия, определяемая этой мощностью, запасается в виде кинетической энергии во вращающихся массах привода;

4) мощность тепловых потерь тока в сопротивлениях цепи якоря  $P_m = i^2 R_0$ .

Если заранее известно изменение во времени

Рассматриваются вопросы, относящиеся к энергетике переходных режимов двигателей постоянного тока при реостатном управлении и в системе генератор-двигатель. Предлагаются методы определения суммарных тепловых потерь и потерь в отдельных ступенях пусковых и тормозных сопротивлений, необходимых для конструктивного и теплового расчета сопротивлений.

переменных величин скорости вращения и тока, то как кривая суммарной мощности, так и кривые отдельных ее составляющих могут быть построены в функции времени. Нас особенно интересует

энергия тепловых потерь в цепи якоря как суммарная, потребная для технико-экономических подсчетов, так и ее составляющие в отдельных секциях ступеней управления, необходимые для конструктивного и теплового расчета сопротивлений. Здесь и в дальнейшем мы будем полагать, что момент потерь холостого хода есть величина постоянная и не зависящая от скорости. Если это положение в отношении ряда приводов справедливо для составляющей, определяемой потерями трения, то оно не будет верно для составляющей, определяемой потерями в стали. Однако такое допущение дает меньшую погрешность, чем допущение постоянства потерь холостого хода при всех скоростях вращения, как это иногда можно встретить в расчетных формулах.

<sup>1</sup> Здесь и в дальнейшем не включены постоянные потери в цепи обмотки независимого возбуждения.

**Тепловые потери в сопротивлениях цепи якоря при идеализированных условиях переходного процесса.** Будем предполагать, что как нагрузочный момент  $M_c$ , так и момент потерь холостого хода  $M_0$  равны нулю. В этом случае подводимая к двигателю из сети мощность в переходном процессе пуска

$$P = U_i = \frac{UM}{C_e} = \frac{1,03UM}{C_e} = 1,03n_0M = 9,81M\omega_0; \quad (2)$$

здесь  $n_0$  и  $\omega_0$  — соответственно скорость вращения и угловая скорость в установившемся режиме идеального холостого хода (пограничные значения);

$C_e$  — коэффициент э. д. с. двигателя;  
 $C_u$  — коэффициент момента двигателя; отношение  $\frac{C_0}{C_e} \approx 1,03$ . Мощность, передаваемая валу двигателя,

$$P_s = 9,81M\omega, \quad (3)$$

где  $\omega$  — текущее значение угловой скорости вращения. Тепловые потери в цепи якоря

$$P_m = P - P_s = 9,81M(\omega_0 - \omega). \quad (4)$$

Так как в условиях идеального пуска вхолостую

$$M = M_j = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (5)$$

то энергия тепловых потерь

$$A_m = 9,81J \int_{\omega_n}^{\omega} (\omega_0 - \omega) d\omega = 4,81J \left( \omega_0 \omega - \frac{\omega^2}{2} \right). \quad (6)$$

Если разбег совершается до  $\omega = \omega_0$ , то

$$A_m = 9,81J \frac{\omega_0^2}{2} = A_k, \quad (7)$$

где  $A_k$  — запас энергии при скорости  $\omega_0$ .

В режиме реверса при тех же условиях ( $M_0 = 0$  и  $M_c = 0$ )

$$P_m = P + P_s = 9,81M(\omega_0 + \omega) \quad (8)$$

и энергия тепловых потерь в сопротивлениях цепи якоря

$$A_m = 9,81J \int_{\omega_n}^{\omega} (\omega_0 + \omega) d\omega = 9,81J \left[ \omega_0 \omega + \frac{\omega^2}{2} \right]_{\omega_n}^{\omega} = 9,81J \left[ \omega_0(\omega_n - \omega) + \frac{\omega_n^2 - \omega^2}{2} \right]; \quad (9)$$

здесь  $\omega_n$  — начальное значение скорости режима реверса (скорость переключения);  $\omega$  — текущее ее значение, до которой подсчитывается величина тепловых потерь.

Если реверс производится со скорости  $\omega_n = \omega_0$ , то формула получает вид:

$$A_m = 9,81J \left[ \omega_0(\omega_0 - \omega) + \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{2} \right]. \quad (9a)$$

Если в этом случае нас будут интересовать потери за время от  $\omega = \omega_0$  и до  $\omega = 0$ , т. е. за время тормозного режима, то

$$A_m = 3 \cdot 9,81J \frac{\omega_0^2}{2} = 3A_k. \quad (10)$$

Если рассматривать тепловые потери за полное время реверса, т. е. от  $\omega = \omega_0$  и до  $\omega = -\omega_0$ , то

$$A_m = 4 \cdot 9,81J \frac{\omega_0^2}{2} = 4A_k. \quad (10a)$$

Конечные выводы, определяемые формулами (7) и (10), известны; развернутые выражения тепловых потерь по формулам (6) и (9) до промежуточных скоростей будут необходимы нам в ходе дальнейшего изложения.

**Тепловые потери в цепи якоря при пуске шунтового двигателя с постоянным моментом двигателя.** Этот случай возможен при очень большом числе пусковых ступеней. Будем считать также, что нагрузочный момент  $M_c$  и момент потерь холостого хода  $M_0$  постоянны за все время пуска. Очевидно, что динамический момент  $M_j$  также будет иметь во времени неизменное значение; скорость вращения двигателя при разбеге будет подчиняться линейной зависимости от времени, как это изображено на рис. 1, а. Так как поток двигателя за время пуска не изменяется, то при  $M = \text{const}$  ток его якоря  $I = \text{const}$ . Баланс мощности можно написать в следующем виде:

$$UI = 9,81M\omega + I^2R_0 = 9,81(M_0 + M_c + M_j)\omega + I^2R_0 \quad (11)$$

или

$$UI = P_0 + P_c + P_j + I^2R_0. \quad (11a)$$

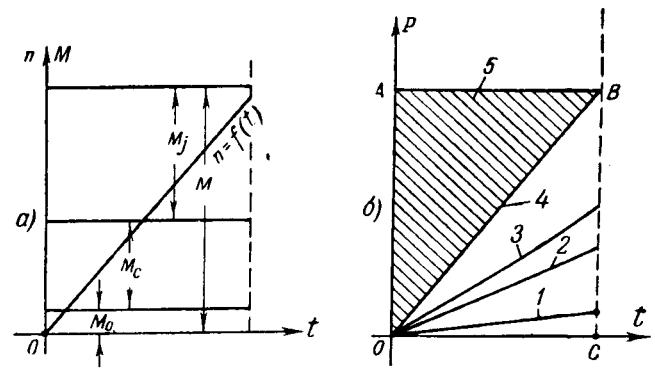


Рис. 1. Баланс мощности шунтового двигателя при пуске с постоянным моментом.

Изменение во времени величин  $P_0$ ,  $P_c$  и  $P_j$  дано на рис. 1, б соответственно в виде кривых 1, 2 и 3. Сумма этих трех составляющих, равная  $9,81M\omega$ , представлена кривой 4. Неизменная мощность, подводимая из сети, характеризуется прямой 5, параллельной оси абсцисс. Площадь прямоугольника  $OABC$  пропорциональна суммарной энергии, подведенной к двигателю из сети за все время пуска.

Площадь треугольника  $OBC$  пропорциональна энергии, переданной якорю и включающей полезную работу, обусловленную нагрузочным моментом, механическую работу ускорения и работу потерь холостого хода. Площадь  $OAB$ , пропорциональна энергии, затраченной на тепловые потери в сопротивлениях главной цепи.

Площадь  $OAB$  равна половине площади  $OABC$ . Следовательно при пуске шунтового двигателя при постоянном значении электромагнитного момента энергия тепловых потерь в сопротивлениях якорной цепи равна половине всей энергии, подведенной к двигателю за период пуска.

**Тепловые потери в цепи якоря шунтового двигателя при пуске с переменным моментом двигателя.** При рассмотрении данного более общего случая будем полагать, что  $M_c = \text{const}$  и  $M_0 = \text{const}$ ; для удобства аналитического изложения будем считать, что момент потерь холостого хода  $M_0$  входит в состав нагрузочного момента  $M_c$ ; обозначим их сумму через  $M'_c$ . На основании (1) для ступенчатого пуска в ход при постоянном напряжении сети

$$i^2R_0 = U_i - 9,81(M'_c + M_j)\omega, \quad (12)$$

где  $i^2R_0$  — тепловые потери в цепи якоря.

Так как

$$\begin{aligned} U_i &= \frac{UM}{C_m} = \frac{U(M'_c + M_j)}{C_m} = \\ &= 1,03n_0(M'_c + M_j) = 9,81(M'_c + M_j)\omega_0, \end{aligned}$$

то

$$\begin{aligned} i^2R_0 &= 9,81(M'_c + M_j)\omega_0 - 9,81(M'_c + M_j)\omega = \\ &= 9,81M'_c(\omega_0 - \omega) + 9,81M_j(\omega_0 - \omega). \quad (13) \end{aligned}$$

Энергия тепловых потерь в сопротивлениях якорной цепи за весь период пуска (или за часть его) продолжительностью  $t_p$

$$\begin{aligned} A_m &= \int_0^{t_p} 9,81M'_c(\omega_0 - \omega)dt + \int_0^{t_p} 9,81M_j(\omega_0 - \\ &\quad - \omega)dt = A_{mc} + A_{mj}. \quad (14) \end{aligned}$$

Как следует из (14), тепловые потери в сопротивлениях якоря можно рассматривать как сумму двух составляющих. Первая из них ( $A_{mc}$ ) обусловлена наличием нагрузочного момента  $M'_c$ ,

а вторая ( $A_{mj}$ ) — наличием динамического момента  $M_j$ . Так как

$$M_j = J \frac{d\omega}{dt},$$

то

$$\begin{aligned} A_{mj} &= 9,81 \int_0^{t_p} M (\omega_0 - \omega)dt = 9,81J \int_0^{\omega_c} (\omega_0 - \\ &\quad - \omega)d\omega = 9,81J \left( \omega_0 \omega_c - \frac{\omega_c^2}{2} \right), \quad (15) \end{aligned}$$

где  $\omega_c$  — установившаяся скорость, соответствующая нагрузочному моменту  $M'_c$ , или вообще любая промежуточная скорость  $\omega$ , до которой производится интегрирование. Сравнивая (15) и (6), можно отметить, что при пуске под нагрузкой с переменным значением движущего момента энергия тепловых потерь, обусловленная разгоном инерционных масс, составляет такую же величину, как и при пуске в холостую. Этот вывод, как нетрудно установить из рассмотрения (14) и (15), справедлив и в том случае, когда при пуске нагрузочный момент  $M'_c$  будет являться величиной переменной. Далее имеем:

$$\begin{aligned} A_{mc} &= 9,81 \int_0^{t_p} M'_c (\omega_0 - \omega)dt = \int_0^{t_p} 9,81M'_c \omega_0 dt - \\ &\quad - \int_0^{t_p} 9,81M'_c \omega dt. \quad (16) \end{aligned}$$

Так как  $\omega = f(t)$  имеет аналитическое выражение, то интегрирование уравнения (16) можно выполнить. Однако для ступенчатого пуска в ход решение выразится весьма громоздкой формулой. Величину  $A_{mc}$  можно подсчитать более простым способом, для обоснования которого запишем уравнение (16) в виде:

$$A_{mc} = 9,81M'_c \left( \omega_0 t_p - \int_0^{t_p} \omega dt \right). \quad (17)$$

На рис. 2 представлена кривая  $\omega = f(t)$  при ступенчатом пуске в ход. Первый член в скобках правой части (17) представляет собой площадь прямоугольника со сторонами  $t_p$  и  $\omega_0$ , а второй — площадь, заключенную между кривой скорости вращения  $\omega = f(t)$  и осью абсцисс на участке  $t = t_p$ . Разность между ними равна заштрихованной площади на рис. 2. Величину этой площади, подсчитанную при соответствующем учете масштабов, обозначим через  $N$ . Тогда

$$A_{mc} = 9,81M'_c N. \quad (18)$$

Суммируя (18) и (15), получим окончательную расчетную формулу для энергии тепловых потерь в сопротивлениях цепи якоря за время разбега

$$A_m = 9,81 \left[ M'_c N + J \left( \omega_0 \omega_c - \frac{\omega_c^2}{2} \right) \right]. \quad (19)$$

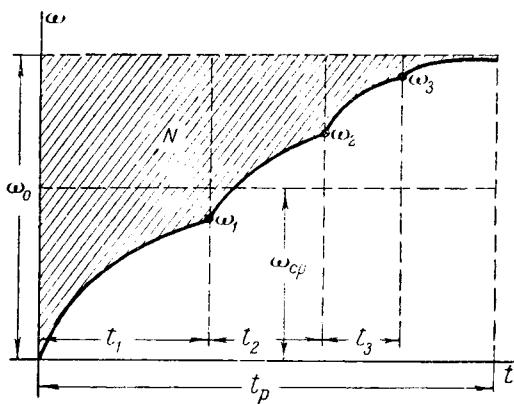


Рис. 2. Детализировка кривой ступенчатого пуска в ход шунтового двигателя.

Эту формулу можно записать в другом виде. Так как

$$N = \omega_0 t_p - \int_0^{t_p} \omega dt = \omega_0 t_p - \omega_{cp} t_p = = (\omega_0 - \omega_{cp}) t_p, \quad (20)$$

то

$$A_m = 9,81 \left[ M'_c (\omega_0 - \omega_{cp}) t_p + J \left( \omega_0 \omega_c - \frac{\omega_c^2}{2} \right) \right], \quad (21)$$

где  $\omega_{cp}$  — среднее по времени значение скорости вращения двигателя при разбеге.

Очевидно, что при одном и том же времени разбега  $t_p$  до одной и той же конечной уставившейся скорости  $\omega_c$  (или вообще для их двух любых промежуточных соответственных значений) величина энергии тепловых потерь в сопротивлениях цепи якоря зависит от формы кривой скорости вращения двигателя при разбеге. На основании (19) и (20) следует, что она будет иметь меньшее значение, если разбег будет производиться по кривой 1, рис. 3, чем по кривым 2 и 3 того же рисунка.

Формулы (19) и (21) справедливы для подсчета энергии потерь в сопротивлениях цепи якоря и за какое-либо промежуточное время  $t_x$  при учете, соответствующей ему достигнутой скорости  $\omega_x$  и средней скорости по времени  $\omega_{xcp}$ . Например, за время разбега на первой пусковой ступени рис. 2

$$A_{m1} = 9,81 \left[ M'_c (\omega_0 - \omega_{1cp}) t_1 + J \left( \omega_0 \omega_1 - \frac{\omega_1^2}{2} \right) \right]. \quad (22)$$

Эти потери выделяются в сопротивлениях как самого якоря, так и пусковых секций. Разбивка на составляющие по участкам, очевидно, должна быть произведена пропорционально величинам сопротивлений этих участков.

**Тепловые потери в цепи якоря при динамическом торможении.** Отправная формула для

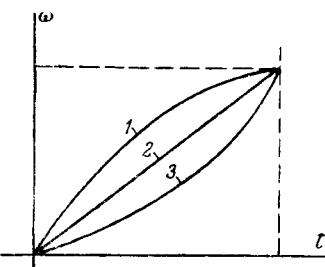


Рис. 3. К анализу оптимальной формы кривой скорости вращения при разбеге.

подсчета получается для данного случая из (12), если положить  $U = 0$ :

$$i^2 R_0 = -9,81 (M'_c + M_j) \omega. \quad (23)$$

Производя суммирование за время  $t_1$  от начальной скорости тормозного процесса  $\omega_n$  до некоторой скорости  $\omega_1$ , получим:

$$\begin{aligned} A_m &= 9,81 J \frac{\omega_n^2 - \omega_1^2}{2} - 9,81 M'_c \int_0^{t_1} \omega dt = \\ &= 9,81 J \frac{\omega_n^2 - \omega_1^2}{2} - 9,81 M'_c N_1 = \\ &= 9,81 J \frac{\omega_n^2 - \omega_1^2}{2} - 9,81 M'_c \omega_{1cp} t_1; \end{aligned} \quad (24)$$

здесь  $N_1$  — площадь, заштрихованная на рис. 4, а  $\omega_{1cp}$  — средняя угловая скорость по времени на рассматриваемом участке.

Если энергия тепловых потерь при динамическом торможении подсчитывается за полное время тормозного режима  $t_m$ , то

$$\omega_1 = 0$$

и

$$A_m = 9,81 J \frac{\omega_n^2}{2} - 9,81 M'_c \omega_{cp} t_m, \quad (25)$$

где  $\omega_{cp}$  — средняя скорость по времени за время  $t_m$ .

**Тепловые потери в цепи якоря шунтового двигателя в режиме реверса.** Формула (12) справедлива и для данного случая, если перед  $U$  поставить знак минус:

$$i^2 R_0 = -U i - 9,81 (M'_c + M_j) \omega. \quad (26)$$

После преобразований, аналогичных произведенным при исследовании процесса пуска, получим:

$$A_m = -9,81 \int_0^{t_1} M'_c (\omega_0 + \omega) dt - 9,81 J \int_{\omega_n}^{\omega} (\omega_n + \omega) d\omega; \quad (27)$$

здесь  $\omega_n$  — начальная скорость режима реверса (скорость переключения);

$t_1$  — время, за которое производится подсчет энергии потерь;

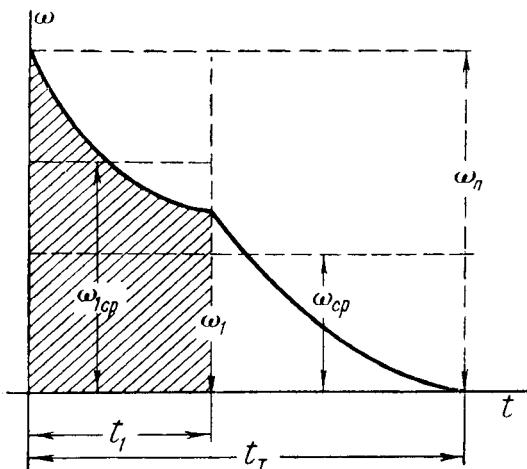


Рис. 4. Детализация кривой ступенчатого динамического торможения.

$\omega_1$  — соответствующая скорость. После интегрирования имеем:

$$\begin{aligned} A_m &= 9,81 J \left[ \omega_0 (\omega_n - \omega_1) + \frac{\omega_n^2 - \omega_1^2}{2} \right] - \\ &- 9,81 M'_c \int_0^{t_1} (\omega_0 + \omega) dt = \\ &= 9,81 J \left[ \omega_0 (\omega_n - \omega_1) + \frac{\omega_n^2 - \omega_1^2}{2} \right] - \\ &- 9,81 M'_c t_1 (\omega_0 + \omega_{cp}), \end{aligned} \quad (28)$$

где  $\omega_{cp}$  — средняя скорость по времени на рассматриваемом участке.

Если  $M'_c$  есть момент реактивный, т. е. при обоих направлениях вращения препятствующий движению, то формула (28) справедлива в диапазоне от скорости  $\omega = \omega_n$  и до  $\omega = 0$ .

Для частного случая полного времени торможения в режиме реверса, т. е. до  $\omega = 0$ , формула (28) переходит в формулу

$$A_m = 9,81 J \left[ \omega_0 \omega_n + \frac{\omega_n^2}{2} \right] - 9,81 M'_c t_m (\omega_0 + \omega_{cp}). \quad (29)$$

**Тепловые потери в цепи якорей в системе генератор-двигатель.** Будем предполагать, что пуск двигателя при  $M' = 0$  осуществляется однократным включением на напряжение цепи обмотки возбуждения генератора (рис. 5). Баланс мощности

$$e_z i = e_d i + i^2 R_0,$$

где  $e_z$  и  $e_d$  — соответственно э. д. с. генератора и двигателя.

Так как  $e_z = E_{0n} (1 - e^{-t/T})$ , а  $e_d i = 9,81 M \omega$ ,

$$\text{то } i^2 R_0 = E_{0n} (1 - e^{-t/T}) i - 9,81 M \omega,$$

где  $E_{0n}$  — установившееся значение э. д. с. генератора, а  $T$  — электромагнитная постоянная времени цепи его возбуждения.

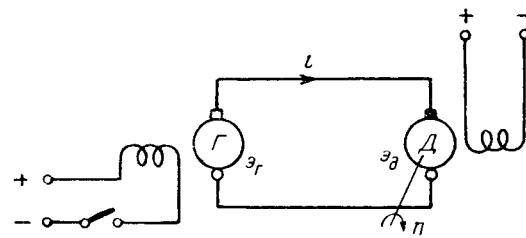


Рис. 5. Система генератор-двигатель.

Так как при пуске вхолостую  $M = J \frac{d\omega}{dt}$ , то

$$i = \frac{M_c}{C_m} = \frac{1,03 M}{C_e} = \frac{1,03 n_{0n} M}{E_{0n}} = 9,81 \frac{\omega_{0n}}{E_{0n}} J \frac{d\omega}{dt};$$

здесь  $\omega_{0n}$  — угловая скорость, а  $n_{0n}$  — скорость вращения двигателя при холостом ходе и напряжении  $E_{0n}$ . Подставив значение тока, получим:

$$i^2 R_0 = 9,81 \omega_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) J \frac{d\omega}{dt} - 9,81 J \omega \frac{d\omega}{dt}. \quad If-9.$$

Произведя интегрирование за весь период пуска, т. е. от  $t = 0$  и до  $t = \infty$  или от  $\omega = 0$  и до  $\omega = \omega_0$ , получим:

$$A_m = 9,81 J \omega_0 \int_0^{\infty} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) d\omega - 9,81 J \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (30)$$

Как известно, поведение скорости вращения двигателя при пуске его в ход в системе генератор-двигатель при  $M'_c = 0$  определяется формулой

$$\omega = \frac{\omega_{0n}}{T - \Theta} \left[ T \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) - \Theta \left( 1 - e^{-\frac{t}{\Theta}} \right) \right], \quad (31)$$

где  $\Theta$  — электромеханическая постоянная времени двигателя.

Определяя из последнего выражения  $d\omega$  и подставляя его значение в (30), будем иметь:

$$\begin{aligned} A_m &= \frac{9,81 J \omega_{0n}^2}{T - \Theta} \int_0^{\infty} \left( e^{-\frac{t}{T}} - e^{-\frac{2t}{T}} - e^{-\frac{t}{\Theta}} + e^{-\frac{T+\Theta}{T-\Theta} t} \right) dt - \\ &- 9,81 J \frac{\omega_0^2}{2}. \end{aligned}$$

После интегрирования и подстановки пределов получим:

$$A_m = \frac{9,81 J \omega_{0n}^2}{2} \left[ \frac{T^2 + T\Theta - 2\Theta^2}{T^2 - \Theta^2} - 1 \right]$$

и окончательно

$$A_m = A_k \frac{\Theta}{T + \Theta}, \quad (32)$$

где  $A_k$  — запас кинетической энергии при  $\omega = \omega_{0n}$ .

Очевидно, что тепловые потери в цепи якоря при пуске в системе генератор-двигатель бу-

дут составлять долю  $\left(\frac{\Theta}{T + \Theta}\right)$  от потерь при реостатном пуске. Так как электромеханическая постоянная времени двигателя  $\Theta$  значительно меньше, чем электромагнитная постоянная времени  $T$ , то очевидна значительная экономичность пуска двигателя в системе генератор-двигатель. Если интегрирование выражения (30) произвести в пределах от  $t=0$  и до  $t=t$  или от  $\omega=0$  и до  $\omega=\omega$ , то возможно получить функциональную зависимость потерь в якорной цепи от времени.

**Тепловые потери при реверсе серийного двигателя вхолостую.** На основании очевидных соотношений

$$M = M_j = K_u \Phi i = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}; \quad i = -\frac{U + e}{R_0}$$

имеем:

$$dA_m = i^2 R_0 dt = -\frac{GD^2 R_0 (U + e) dn}{375 K_u \Phi}.$$

Учитывая, что

$$\frac{U}{K_e \Phi} = n_{zp}; \quad \frac{e}{K_e \Phi} = n; \quad K_e = 1,03 K_u,$$

получим:

$$dA_m = -\frac{1,03 \cdot GD^2 n_{zp} dn}{375} - \frac{1,03 GD^2 n dn}{375};$$

здесь  $n$  — текущее значение скорости вращения, а  $n_{zp}$  — текущее значение граничной скорости вращения. В режиме противовключения ток изменяется в пределах от 1,5 до 2-кратного значения от  $I_n$ , а поэтому поток двигателя, а значит и граничную скорость  $n_{zp}$  можно считать величинами неизменными (магнитная система двигателя насыщена при токе  $(1,2 \div 1,3) I_n$ ).

Поэтому интегрирование предыдущего уравнения возможно. Если выполнить интегрирование от  $n=n_n$  (скорость при переключении) до  $n=0$ , то конечный результат будет иметь вид:

$$A_m = \frac{1,03 GD^2 n_{zp} n_n}{375} + \frac{1,03 GD^2 n_n^2}{2 \cdot 375}. \quad (33)$$

Приведем формулу (33) к виду, более удобному для анализа и расчетов. Граничная скорость в режиме реверса

$$n_{zp} = U/K_e \Phi_{rev}.$$

Граничная скорость при номинальном потоке

$$n_{zp_n} = U/K_e \Phi_n.$$

Отношение граничных скоростей обозначим через  $a$ :

$$a = \frac{n_{zp}}{n_{zp_n}} = \frac{\Phi_n}{\Phi_{rev}};$$

отсюда

$$n_{zp} = a n_{zp_n}. \quad (34)$$

Обозначим отношение пограничной скорости  $n_{zp_n}$  при номинальном потоке к начальной скорости режима противовключения  $n_n$  через  $b$ :

$$b = \frac{n_{zp_n}}{n_n} \approx \frac{n_n}{n_n};$$

так как для номинального потока можно считать, что  $n_n \approx n_{zp_n}$ . В связи с этим

$$n_{zp_n} = b n_n. \quad (35)$$

Подставляя последнее выражение в (34), получим:

$$n_{zp} = a b n_n. \quad (36)$$

Подстановка (35) в (33) дает окончательную формулу для  $A_m$ :

$$A_m = A_k (1 + 2ab); \quad (37)$$

здесь  $A_k$  — запас кинетической энергии при скорости вращения  $n_n$ .

**Пример 1.** Пусть реверс серийного двигателя производится со скорости вращения  $n_n = n_h$  и пусть при этом  $\Phi_{rev} = 1,4 \Phi_n$ .

Имеем:

$$a = \frac{\Phi_n}{1,4 \Phi_n} = 0,715; \quad b = \frac{n_{zp_n}}{n_n} \approx \frac{n_n}{n_n} = 1;$$

$$A_m = A_k (1 + 2 \cdot 0,715 \cdot 1) = 2,43 A_k;$$

здесь  $A_k$  подсчитывается при  $n = n_n = n_h$ .

**Пример 2.** Допустим, что  $n_n = 2n_h$  и  $\Phi_{rev} = 1,4 \Phi_n$ .

В этом случае:  $a = 0,715$  и  $b = 0,5$ ;

$$A_m = A_k (1 + 2 \cdot 0,715 \cdot 0,5) = 1,715 A_k;$$

здесь  $A_k$  должно быть подсчитано при  $n = n_n = 2n_h$ . Результаты выполненных выше подсчетов показывают что серийный двигатель имеет меньшие тепловые потери в тормозном режиме противовключения, чем шунтовой двигатель. Это обусловливается тем, что у серийного двигателя в переходном режиме поток больше номинального. Баланс мощности в режиме противовключения

$$i^2 R_0 = U i + e i,$$

где  $Ui$  — мощность, доставляемая из сети, а  $ei$  — поступающая с вала. У шунтового двигателя за все время тормозного режима  $e < U$ , а поэтому суммарная энергия, доставляемая из сети, больше (в два раза), чем запас кинетической энергии. У серийного двигателя благодаря большему значению потока на некотором участке  $e > U$ , а поэтому естественно, расход энергии из сети снижается. Если же тормозной процесс серийного двигателя будет происходить при потоке, меньшем номинального, то тепловые потери в сопротивлениях главной цепи будут больше, чем трехкратный запас кинетической энергии при начальной скорости торможения.

**Потери при реверсе серийного двигателя под нагрузкой.** Исходные уравнения для данного случая

$$i^2 R_0 = -(U + e) i; \quad i = \frac{M_j + M_c}{K_u \Phi}.$$

Отсюда

$$i^2 R_0 = -\frac{(U + e)(M_j + M_c)}{K_u \Phi} = -1,03 (n_{zp} + n) \times (M_j + M_c) = -9,81 (n_{zp} + n) (M_c + M)$$

или после подстановки  $M = J \frac{d\omega}{dt}$ ,

$$A_m = -9,81 \int J (n_{zp} + n) d\omega - 9,81 \int M_c (n_{zp} + n) dt. \quad (38)$$

Интегрируя за время от начала торможения и до  $\omega = 0$  (от  $\omega = \omega_n$  до  $\omega = 0$ ), получим:

$$A_m = 9,81 J \left[ \omega_{zp} \omega_n + \frac{\omega_n^2}{2} \right] - 9,81 M_c (\omega_{zp} + \omega_{cp}) t_{pm}; \quad (39)$$

здесь  $\omega_{zp} = \text{const}$ , а  $t_{pm}$  — время тормозного режима до  $\omega = 0$ . Используя (34) и (35), получим окончательно

$$A_m = A_k (1 + 2ab) - 9,81 M_c (a\omega_n + \omega_{cp}) t_{pm}. \quad (40)$$

Тепловые потери в сопротивлениях главной цепи за время тормозного режима при реверсе под нагрузкой будут меньше, чем при реверсе вхолостую. Разница в потерях значительно превышает выполненную работу, обусловленную погружочным моментом.

**Потери при пуске в ход серийного двигателя.** Исходное уравнение баланса мощности

$$i^2 R_0 = (U - e) i; i = \frac{M_j + M_c}{K_n \Phi}.$$

После подстановки второго уравнения в правую часть первого получим:

$$\begin{aligned} i^2 R_0 &= \frac{(U - e)(M_j + M_c)}{K_n \Phi} = 1,03 (n_{zp} - n) (M_j + M_c) = \\ &= 9,81 J (\omega_{zp} - \omega) \frac{d\omega}{dt} + 9,81 (\omega_{zp} - \omega) M_c, \end{aligned}$$

$$A_m = \int i^2 R_0 dt = 9,81 J \int (\omega_{zp} - \omega) d\omega + 9,81 \int M_c (\omega_{zp} - \omega) dt.$$

После интегрирования и подстановки пределов ( $t = 0$ ,  $\omega = 0$  и  $t = t_p$ ,  $\omega = \omega_{zp}$ ), получим:

$$A_m = 9,81 J \left( \omega_{zp} \omega - \frac{\omega^2}{2} \right) + 9,81 M_c (\omega_p - \omega_{zp}) t_p; \quad (41)$$

здесь  $t_p$  — время разбега;

$\omega_{cp}$  — средняя угловая скорость за время разбега;  
 $\omega_{zp}$  — пограничная угловая скорость, соответствующая среднему значению тока за время пуска.

Так как  $\omega_{zp} \approx a\omega_n$ , то

$$A_m = 9,81 J \left( a\omega_n \omega - \frac{\omega^2}{2} \right) + 9,81 M_c (a\omega_n - \omega_{zp}) t_p. \quad (42)$$

Если пуск производится без нагрузки, то

$$A_m = 9,81 J \left( a\omega_n \omega - \frac{\omega^2}{2} \right). \quad (43)$$

**Пример 3.** Пусть серийный двигатель пускается вхолостую до скорости вращения  $\omega = \omega_n$  и при этом  $\Phi_{zp} = 1,4\Phi_n$ . В этом случае  $a = 0,715$  и формула (43) принимает вид:

$$A_m = A_k (2a - 1) = A_k (2 \cdot 0,715 - 1) = 0,43 A_k.$$

В отношении потерь, как это следует из произведенного подсчета, серийный двигатель имеет значительные преимущества перед щуптовым. Это объясняется тем, что при том же значении пускового тока разбег серийного двигателя происходит быстрее благодаря большему значению потока.

[4. 3. 1950]

◆ ◆ ◆

## Электропилы трехфазного тока 200 гц для лесозаготовок

**Инж. Э. А. ПАВЛОВ и инж. А. И. ОСИПОВ**

**ЦНИИ механизации и энергетики лесозаготовок**

Основным механизмом на валке и разделке леса в настоящее время служит цепная электропила. Массовое внедрение электропил позволяет механизировать наиболее трудоемкую операцию — пиление.

Первым промышленным образом цепной отечественной электропилы, получившей широкое распространение, была пила конструкции ЦНИИМЭ — ВАКОПП с электродвигателем нормальной частоты тока (50 гц). Пила ВАКОПП весит 22 кг и управляет двумя рабочими. Вес электропилы является одним из главных факторов в оценке эксплуатационных качеств этого инструмента. Во время работы электропилой мотористу приходится держать ее в руках, переносить от дерева к дереву, и от реза к резу. В связи с этим вес электропилы оказывает решающее значение на утомляемость рабочего, а следовательно, и на производительность его труда; с уменьшением веса электропилы умень-

шаются вопросы конструкции и опыт эксплуатации новых электропил и электростанций в лесу. Кроме того, приводятся краткие данные лабораторных испытаний и рекомендации дальнейшей возможной модернизации электропил, кабельной сети и электростанций.

шается затрата времени и сил моториста на переходы при заготовке леса. В результате работы советских конструкторов была создана новая облегченная электропила модели ЦНИИМЭ-К5 весом 9,5 кг, управляемая одним рабочим, и наша промышленность приступила в 1949 г. к массовому изготовлению этих пил. Электропила ЦНИИМЭ-К5 имеет двигатель повышенной частоты тока (200 гц) и пильный аппарат консольного типа. Наличие консольного пильного аппарата сделало электропилу ЦНИИМЭ-К5 универсальной и удобной не только для лесозаготовительных, но и для инженерных работ — выпиловки врубок, проемов, а также для резки сплошных масс льда, туфа, торфа и т. п.

Сравнение удельной производительности электропил нормальной и повышенной частоты тока видно из рис. 1.

По эксплуатационным показателям эффективность работы электропил ЦНИИМЭ-К5 одноч-

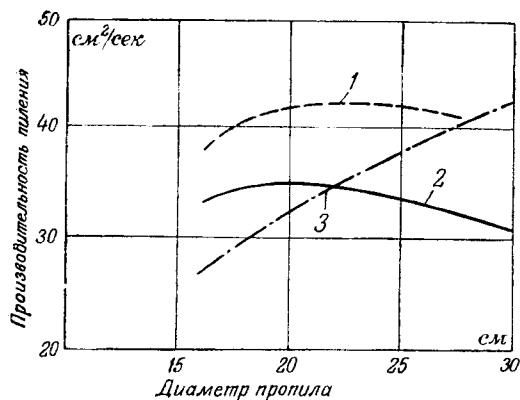


Рис. 1. Удельная производительность пиления ели в лабораторных и производственных условиях.

1 — электропила ЦНИИМЭ-К5 в лабораторных условиях;  
2 — то же в производственных условиях; 3 — электропила ВАКОПП в производственных условиях.

шего управления в среднем в 1,5 раза выше пил ВАКОПП. Так, например, на хлыстовой<sup>1</sup> заготовке древесины достигнута устойчивая выработка  $80-110 \text{ м}^3$  в смену против  $50-60 \text{ м}^3$ , заготавливаемых пилой ВАКОПП.

Успешность работы пил ЦНИИМЭ-К5 иллюстрируется и корректировками в нормах выработки на пилосмену и человеко-день, внесенными со времени внедрения новых электропил. Это, однако, не мешает стахановцам перекрывать и новые нормы в два и более раза.

Приводим техническую характеристику электропилы ЦНИИМЭ-К5: электродвигатель трехфазного тока — 200 гц, 220 в, 6,9 а, с обмотками, соединенными звездой; синхронная скорость вращения — 12 000 об/мин; максимальный врачающий момент — 0,25 кгм; кратность максимального момента — 1,74; кратность пускового момента — 1,43; номинальная мощность — 1,3 квт при  $\cos \varphi = 0,84$ ; вес двигателя около 4 кг; выключатель — двухфазный, барабанный, рычажный; режущий орган — пильная цепь ПЦ-15 с шагом шарниров 15 мм; скорость пильной цепи — 5,5 м/сек; ширина пропила — 7 мм; рабочая длина пильного аппарата — 475 мм; максимальный диаметр распиливаемого дерева — 1 м; габаритные размеры пилы в сложенном виде — 220 × 270 × 630 мм; общий вес пилы — 9,5 кг.

Лабораторными испытаниями установлено, что двигатель способен развить полезную мощность на валу 1,53 квт по врачающему моменту, однако по нагреву он ограничен мощностью 1,3 квт.

**Узлы электропилы ЦНИИМЭ-К5** (рис. 2). Электродвигатель 1 асинхронный, закрытый, типа А-5 (конструкции Архангельского лесотехнического института им. Куйбышева) с короткозамкнутым ротором. Статор двигателя заключен в ребристый кожух из силумина.

Выключатель 2 — двухфазный, барабанного типа. Монтирован он в силуминовом корпусе на

конце трубчатой державки, близ правой рукоятки электропилы. Подвод тока осуществляется четырехжильным шланговым резиновым кабелем сечением  $4 \times 2,5 \text{ мм}^2$ . Четвертая жила кабеля служит для заземления.

Редуктор 3 имеет пару цилиндрических шестерен с передаточным отношением 1 : 6,12.

Правая рукоятка 4 пилы, литой корпус выключателя и трубчатая державка образуют один целый неразъемный узел. Закрепление правой рукоятки на длинной державке усиливает надвигание консольного пильного аппарата на древесину при развороте пилы вокруг точки упора благодаря использованию рукоятки как рычага. Это же избавляет моториста от необходимости сгибать туловище при распиловке дерева, лежащего на земле. Левая рукоятка 5 играет роль державки и укреплена на кожухе вентилятора. Консольный пильный аппарат 6 состоит из мелкозубленной пильной цепи, пильной шины, ведущей и ведомой звездочек и закрепительно-натяжного устройства. Пильная цепь собрана из шарнирно связанных звеньев с режущими, подрезающими и скальвающими зубьями. Электропила выполнена складной, что облегчает ее транспортировку.

Питание пил электроэнергией осуществляется от передвижных электростанций с помощью гибкого резинового шлангового кабеля марки ШПЛГ с четырьмя медными жилами. Кабель прокладывается непосредственно по поверхности земли. Конфигурация кабельной сети диктуется местными условиями работы в лесу. Для основных наиболее удаленных токоведущих линий служит магистральный кабель сечением  $4 \times 4 \text{ мм}^2$ , для вспомогательных — пильный кабель  $4 \times 2,5 \text{ мм}^2$ .

Распределительная муфта имеет цилиндрический корпус и крышку из пластмассы. Внутри корпуса муфты на панели монтированы пять штепсельных гнезд для присоединения потребителей.

Соединительные муфты — из пластмассы со штепсельным соединением и разъемным корпусом, стягиваемым серьгами. Этот тип муфты не удовлетворяет условиям лесоразработок, так как не обладает достаточной герметичностью, обтекаемостью и прочностью, а контакты ненадежны. Конструкция муфт нуждается в облегчении и коренной переработке.

Передвижная электростанция (рис. 3) трехфазного тока 200 гц, типа ПЭС-12-200 выпускается серийно Рижским заводом Главлесбуммаша на базе генератора завода им. Калинина.

Основные данные электростанции. Двигатель — бензиновый ГАЗ-МК (ГМЗ-4) соединен полужесткой муфтой с генератором. Генератор — ЧС7, с вращающимися полюсами, мощностью 14 ква, с  $\cos \varphi = 0,75$ ; 240 в, 200 гц, самовозбуждающийся через селеновые выпрямители с трансформатором — стабилизатором. Скорость вращения двигателя и генератора — 1 500 об/мин.

Питание электропил на лесосеке возможно также и от преобразователей частоты, питаемых током нормальной частоты, однако эти преобра-

<sup>1</sup> Хлыстом называется спиленное дерево, очищенное от сучьев.

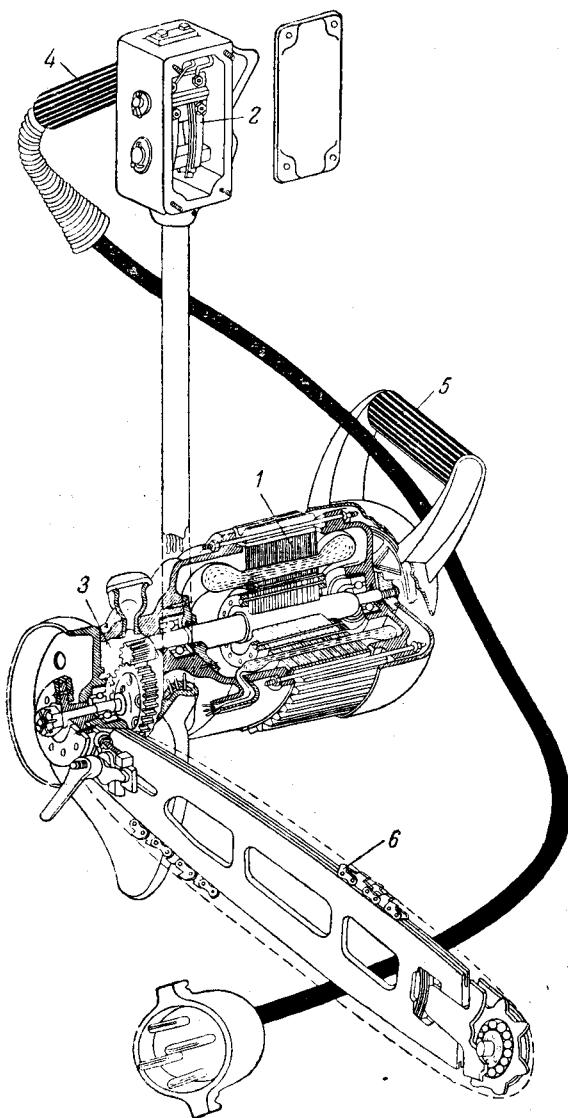


Рис. 2. Электропила ЦНИИМЭ-К5.

зователи еще не нашли пока распространения в лесу.

К передвижной электростанции ПЭС-12-200 на лесозаготовках одновременно подключают 4—6 пил ЦНИИМЭ-К5. Практически по своим возможностям генератор электростанции в состоянии питать и большее число электропил, но это же представляется возможным по условиям их размещения на лесосеке. Электростанция ПЭС-12 не всегда держит необходимые скорость, частоту и напряжение из-за недостаточно четкой работы механического регулятора оборотов двигателя ГАЗ-МК.

К недостаткам самого генератора следует отнести: недостаточную прочность крепления лобовых частей обмотки ротора, обрыв бандажей и необходимость применять короткое замыкание для возбуждения генератора. От этих недостатков свободен генератор повышенной частоты тока ВЭИ системы Юдицкого.

Одновременность работы нескольких пил и большие токи в моменты включения и при опрокидывании электродвигателей создают пико-

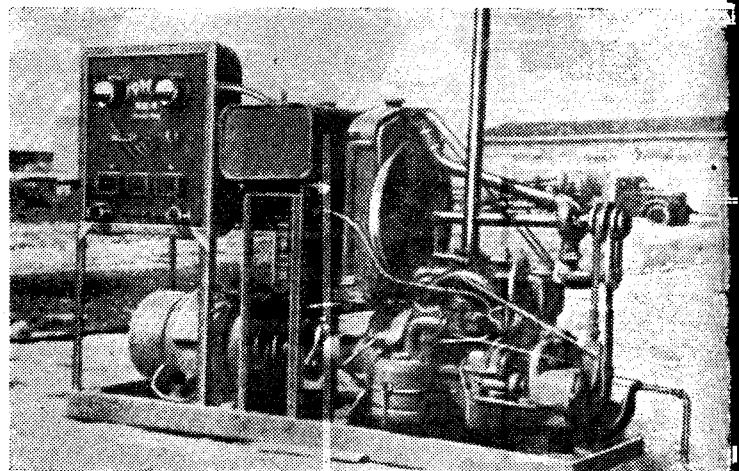


Рис. 3. Передвижная электростанция ПЭС-12-200.

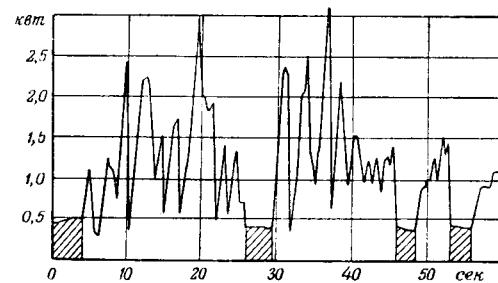


Рис. 4. Мощность, потребляемая электропилой ЦНИИМЭ-К5 при работе в лесу.

вые нагрузки электрогенератора, нарушая нормальный ритм работы первичного двигателя, влияя на скорость его вращения, а следовательно и на частоту тока.

Значительная протяженность кабельной сети от источника тока до потребителя, нередко достигающая 500 м, ведет к заметному падению напряжения в кабеле. Поэтому максимальный момент вращения снижается, нередко приостанавливая работу пилы в пропиле (особенно при зажимах пильного аппарата), что увеличивает нагрев обмоток статора и ухудшает тяговые свойства двигателя.

На рис. 4 приведен пример загрузки электродвигателя пилы ЦНИИМЭ-К5 в условиях форсированной работы в лесу одной электропилы от электростанции со средней производительностью 80 %. При температуре окружающего воздуха +15°C нагрев кожуха статора не превышал +65°C и не выходил за пределы норм. Это свидетельствует о том, что в условиях бесперебойной подачи тока с заданными параметрами двигатель электропилы ЦНИИМЭ-К5 работает безотказно. На графике видна резко переменная нагрузка пилы, пики пусковых токов, площадки холостого хода двигателя (заштрихованы) при переходе с пилой от дерева к дереву, циклы пропила дре-весины.

Планиметрирование кривой дает следующие округленные значения для работы в мелколесье

<sup>2</sup> Запись произведена научным сотрудником ЦНИИМЭ И. И. Гребнем.

смешанного состава при сортовом способе заготовки:

средняя потребляемая мощность пилы . . . . .	1,1 квт
мощность холостого хода пилы . . . . .	0,3 "
пики . . . . .	до 3 "

Значительная мощность холостого хода пилы может быть объяснена потерями на трение в пильном аппарате, потерями в стали статора и ротора двигателя.

Влияние инерционных масс пильной цепи, ротора двигателя и шестерни редуктора сказывается в основном на длительности пуска. Мощность, потребляемая редуктором на холостом ходу, сама по себе сравнительно мала (не превышает 30—40 вт) и практически не оказывает существенного влияния на мощность холостого хода. Последняя — относительно постоянна. Мощность, потребляемая на пиление, наоборот, — величина переменная, она отвечает конкретным условиям эксплоатации пилы и зависит от различных факторов: состава лесонасаждения, свойств древесины, скорости резания и конструктивных элементов пилы, таящих скрытые возможности оптимального потребления мощности, выявление и реализация которых является задачей исследователей и конструкторов.

Следует учитывать крайне тяжелый, прерывистый режим работы двигателя электропилы, пуск его под нагрузкой. Поэтому, для преодоления кратковременных перегрузок при работе в лесу желательно иметь для двигателей повышенной частоты тока не менее чем двухкратное отношение пускового (и 2,5-кратное отношение максимального вращающего) момента к номинальному. Это требование подтверждается практикой работы электропил в производственных и лабораторных условиях.

Опыт применения на заготовке леса электродвигателей повышенной частоты тока показал преимущества их перед двигателями нормальной частоты тока. Так, вес активной части электродвигателя пилы ЦНИИМЭ-К5 (200 гц) менее веса активной части двигателя той же мощности электропилы ВАКОПП (50 гц) на 5 кг.

Кроме того, двигатель пилы ЦНИИМЭ-К5, рассчитанный на большую продолжительность включения, не боится форсированного режима

работы, в то время как двигатель пилы ВАКОПП требует периодического отключения для охлаждения.

Вместе с тем массовая эксплоатация новых электропил показала, что они, как и всякий новый механизм, не свободны и от некоторых недостатков. Так, например, выяснилась недоработанность узла головки амортизатора шины: недолговечность шариковой опоры ведомой звездочки и пластин амортизатора. Быстрая затупляемость зубьев и низкое качество изготовления пильных цепей заводом ведет к значительному износу шарниров звеньев и, как следствие, к несопадению шага зацепления пильной цепи и звездочек.

Отмечено некоторое неудобство пользования рычагом выключателя и отсутствие на нем фиксатора.

Успехи, достигнутые в создании новой электропилы, не исключают, таким образом, необходимости ее дальнейшего усовершенствования. Применение стали высокой магнитной проницаемости с меньшей толщиной пластин (0,2 вместо 0,5 мм) для статора электродвигателя позволит уменьшить в еще большей степени вес активных частей двигателя, улучшит его тяговые свойства и уменьшит нагрев. Для визуального контроля предельно допустимого нагрева электродвигателя пилы было бы весьма полезно применить окраску его крышек или специальных контрольных площадок температурным красителем, резко меняющим расцветку в зависимости от нагрева наружной поверхности статора при достижении температуры в 75—90° С.

В целях удешевления и упрощения изготовления ротора двигателя, а также улучшения его балансировки в подшипниках желательна проверка возможности замены составных роторов цельноточеными.

Барабанный выключатель с рычажным пуском целесообразно заменить кнопочным магнитным пускателем, который свободно размещается в коробке выключателя. Пользование кнопочным пускателем значительно удобнее и безопаснее.

Замена силумина в деталях пилы магниевыми сплавами позволила бы еще больше облегчить вес пилы в целом при сохранении прочности конструкции.

[13. 2. 1949]



# Измерение вращающих моментов асинхронных двигателей при разбеге

Доктор техн. наук Е. М. СИНЕЛЬНИКОВ и кандидат техн. наук Г. С. СОМИХИНА

Московский энергетический институт им. Молотова

Экспериментальное определение вращающих моментов асинхронных короткозамкнутых двигателей в процессе разбега представляет значительные трудности: во-первых, вследствие неустойчивого характера кривой моментов  $M=f(n)$  в на-

чале разбега (от  $S=1$  до  $S=S_{opt}$ ) и, во-вторых, вследствие того, что на основную зависимость  $M=f(n)$ , интересующую исследователей с точки зрения эксплоатационных качеств двигателя, накладываются всякого рода пульсирующие моменты, не представляющие прямого интереса для оценки условий разбега двигателя и затемняющие общую картину явлений.

Момент двигателя при разбеге равен сумме статических и динамических моментов сопротивления

$$M = M_c + M_d = M_c + I \frac{d\omega}{dt}.$$

На основе этого уравнения все известные методы измерения вращающих моментов двигателей можно подразделить на два основных типа:

1) методы, основанные на измерении  $M_c$  при  $M_d \approx 0$ ;

2) методы, основанные на измерении  $M_d$  при  $M_c \approx 0$ .

Методы первого рода основаны на определении вращающего момента по тормозящему моменту. В этом типе измерительных устройств необходимо соблюдение, во всем диапазоне скоростей при записи  $M=f(n)$ , условия:

$$\frac{dM_{top}}{dn} > \frac{dM_{de}}{dn},$$

где  $M_{de}$  — вращающий момент двигателя;

$M_{top}$  — момент тормозного устройства.

Такому условию удовлетворяют обычно тормозные устройства, основанные на использовании шунтовых двигателей постоянного тока с малым сопротивлением якоря. Запись кривой вращающих моментов в этом случае осуществляется по точкам в функции скорости. Внешне относительно простые методы этого типа обладают следующими недостатками:

1) при измерении моментов по точкам при  $n = \text{const}$  двигатель в процессе измерений нагревается, что не только искажается действи-

тельная кривая моментов вследствие изменения сопротивления ротора, но возникает прямая угроза целостности двигателя;

2) тормозные генераторы, используемые для измерения вращающих моментов у двигателей большой мощности, обыч-

но бывает громоздкими и кроме того, отсутствует возможность выполнить универсальную установку для испытания двигателей различных типов.

Второго рода методы основаны на измерении вращающих моментов по ускорению, развивающемуся двигателем в процессе разбега.

Измерение ускорения можно осуществлять одним из следующих способов:

1) либо путем измерения усилий, развивающихся при ускорении какими-либо массами с последующим преобразованием этих усилий в переменную электрическую величину (сопротивление, емкость, потенциал, индуктивность, магнитную проводимость и др.);

2) либо путем измерения скорости с последующим ее дифференцированием.

Для измерения скорости применяются тахометрические генераторы. Последующее дифференцирование осуществляется либо графически, либо путем применения специальных механических или электрических устройств. К числу способов, основанных на измерении силы, относится целая группа датчиков ускорений, связанных с изменением электрических величин. Измеряемое усилие, пропорциональное углу закручивания между двумя поперечными сечениями вращающегося вала, преобразуется в изменение какой-либо переменной электрической величины. Необходимое условие состоит в том, чтобы между изменением угла закручивания и соответствующим изменением сопротивления, емкости или индуктивности существовала пропорциональная зависимость.

Все эти электрические датчики угла закручивания вала испытуемых двигателей при своей большой гибкости в работе обладают рядом крупных недостатков, вследствие которых нельзя отдать им предпочтение при выборе наилучшего метода для измерения вращающих моментов асинхронных короткозамкнутых двигателей в процессе разбега. К недостаткам этих методов следует отнести: 1) малую чувствительность элементов сопротивления, емкости, индуктивности при небольших деформациях вала, имеющих место

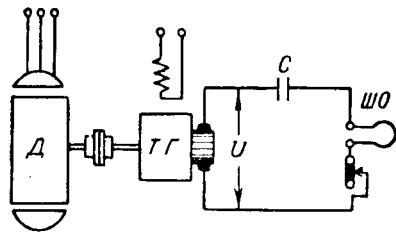


Рис. 1. Схема Иттерберга.  
TG — тахометрический генератор; C — измерительный (дифференциальный) конденсатор; D — испытуемый двигатель; ШО — шлейф осциллографа.

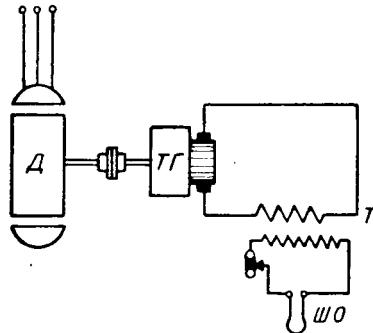


Рис. 2. Схема Ломоносова.  
TG — тахометрический генератор; T — измерительный (дифференциальный) трансформатор; ШО — шлейф осциллографа.

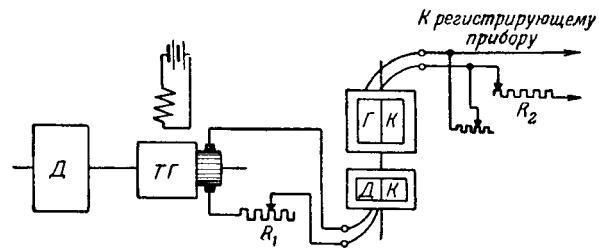


Рис. 3. Схема для механического дифференцирования скорости.  
D — испытуемый двигатель; TG — тахометрический генератор; ГК — генераторная катушка; ДК — двигательная катушка.

при медленном разбеге двигателей и, следовательно, неизбежность применения специальных усилителей постоянного тока; 2) влияние на погрешность измерения всякого рода внешних факторов (грязи, вибрации вала, влажности, температуры и т. д.); 3) наличие в измерительной схеме переходных сопротивлений в контактах колец и щеток, вносящих большие погрешности; 4) сложность конструктивного оформления датчиков при расширении области их применения; 5) необходимость тщательной и сложной предварительной градуировки измерительных элементов.

При использовании пьезодатчиков возникает необходимость высокого класса изоляции входного каскада усилителей, особенно при больших временах разбега, необходимость которых при записи кривой вращающих моментов асинхронных короткозамкнутых двигателей будет обоснована ниже. Пьезодатчики из кварца, кроме того, дорого стоят. Более дешевые из сегнетовой соли обладают зависимостью пьезоэфекта от влажности и температуры.

К другому ряду способов измерений вращающихся моментов двигателей по ускорению, развивающемуся в процессе разбега, следует отнести способы, основанные на измерении скорости с последующим ее дифференцированием. В числе этих методов прежде всего находится метод Иттерберга (1912 г.). Сущность метода (рис. 1) заключается в том, что сцепленный жестко с испытуемым двигателем тахометрический генератор создает на щетках напряжение, пропорциональное скорости вращения двигателя. Соединенный последовательно с якорем тахометрического генератора конденсатор дифференцирует кривую скорости. Запись ускорений  $\frac{dn}{dt}$  производится с помощью осциллографа.

Некоторую разновидность метода Иттерберга представляет собой метод Ломоносова [Л. 1], использующий в качестве элемента, дифференцирующего скорость, трансформатор с большим воздушным зазором (рис. 2). Метод Иттерберга

в течение ряда лет находит себе применение для записи кривой вращающихся моментов при лабораторных исследованиях, а иногда и на испытательных станциях электромашиностроительных заводов. Однако при своей сравнительной простоте метод Иттерберга обладает большими недостатками, а именно: 1) наличие в схеме переходного сопротивления в контактах щеток создает особенно малую точность измерения, как раз при малой скорости вращения двигателя, т. е. в области, которая представляет наибольший интерес; 2) наличие коллектора у тахометрического генератора и вращающихся железных частей, как правило, вызывает дополнительные пульсации; 3) при замене же коллекторного генератора униполярной машиной без вращающихся железных частей возникает необходимость в сложном усилителе постоянного тока. К этому же типу методов необходимо отнести метод механического дифференцирования скоростной функции (рис. 3). Тахометрический генератор создает напряжение  $U = kn$ , пропорциональное скорости вращения испытуемого двигателя. Это напряжение дифференцируется с помощью системы двух катушек, сидящих на одной оси и вращающихся в однородном магнитном поле со скоростью, пропорциональной напряжению  $U$ . Тогда э. д. с. второй катушки пропорциональна:  $\frac{dU}{dt} = k \frac{dn}{dt}$ . Запись

кривой ускорений  $\frac{dn}{dt} = f(t)$  производится с помощью осциллографа. Этот прибор не сложен по своей конструкции и не требует большого времени для наладки. Однако искажения, вносимые коллектором и щетками тахометрического генератора, а также силами трения и инерционными силами вращающейся рамки, делают прибор непригодным для количественных измерений провалов в кривой вращающихся моментов.

На кафедре электрических машин Московского энергетического института им. Молотова под руководством проф. Г. Н. Петрова в течение 1945—1947 гг. был проведен подробный анализ и исследование качеств существующих методов измерения вращающихся моментов асинхронных короткозамкнутых двигателей при разбеге, в результате чего был разработан новый измеритель вращающихся моментов, названный электромашинным измерителем ускорений (рис. 4). Принцип этого метода основан на использовании процессов, происходящих в электрической машине

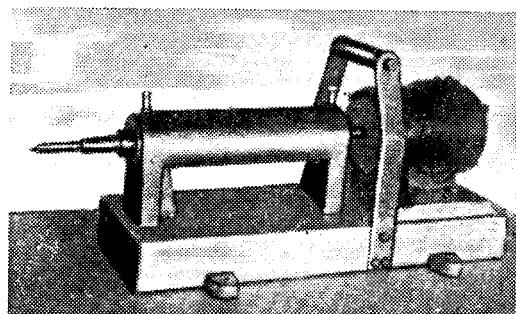


Рис. 4. Электромашинный измеритель ускорений.

(рис. 5) с полым тонкостенным ротором. Машина имеет на статоре две обмотки, оси которых сдвинуты по отношению друг к другу на  $90^\circ$ . Такие обмотки получаются из обычной трехфазной обмотки, если соединить две фазы последовательно, а третью использовать, как вторую обмотку. Ротор машины представляет собой пустотельный цилиндрический стакан из бронзы или меди. Внутри стакана расположен неподвижный стальной сердечник. Одна из обмоток является обмоткой возбуждения и питается постоянным током, а вторая включается на регистрирующий прибор.

При вращении стакана с переменной скоростью, как это имеет место при разбеге асинхронных двигателей, в цилиндрическом стакане наводится э. д. с., пропорциональная скорости вращения ротора:

$$E_1 = cn.$$

Благодаря этой э. д. с. в каждом элементе ротора наводятся токи, которые, суммируясь, создадут магнитный поток  $\Phi_2$ , зависящий от скорости вращения ротора. Направление этого потока совпадает с осью измерительной обмотки. Пронизывающая измерительную обмотку и изменяясь во времени при изменении скорости вращения, поток  $\Phi_2$  наводит в обмотке э. д. с.

$$E_2 = -w_2 \frac{d\Phi_2}{dt} = f(t).$$

Кривая э. д. с.  $E_2$  в функции времени записывается осциллографом. Соответствующим выбором параметров (приложение 1) можно достичь получения почти прямолинейной зависимости между потоком  $\Phi_2$  и скоростью вращения двигателя  $n$  и, следовательно, получить на осциллографе зависимость

$$E_2 = c_1 \frac{dn}{dt} = f(t).$$

Если известна величина махового момента двигателя, то можно получить окончательно искомую зависимость вращающего момента при разбеге в функции времени

$$M = f(t).$$

Электромашинный измеритель ускорений лучше всего устанавливать в жестком соплении с добавочной маховой массой.

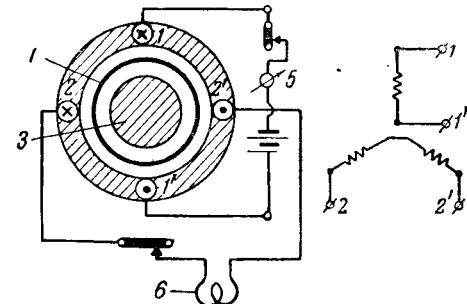


Рис. 5. Схема соединения обмоток электромашинного измерителя ускорений.

1 — 1'; 2 — 2'; обмотки; 3 — неподвижный стальной сердечник; 4 — пустотельный цилиндрический стакан; 5 — миллиамперметр; 6 — шлейф для записи  $M = f(t)$ .

Вторым элементом измерительной схемы для записи кривой вращающих моментов двигателя при разбеге является регистрирующий прибор (шлейф осциллографа). Включение измерительной обмотки электромашинного измерителя ускорения на обычный шлейф осциллографа требует наличия специального усилителя постоянного тока. Сложность выполнения такого усилителя привела к необходимости разработки специального шлейфа. Высокая чувствительность шлейфа неизбежно сочетается с повышенной инерционностью. Однако в нашем случае повышенная инерционность шлейфа только полезна.

Действующие в процессе разбега вращающие моменты представляют собой сумму моментов, зависящих от скорости вращения двигателя и моментов, зависящих только от времени:

$$M = M(n) + M(t).$$

При выборе частотной характеристики регистрирующего прибора ставится задача отфильтровать из общей кривой моментов при разбеге интересующие нас вращающие моменты типа  $M(n)$ . Решение этой задачи состоит в выборе добавочных маховых масс на валу разбегающегося двигателя и частотной характеристики регистрирующего прибора. Регистрирующий прибор в соответствии с этой задачей должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Прибор не должен пропускать частоты порядка 50 гц и выше, связанные с электромагнитными переходными процессами в двигателе в период разбега и проявляющиеся в сильных колебаниях момента с такой же частотой. Эти колебания момента не характеризуют эксплуатационных качеств двигателя, так как быстро прекращаются и не могут вызвать застrevания двигателя на промежуточной скорости.

2. Прибор должен, по возможности, свести к минимуму пульсации в кривой моментов, которые связаны со всякого рода механическими вибрациями вала.

3. Прибор должен без искажения регистрировать асинхронные моменты двигателя, вызванные основной и высшими гармониками магнитного поля, а также те синхронные моменты, которые вызывают заметные изменения ускорения двигателя при его разбеге.

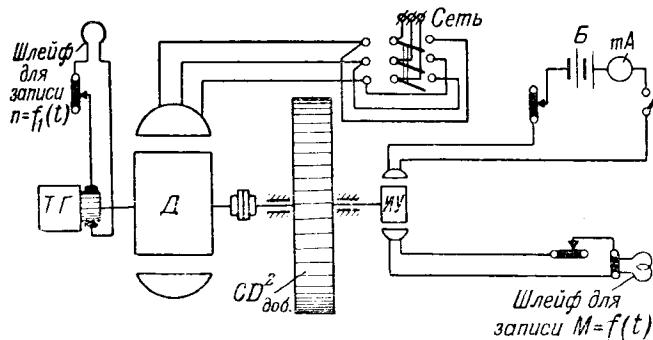


Рис. 6. Схема для записи кривой вращающих моментов в процессе разбега с помощью электромашинного измерителя ускорений.

Д — испытуемый асинхронный двигатель; ИУ — измеритель ускорений; ТГ — тахометрический генератор; Б — батарея.

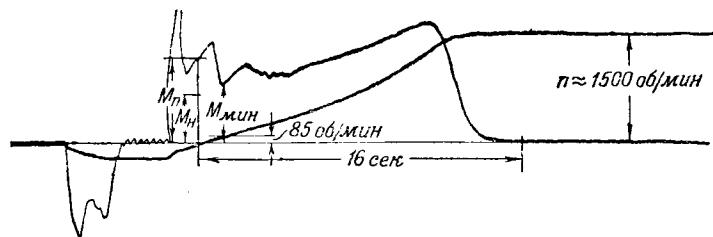


Рис. 7. Осциллограмма пуска двигателя мощностью 14 квт.

Напряжение 220 в; число пар полюсов  $2p=2$ ; число пазов статора 36; число пазов ротора 44; скос пазов статора 0; номинальный момент  $M_n=9,3$  кгм; пусковой момент

$$M_n = 16 \text{ кгм}; \text{ минимальный момент } M_{\min} = 11,5 \text{ кгм.}$$

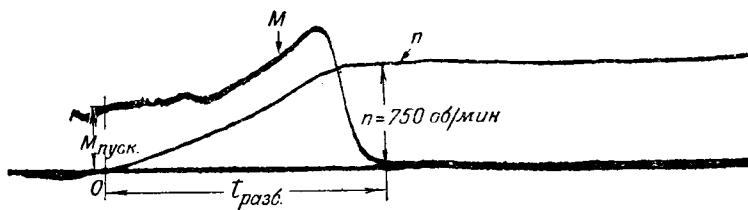


Рис. 8. Пусковая осциллограмма асинхронного многоскоростного двигателя мощностью 3 квт при  $U_a = 127$  в,  $2p = 8$ .

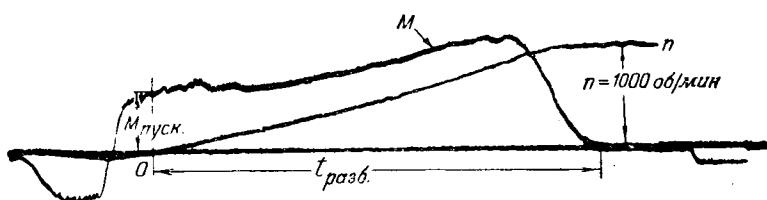


Рис. 9. Пусковая осциллограмма асинхронного многоскоростного двигателя мощностью 3 квт при  $U_a = 36,7$  в,  $2p = 6$ .

В приложении 2 показано, что необходимая частотная характеристика регистрирующего прибора определяется временем разбега, увеличенным за счет добавочных маховых масс. Увеличив общее время разбега асинхронного двигателя, можно достигнуть тем самым увеличения на кривой моментов периода, характеризующего изменение момента, вызванного какой-либо высшей гармоникой. Так как частота пульсирующих моментов не зависит от времени разбега и остается постоянной (около 50 гц), то создается возможность отфильтровать непосредственно шлейфом эти моменты, сохранив все важные для практики особенности кривой разбега.

Для осуществления фильтрации пульсирующих моментов регистрирующий прибор должен обладать значительной инерцией. Наиболее приемлемым с этой точки зрения является гальванометр постоянного тока с достаточно большой чувствительностью и большой инерцией. Увеличенная инерционность гальванометрического шлейфа по сравнению с нормальным осциллографическим шлейфом совпадает с требованием фильтрации пульсирующих моментов. Конструкция регистрирующего гальванометрического шлейфа очень проста. Внешний вид его подобен обычному шлейфу трехшлейфового осциллографа. Рамка (не петля) с большим числом витков является основной деталью шлейфа. Осциллографирование разбега асинхронных короткозамкнутых двигателей производится по схеме рис. 6. С целью точного определения величины пускового момента (при  $n=0$ ) разбег осуществляется с реверсом. При этом разбег в обратном направлении производится до скорости порядка 200—300 об/мин. Для записи кривой скорости используется тахометрический генератор.

На рис. 7—9 приведены осциллограммы моментов, записанные с помощью электромашинного измерителя ускорений и специального гальванометрического шлейфа. На приведенной осциллограмме (рис. 7) достаточно четко обнаруживаются провалы момента, обусловленные высшими гармониками.

**Выводы.** 1. Методы измерения вращающих моментов асинхронных двигателей по ускорению являются наиболее пригодными.

2. При записи кривой вращающих моментов асинхронных короткозамкнутых двигателей следует прежде всего поставить задачу выделения кривой  $M(n)$  из суммарной кривой моментов  $M=M(n)+M(t)$ , регистрируемой в процессе разбега.

3. Фильтрация суммарной кривой вращающих моментов должна осуществляться путем увеличения времени разбега с помощью добавочных маховых масс и путем правильного выбора частотной характеристики регистрирующего прибора.

4. Схема для записи кривой вращающих моментом  $M=f(t)$  является простой в конструктивном отношении и не представляет каких-либо трудностей при эксплуатации даже в заводских условиях.

5. Имеется возможность регистрировать провалы в кривой моментов, обусловленные паразитными синхронными моментами высших гармоник. Однако эти провалы прибор может зарегистрировать только в том случае, когда синхронные моменты создают заметное изменение скорости и не являются кратковременными. Те же синхронные моменты, которые во времени изменяются очень быстро и не влияют на характер изменения скорости двигателя, прибор зарегистрировать не сможет. В случае нали-

чия у двигателя паразитных моментов, отрицательное значение которых настолько велико, что двигатель застревает при разбеге на какой-либо промежуточной скорости, прибор зарегистрирует только часть кривой моментов, соответствующую разбегу до этой промежуточной установившейся скорости.

6. Схема, разработанная для измерения вращающих моментов асинхронных короткозамкнутых двигателей, может быть в дальнейшем усовершенствована и область применения ее расширена. Это усовершенствование должно итии по следующему направлению: 1) запись кривой скорости  $n = \varphi(t)$  в период разбега должна осуществляться от одного и того же измерительного устройства, что и запись ускорения, а не от специального тахометрического генератора; 2) в конечном итоге должна быть получена возможность непосредственной записи кривой вращающих моментов в функции скорости

$$M = f(n);$$

3) прибор должен быть испытан для записи разбега двигателей других типов, кроме асинхронных.

**Приложение 1.** Расчет параметров электромашинного измерителя ускорений для получения прямолинейной зависимости напряжения измерительной обмотки от ускорения. Пусть  $\Phi_1$  — поток, создаваемый обмоткой возбуждения и совпадающий по направлению с осью намагничивающей силы обмотки возбуждения;  $\Phi_a$  — поток реакции ротора, направленный по оси намагничивающей силы ротора;  $I_2$  — ток в роторе.

Если принять пропорциональность между током и потоком ротора, то

$$\Phi_a = L_a I_2, \quad (1)$$

где  $L_a$  — индуктивность ротора, создаваемая синусоидально распределенным потоком реакции ротора.

Ток в роторе  $I_2$  создается э. д. с., наводимой во вращающемся цилиндре потоком  $\Phi_1$ :

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R^2_2 + X^2_2}} = \frac{k_1 \Phi_1 \omega}{\sqrt{R^2_2 + [\omega (L_a + L_s)]^2}}, \quad (2)$$

где  $k_1$  — коэффициент пропорциональности;

$L_s$  — коэффициент рассеяния ротора;

$R_2$  и  $X_2$  — омическое и индуктивное сопротивления цилиндра, определяющие угол  $\psi$  сдвига тока  $I_2$  по времени по отношению к э. д. с.  $E_2$ :

$$\cos \psi = \frac{R_2}{\sqrt{R^2_2 + X^2_2}}. \quad (3)$$

Максимальная плотность тока в роторе будет при этом неподвижна в пространстве и смещена относительно наибольшей индукции потока  $\Phi_1$  на угол  $\psi + \pi/2$ .

Поток, пронизывающий измерительную обмотку, направлен по поперечной оси и будет равен:

$$\Phi_2 = \Phi_{dq} = \Phi_a \cos \psi. \quad (4)$$

Подставляя в последнее равенство вместо  $\Phi_a$  и  $\cos \psi$  выражения (1), (2) и (3), получим следующую анали-

тическую зависимость между потоком измерительной обмотки и скоростью вращения:

$$\Phi_2 = \frac{k_1 \Phi_1 \omega L_a}{R^2_2 + [\omega (L_a + L_s)]^2} R_2. \quad (5)$$

Преобразуем это выражение в хорошо известное соотношение, которым часто пользуются при практических исследованиях:

$$\frac{\Phi_2}{\Phi_{2\max}} = \frac{2}{\frac{\omega}{\omega_{\max}} + \frac{\omega_{\max}}{\omega}} = \frac{2}{\frac{n}{n_{\max}} + \frac{n_{\max}}{n}}, \quad (6)$$

где

$$\omega_{\max} = \frac{R_2}{L_a + L_s} \approx \frac{R_2}{L_a} \quad (7)$$

соответствует

$$\Phi_{2\max} = \frac{k_1 \Phi_1 L_a}{2(L_a + L_s)}. \quad (8)$$

$L_s$  — самоиндукция рассеяния ротора очень малая величина по сравнению с  $L_a$ . Так как поток

$$\Phi_2 = \Phi_{2\max} \frac{2}{\frac{n}{n_{\max}} + \frac{n_{\max}}{n}}$$

при изменении скорости  $n$  (при разбеге двигателя) изменяется, то в цепи измерительной обмотки будет наводиться э. д. с., равная:

$$\frac{d\Phi_2}{dt} = \frac{\Phi_{2\max}}{n_{\max}} \left[ \frac{1 - \left( \frac{n}{n_{\max}} \right)^2}{1 + \left( \frac{n}{n_{\max}} \right)^2} \right] \frac{dn}{dt}. \quad (9)$$

Зависимость сомножителя данного выражения, который мы обозначим буквой  $k$ , равного:

$$k = \frac{1 - \left( \frac{n}{n_{\max}} \right)^2}{1 + \left( \frac{n}{n_{\max}} \right)^2}, \quad (10)$$

от отношения  $\frac{n}{n_{\max}}$  такова, что в диапазоне скоростей от  $n = 0$  до  $n = 0,1 n_{\max}$  его можно считать постоянным с точностью до 3%. Принимая

$$\frac{n_{\max}}{n} = \frac{\omega_{\max}}{\omega} \geq 10,$$

где  $\omega = 2\pi \frac{n}{60} = 314$ , получим, что при соотношении

$$\frac{R_2}{(L_a + L_s) \cdot 314} \geq 10 \quad (11)$$

напряжение измерительной обмотки в диапазоне от 0 до 3 000 об/мин с точностью до 3% будет пропорционально ускорению.

Пусть  $r$  — средний радиус вращающегося цилиндра (рис. 10);  $b$  — ширина воздушного зазора;  $\hat{r}$  — максимальная плотность тока;  $\rho$  — удельное сопротивление вращающегося цилиндра;  $\Delta$  — толщина цилиндра;  $l$  — длина активной части.

Примем, что плотность тока во вращающемся цилиндре распределена по синусоиде. Вытеснением тока в тон-

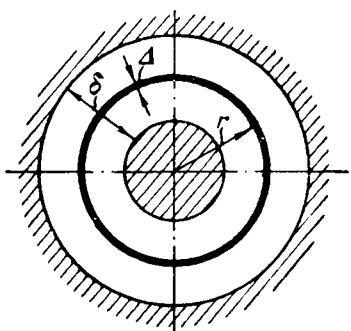


Рис. 10. Схематический разрез измерителя ускорений.

в вращающемся цилиндре пренебрегаем. Тогда отношение максимальной противо-э. д. с., возникающей вследствие омического сопротивления, к максимальной противо-э. д. с., возникающей вследствие потока реакции якоря, будет характеризоваться выражением

$$\frac{E_R}{E_X} = \frac{R_2}{\omega(L_a + L_s)} \approx \frac{R_2}{\omega L_a}. \quad (12)$$

Так как

$$E_R = \hat{j} \Delta r d\alpha \frac{l}{\Delta r d\alpha} = \hat{j} l,$$

где  $d\alpha$  элемент угла

$$E_X = B_X l v \cdot 10^{-8} = 1,25 \cdot 10^{-8} \hat{j} \frac{\Delta r^2}{\delta} l \cdot 314,$$

так как

$$B_X = \frac{0,4\pi}{2\delta} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \hat{j} \cos \Delta r d\alpha = 1,25 \hat{j} \frac{r \Delta}{\delta},$$

а

$$v = \omega r = 314 r,$$

то

$$\frac{E_R}{E_X} = \frac{\omega_{\max}}{\omega} = \frac{R_2}{314 L_a} = \frac{80 \cdot 10^6}{314} \cdot \frac{\rho \delta}{r^2 \Delta}.$$

Принимая из уравнения (11)

$$\frac{R_2}{(L_a + L_s) 314} \approx \frac{R_2}{L_a \cdot 314} \geq 10$$

и заменяя  $r$  через  $\frac{d}{2}$ , получим это условие в виде:

$$\frac{\rho \delta}{\Delta} \cdot 10^6 \geq 10,$$

$$\frac{\delta}{\Delta} \geq \frac{d^2}{\rho} \cdot 10^{-5}. \quad (13)$$

**Приложение 2. Выбор частотной характеристики регистрирующего прибора.** Кривая вращающего момента асинхронного двигателя в функции времени при разбеге, искаженная асинхронными моментами высших гармоник, может быть представлена в виде кривой, показанной на рис. 11. Примем, что  $M(t)$  периодическая функция, полу-период которой  $t_p = OI$  равен времени разбега двигателя. Следовательно, частота основной гармонической кривой моментов будет:

$$f_1 = \frac{1}{2t_p}.$$

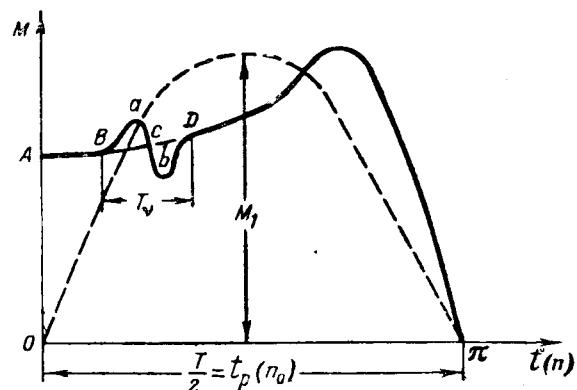


Рис. 11. Кривая вращающего момента асинхронного двигателя в функции времени (скорости) при разбеге  $M = f(t)$  или  $M = f(n)$

$$t_p \text{ — время разбега; } n \text{ — синхронная скорость; } T_y = \frac{2t_p}{y} \left( \text{или } \frac{n}{y} \right)$$

$y$  — порядок гармоники.

Искажение кривой  $M(t)$ , вызванное высшими гармониками магнитного поля, можно рассматривать, как гармоники этой нечетной периодической функции. Тогда  $BC$ , как полупериод высшей гармоники, приблизительно так будет относиться ко времени ОП (к полупериоду основной гармоники), как единица к порядку гармоники, вызывающей искажение:

$$\frac{BC}{OPI} = \frac{1}{y}, \text{ т. е. } \frac{T_y}{2t_p} = \frac{f_1}{f_y} = \frac{1}{y}.$$

Если наибольшая частота, которую будет без искажения передавать регистрирующий прибор, равна  $f_{y\max} = \frac{1}{T_y}$ , то  $T_y$  должно быть равно:

$$BD = 2BC,$$

откуда желательное время разбега равно:

$$t_{p\min} = OPI = BCy = \frac{T_y}{2} = \frac{v}{2} \cdot \frac{1}{f_{y\max}},$$

где  $f_{y\max}$  — наибольшая частота, передаваемая регистрирующим прибором без искажения.

Для машин с числом полюсов и фазу  $q = 4$  наибольшую опасность искажения представляет 2-гармоническая и, следовательно, потребное минимальное время разбега будет:

$$t_{p\min} = \frac{25}{2} \cdot \frac{1}{f_{y\max}}.$$

Это время определяет выбор необходимых на валу двигателя добавочных маховых масс.

#### Литература

- Г. С. Сомихина. Диссертационная работа на соискание степени кандидата техн. наук. МЭИ, 1948.
- Г. С. Рихтер. Электрические машины. т. 4, Госэнергоиздат, 1937.
- В. С. Кулебакин. Испытание электрических машин. Госэнергоиздат, 1928.

[8. 4. 1950]



# Тарифные мероприятия в борьбе за повышение $\cos \varphi$

ОТ РЕДАКЦИИ

Значение тарифных мероприятий в борьбе за повышение коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) весьма велико. Действующая в течение последних 7 лет шкала скидок и надбавок, в зависимости от коэффициента мощности, в свое время сыграла важную роль в общих мероприятиях по повышению коэффициента мощности, мобилизовав внимание промышленных предприятий к задачам экономного расходования электроэнергии и проведения для этого внутризаводской рационализации. Однако ряд существенных недостатков этой шкалы препятствует в отдельных случаях дальнейшему стимулированию наиболее полного использования электрооборудования и наиболее экономного расходования электрической энергии. Существующая тарифная система скидок и надбавок не исключает случаев непроизводительного расходования электроэнергии. Вопрос о научно-обоснованных формах оплаты реактивной электроэнергии давно назрел. Регулирование потребления реактивной энергии должно быть построено в общих интересах народного хозяйства; в настоящее время, в связи с дальнейшим строительством мощных электрических станций и развитием в СССР сложных энергосистем, эта задача приобрела особенно актуальный характер.

Помещаемые ниже статьи В. И. Лобанова и И. М. Каменя требуют обсуждения. Редакция журнала «Электричество» приглашает читателей журнала принять участие в дискуссии по проблеме, затронутой в этих статьях, с тем, чтобы в итоге всестороннего рассмотрения всех основных тарифных вопросов, связанных с важнейшей задачей повышения  $\cos \varphi$ , Министерство электростанций СССР вынесло по ним соответствующее решение.

Инж. В. Н. ЛОБАНОВ

Москва

Основными потребителями реактивной энергии являются промышленные предприятия, присоединенные к районным сетям. Расход реактивной энергии промышленными предприятиями в крупных районных энергосистемах может быть ориентировочно принят в размере 60—70% от общего расхода реактивной энергии (без учета компенсационных установок). Остальные 40—30% падают на компенсацию потерь реактивной энергии в сетях и трансформаторах самих энергосистем.

Сечение проводов, мощность генераторов и трансформаторов находятся в прямой зависимости от величины коэффициента мощности. Чем меньше его величина, тем больше должны быть размеры проводов, трансформаторов и генераторов и связанные с этим размеры капиталовложений и расхода материалов.

В прямой зависимости от величины коэффициента мощности находятся и потери энергии в сетях, генераторах и трансформаторах.

При расчете себестоимости электрической энергии для данной энергосистемы принимается определенная величина коэффициента мощности потребителей (передача им определенного количества реактивной энергии). Отклонение фактической величины коэффициента мощности отдель-

ных потребителей в ту или другую сторону от принятой его величины вызывает для энергосистемы дополнительные расходы (при более низкой величине коэффициента мощности) или дает выгоды (при его более высокой величине).

Существует несколько видов показателей, которыми пользуются в разных системах тарифа для взыскания с потребителя расходов, связанных с низкой величиной его коэффициента мощности или для снижения стоимости электроэнергии потребителю, имеющему высокую величину коэффициента мощности.

Основными из этих показателей являются следующие: а) максимальная нагрузка потребителя в киловольтамперах, по величине которой и исчисляется ежемесячная основная плата за мощность независимо от количества фактически потребленной энергии (в этом случае величина основной платы за электрическую энергию будет обратно пропорциональна величине коэффициента мощности); б) передаваемая потребителю реактивная энергия, оплачиваемая по реактивным счетчикам, установленным у потребителя (в этом случае оплата расходов энергосистемы, связанных с низкой величиной коэффициента мощности, ложится, главным образом, на потребителей, имеющих большое число часов использования

установленной мощности, т. е. с большим потреблением энергии).

В существующих тарифах на электрическую энергию районных энергосистем Министерства электростанций Союза ССР взимание с потребителей расходов, связанных с низкой величиной коэффициента мощности, производится путем установления основной платы за 1 ква установленной мощности трансформаторов и, кроме того, путем применения специальной шкалы скидок и надбавок на всю сумму счета в зависимости от величины коэффициента мощности.

Такая система тарифов, принципиально учитывая оба указанных показателя, должна создавать для потребителей сильнейший стимул к уменьшению получения от энергосистем реактивной энергии и повышения тем самым величины коэффициента мощности своих установок как проведением соответствующих мероприятий по рационализации своего электрохозяйства, так и путем установки специального компенсационного оборудования. Однако, существующие тарифы имеют и ряд крупных недостатков, из которых в настоящей статье можно указать лишь наиболее существенные.

Взимание основной платы не за фактически потребляемую максимальную мощность, контролируемую счетчиком максимальной нагрузки, а за установленную мощность трансформаторов не обеспечивает надлежащего и своевременного стимулирования потребителей к снижению своей нагрузки и повышению  $\cos\phi$ . Экономические выгоды от улучшения коэффициента мощности и убытки от его ухудшения потребители в этом случае могут ощутить только после замены трансформаторов, на которую они идут очень неохотно по целому ряду причин (например, имея в виду предстоящее увеличение производства). Вместе с тем величина установленной мощности трансформаторов в ряде случаев совершенно не соответствует фактической максимальной нагрузке. Нагрузка эта может быть значительно меньше установленной мощности трансформаторов, а в других случаях и значительно превышать ее, ввиду возможности временных их перегрузок.

Вторым существенным недостатком тарифов является несоответствие относительного изменения величины скидок на отдельных участках шкалы оптимальности для энергосистем величины коэффициента мощности на этих участках. Дело в том, что с экономической стороны было бы выгодно присоединить всю мощность компенсационного оборудования, например, в виде статических конденсаторов у потребителей, приняв оптимальную величину коэффициента мощности для этих установок равной единице. Это дало бы заметное снижение стоимости распределительных сетей и уменьшение потерь в них, энергии. Эксплоатационные расходы при установке статических конденсаторов по сравнению с синхронными компенсаторами будут

также ниже, учитывая, что потери энергии в конденсаторах будут в 5—6 раз меньше. Однако, если исходить из нормального для энергосистем режима работы с величиной  $\cos\phi$  равной 0,85—0,90, устанавливать все компенсационное оборудование у потребителей, где большинство этого оборудования не будет отключаться, нельзя. Действительно, при спадании нагрузки генераторам станций пришлось бы в этом случае работать с очень высоким коэффициентом мощности (а в отдельных случаях даже с опережающим), что недопустимо по соображениям устойчивости системы. Поэтому необходимая часть компенсационного оборудования должна быть включена в виде синхронных компенсаторов, устанавливаемых на подстанциях системы, чтобы иметь возможность в ночное время (в периоды минимума нагрузки) путем их недовозбуждения обеспечить достаточную реактивную нагрузку генераторов.

При указанных условиях оптимальная величина коэффициента мощности у потребителей должна быть ниже единицы (примерно в пределах 0,9—0,92), что и должно найти отражение в соответствующих изменениях шкалы скидок. Между тем при величине коэффициента мощности от 0,8 до 0,85 существующей шкалой предусмотрены скидки в 0,5% за 0,01 повышения коэффициента мощности, от 0,85—0,95 — в 1%, а от 0,95 до 1,0 в 1,5%. Таким образом, максимальная скидка дается при величине коэффициента мощности, пребывающей оптимальную.

Третьим и самым существеннейшим недостатком тарифов является использование их не как тарифной системы, основанной на хорасчетных принципах с учетом величины фактических дополнительных расходов энергосистем при низком коэффициенте мощности, а использование тарифов как санкций, налагаемых на потребителя за нерациональное ведение им своего электрохозяйства. Поэтому величина этих санкций, как и всех штрафов, совершенно не связана экономически с теми расходами и ущербом для народного хозяйства, которые вызываются в данном случае низкой величиной коэффициента мощности. Действительно, стоимость реактивной энергии для энергосистемы, равно как и стоимость получаемой от компенсационных установок потребителей (статических конденсаторов, синхронизированных двигателей, синхронных компенсаторов и др.), не превышает 10—20% от стоимости активной энергии. В зависимости от типа компенсационного оборудования стоимость получаемой от него реактивной энергии изменяется в 3—4 раза. Еще больше отличаются друг от друга разные типы компенсационных установок в отношении потерь в них активной энергии. В статических конденсаторах потери эти составляют, как уже было указано, 0,3—0,5% от выработанной реактивной энергии, а в синхронных компенсаторах и синхронизированных двигателях достигают в отдельных случаях 10—12%.

Соответствие шкалы скидок и надбавок действительной себестоимости реактивной энергии стимулировало бы потребителей к выбору наиболее выгодных методов компенсации и типов компенсационного оборудования и, главным образом, к максимальному сбережению наиболее дорогостоящей активной энергии.

Между тем, как будет указано в нижеприведенных примерах, непомерно высокие ставки шкалы скидок и надбавок, в зависимости от величины коэффициента мощности, делают экономическую выгодной установку **любых** типов компенсационного оборудования и **любых** способов повышения коэффициента мощности включительно до простого непроизводительного расходования активной энергии.

При повышении коэффициента мощности потребителя, например, с 0,70 до 0,75 расход реактивной энергии на 1 квтч активной энергии (тангенс фи) уменьшится на 0,14 кварт. Согласно существующей шкале скидок и надбавок потребитель получит скидку в 25% на стоимость активной энергии. Таким образом, каждый кварт, израсходованный потребителем на повышение его коэффициента мощности с 0,70 до 0,75, оплачивается ему в размере: 180% (25 : 0,14 ≈ 180) стоимости активной энергии, т. е. в 10—15 раз выше фактической его стоимости.

Как пример непроизводительного расходования активной энергии, в результате которого сумма счета не увеличивается, а уменьшается, можно привести такой случай. Два потребителя имеют величину коэффициента мощности своих установок 0,7 и оплачивают надбавку на стоимость энергии в 25%. Один из них путем мероприятий по экономии электрической энергии сократил свой месячный расход энергии на 10% (за счет сокращения расхода на освещение, нагревательные приборы, потерю энергии в сетях). Другой потребитель путем нерационального расходования энергии на те же нужды увеличил месячный расход энергии на 10%. Тогда эти потребители будут иметь следующие показатели электропотребления за отчетный и предыдущий месяцы:

	1-й потребитель		2-й потребитель	
	1-й мес.	2-й мес.	1-й мес.	2-й мес.
Расход активной энергии в % . . . . .	100	90	100	110
Расход реактивной энергии в % . . . . .	102	102	102	102
Тангенс фи . . . . .	1,02	1,13	1,02	0,93
Косинус фи . . . . .	0,7	0,66	0,7	0,73
Надбавка к счету в % . . . .	25	45	25	10

Таким образом, для первого потребителя, который экономил энергию, расход на оплату счета не уменьшился, а увеличился на 5,0% ( $0,9 \times 1,45 - 1,0 \times 1,25$ ), а у второго потребителя, непроизводительно израсходовавшего 10% электри-

ческой энергии, сумма счета не только не увеличилась, но даже уменьшилась на 4% ( $1,0 \times 1,25 - 1,1 \times 1,1$ ) и он при большем на 20% расходе активной энергии будет платить на 9% меньше потребителя, достигшего экономии энергии.

Чем можно объяснить и такой, в корне противоречащий хозрасчетному принципу, факт, как взимание с потребителя, имеющего оптимальный для системы коэффициент мощности 0,9, надбавки на стоимость энергии в 18%, в том случае, если величина его коэффициента мощности без компенсационной установки составляла бы 0,7.

Не останавливаясь на других вопросах, требующих разрешения при разработке новых тарифов, являлось бы целесообразным в числе других мероприятий провести следующее.

1. Взимание основной платы с потребителей производить не за 1 квт установленной мощности трансформаторов, а за 1 квт максимальной нагрузки потребителя, имевшей место за отчетный период. Переход на учет и контроль максимальной нагрузки потребует установки счетчиков максимальной нагрузки, уже изготавлившихся, например, в Ленэнерго.

2. Изменение размеров ставок скидок и надбавок при разных величинах коэффициента мощности в целях максимального стимулирования доведения коэффициента мощности до оптимальной для энергосистемы величины.

3. Уплата скидок всем потребителям одинаковой тарифной группы, имеющему величину коэффициента мощности более 0,75—0,8.

4. Приведение ставок шкалы скидок и надбавок в соответствии с действительным экономическим значением для народного хозяйства повышения величины коэффициента мощности, учитывая как улучшение использования оборудования и уменьшение потерь энергии в энергосистемах, так и расходы средств и, главным образом, потери электрической энергии, связанные с установкой компенсационного оборудования у потребителя. Штрафы же за нерациональное ведение потребителями своего электрохозяйства должны были бы накладываться Государственной инспекцией по промэнергетике и энергонадзору при МЭС СССР независимо от ежемесячных расчетов с потребителями за электричество.

В заключение следует сказать, что, обеспечивая получение с потребителей стоимости электрической энергии, тарифная система должна при этом пользоваться методами, отражающими действительное значение для народного хозяйства отдельных показателей электропотребления и быть понятной для потребителей. Одним из этих показателей является максимальное сбережение электрической энергии, экономия которой и представляет основную цель повышения величины коэффициента мощности и других мероприятий по рационализации электроустановок потребителей и энергосистем.

[13. 2. 1960]

**Кандидат техн. наук И. М. КАМЕНЬ**  
**Таганрогский институт механизации и электрификации сельского хозяйства**

По существующему тарифу надбавки за низкий  $\cos \varphi$  начисляются по установленной шкале пропорционально величине отклонения  $\cos \varphi$  от установленной нормы. Мероприятия по повышению  $\cos \varphi$  должны заключаться в уменьшении расхода реактивной энергии, в результате чего уменьшаются также потери активной энергии в сетях и машинах, повышается пропускная способность линий и трансформаторных подстанций и уменьшаются капитальные затраты на соответствующее оборудование.

При проведении рационализаторских мероприятий желательно по каждой установке сопоставить затраты на рационализацию с экономией в оплате, для чего необходимо определять количество сэкономленных за год *кварч*. Однако, зависимость, существующая между величиной штрафа и расходом реактивной энергии, недостаточно ясна. Вычисление небольшого изменения  $\cos \varphi$  и оплаты по всему участку, прошедшему в результате рационализации на одной установке, должно производиться с повышенной точностью (четыре или пять знаков), так как приходится определять разность двух близких величин (оплата до и после рационализации). Применение тарифа к отдельно взятой установке не отражает действительного изменения оплаты, которая начисляется по средневзвешенному  $\cos \varphi$  участка, включающего множество установок.

Выясним зависимость между величиной оплаты и изменением количества расходуемой реактивной энергии, полагая, что это изменение относительно невелико.

Для применения шкалы надбавок  $\cos \varphi$  участка округляется с точностью до 0,01. Тем не менее, при вычислении экономии в оплате по каждой установке следует предположить, что величина штрафа является непрерывной функцией  $\cos \varphi$ , так как в результате каждого рационализаторского мероприятия уменьшается расход реактивной энергии, и суммирование по многим установкам дает достаточно большое изменение  $\cos \varphi$ .

Примем обозначения:

$A_a$  — расход активной энергии за год в *квтч*;

$A_r$  — расход реактивной энергии за год в *кварч*;

$\cos \varphi$  — средневзвешенный  $\cos \varphi$  предприятия или расчетного участка до рационализации;

$k$  — надбавка в процентах за уменьшение „естественного“  $\cos \varphi$  на 0,01 (по шкале 1943—1950 гг.:  $k=5$ );

$p$  — дополнительная оплата в рублях 1 *квтч* активной энергии;

$M_o = pA_a$  — общая сумма дополнительной годовой оплаты за активную энергию;

$M_o$  — общая сумма основной годовой платы по данному участку (за установленную мощность).

Тогда

$$\cos \varphi = \frac{A_a}{\sqrt{A_a^2 + A_r^2}}, \quad (1)$$

где  $A_r$  — переменная величина;

$A_a$  — постоянная.

Общая сумма платы за энергию в соответствии с тарифом (при норме естественного  $\cos \varphi = 0,75$ ):

$$M = M_o + pA_a + k(0,75 - \cos \varphi)(M_o + pA_a). \quad (2)$$

Если количество реактивной энергии получает малое конечное приращение  $\Delta A_r$ , то общая плата  $M$  получает приращение  $\Delta M$ , которое в первом приближении определяем:

$$\Delta M = \Delta A_r \cdot \frac{dM}{dA_r} = -\Delta A_r \cdot k(M_o + pA_a) \cdot \frac{d(\cos \varphi)}{dA_r}. \quad (3)$$

Дифференцируя выражение (1) для  $\cos \varphi$  по  $A_r$ , получим:

$$\frac{d(\cos \varphi)}{dA_r} = -\frac{A_a A_r}{(A_a^2 + A_r^2)^{3/2}} = -\frac{\cos^2 \varphi \sin \varphi}{A_a}. \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в формулу (3), получаем:

$$\Delta M = \Delta A_r \cdot k p \left( 1 + \frac{M_o}{pA_a} \right) \cos^2 \varphi \sin \varphi. \quad (5)$$

Величина  $\frac{M_o}{pA_a}$  представляет отношение основной платы к дополнительной и является в данном случае постоянной величиной. Обычно это отношение находится в пределах: 0,5—2,0. Следовательно, в пределах небольшого изменения реактивной энергии (до  $\pm 10\%$ ) экономия на оплате, вычисленная для всего участка, прямо пропорциональна количеству сэкономленной реактивной энергии. Поэтому можно рассматривать применяющуюся систему надбавок и скидок, как скрытую форму оплаты реактивной энергии, причем стоимость 1 *кварч* для разных расчетных участков различна и зависит от средневзвешенного  $\cos \varphi$  данного участка.

На рис. 1 кривая 1 представляет величину функции  $\cos^2 \varphi \sin \varphi$  в зависимости от  $\cos \varphi$ . Функция имеет максимум при  $\cos \varphi = 0,815$ . Кривая 2 на рис. 2 представляет относительную стоимость 1 *кварч* реактивной энергии, вычисленную по формуле (5) при  $k=5$ . Стоимость 1 *квтч* активной энергии принята за единицу;  $\frac{M_o}{pA_a} = 0,6$ .

Из кривых видно, что при  $\cos \varphi = 0,4-0,75$  реактивная энергия оплачивается предприятием значительно дороже активной, что явно нецелесообразно и свидетельствует о завышенной величине коэффициента  $k$ . В результате, значительная экономия в оплате получается при осуществлении и таких мер, как синхронизация асинхронных движ-

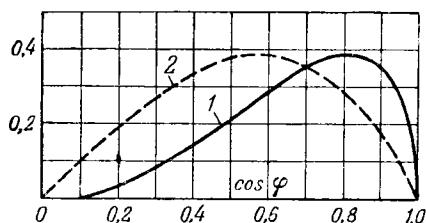


Рис. 1.

1 — кривая  $\cos^2 \varphi \sin \varphi$ ; 2 — кривая  $\sin^2 \varphi \cos \varphi$ .

гателей, которая во многих случаях нерациональна в техническом отношении из-за большого дополнительного расхода активной энергии. Вопрос о рациональности синхронизации асинхронных двигателей поэтому неоднократно был предметом дискуссии в технической печати.

Надбавка за низкий  $\cos \varphi$  уменьшается и в том случае, когда увеличивается расход активной энергии, а реактивная остается постоянной.

Предположим, что активная энергия получила небольшое приращение  $\Delta A_a$ , вследствие чего общая сумма оплаты увеличилась на  $\Delta M$ . Принимая  $A_r = \text{const}$  и дифференцируя выражение (2) по  $A_a$ , получим:

$$\Delta M = \Delta A_a \cdot \frac{dM}{dA_a} = \Delta A_a \times \times \left[ p + kp(0,75 - \cos \varphi) - k(M_o + pA_a) \cdot \frac{d(\cos \varphi)}{dA_a} \right], \quad (6)$$

но из (1) следует

$$\frac{d(\cos \varphi)}{dA_a} = \frac{A_r^2}{(A_a^2 + A_r^2)^{3/2}} = \frac{\sin^2 \varphi \cos \varphi}{A_a},$$

поэтому

$$\Delta M = \Delta A_a \cdot p [1 + k(0,75 - \cos \varphi) - k \sin^2 \varphi \cos \varphi \left(1 + \frac{M_o}{pA_a}\right)]. \quad (7)$$

Кривая 2 рис. 2 представляет величину в скобках формулы (7) при  $\frac{M_o}{pA_a} = 0,6$ . Почти на всем диапазоне  $\cos \varphi$  от 0,4 до 0,75 эта величина является отрицательной, т. е. увеличение расхода активной энергии дает экономию в суммарной плате за энергию! И наоборот, если предприятие сэкономит активную энергию без изменения реактивной (например, на электросварке), плата за электроэнергию, как правило, возрастет.

Приведем пример. Для расчетного участка известно

$A_a = 100000 \text{ квтч}$ ;  $A_r = 102000 \text{ кварч}$ ;  $\cos \varphi = 0,70$ ;

$\sin \varphi = 0,714$ ;  $p = 0,065$ ;  $M_o = 3900 \text{ руб.}$ ;

$M_o/pA_a = 0,6$ .

Общая плата за энергию равна

$$M = 3900 + 0,065 \cdot 100000 + 5 \cdot (0,75 - 0,70) \times \times (3900 + 0,065 \cdot 100000) = 13000 \text{ руб.}$$

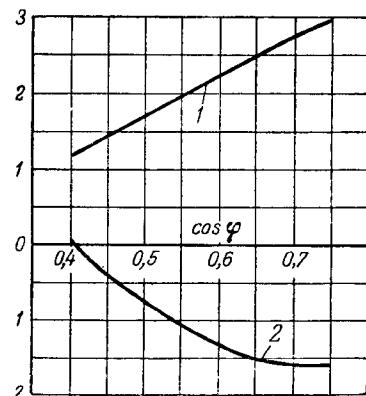


Рис. 2.

Если расход активной энергии увеличится на 2860 квтч, то  $\cos \varphi$  возрастет до 0,71. Тогда суммарная плата составит:

$$M' = 3900 + 0,065 \cdot 102860 + 5 \cdot (0,75 - 0,71) \times \times (3900 + 0,065 \cdot 102860) = 12703 \text{ руб.}$$

т. е. плата уменьшается на 297 руб. Тот же результат быстрее получается по формуле (7) с некоторым округлением (без вычисления нового  $\cos \varphi$ ):

$$\Delta M = 2860 \cdot 0,065 \cdot [1 + 5 \cdot (0,75 - 0,70) - 5 \cdot 0,714^2 \cdot 0,7 \cdot 1,6] = 298 \text{ руб.}$$

Наоборот, экономия 2860 квтч активной энергии приведет к увеличению платы на 298 руб. вследствие снижения  $\cos \varphi$ .

Нет сомнения, что многие потребители уже обнаружили возможность подобной экономии (!), так как для этого достаточно сопоставить оплату до и после рационализации.

Приведенные выводы и примеры показывают, что применяющаяся система надбавок создает экономические стимулы для применения нерациональных методов повышения  $\cos \varphi$  и в сущности для перерасхода активной энергии, что противоречит принципам хозрасчета.

Можно в значительной степени устраниć эти недостатки, изменив шкалу (коэффициент  $k$ ) применительно к кривым рис. 2. Однако, более целесообразно установить непосредственную оплату реактивной энергии по показаниям реактивных счетчиков. В этом случае совершенно исчезают стимулы к перерасходу активной энергии. Цена 1 кварт на реактивной энергии должна устанавливаться дифференцировано по районам, подобно цене на активную энергию, в зависимости от стоимости производства реактивной энергии, величины потерь в сети и других условий энергоснабжения. Вопрос о калькуляции цены реактивной энергии нуждается в углубленной теоретической проработке. Однако, даже ориентировочное установление цены реактивной энергии, например, в 50—60% активной, даст лучшие результаты в смысле правильного стимулирования потребителей, нежели применяющийся тариф, имеющий характер административной меры (штраф), а не научно обоснованного технико-экономического мероприятия.

[10. 4. 1959]



# Трансформаторы электромагнитной энергии

Доктор техн. наук Г. И. БАБАТ  
НИИ МПСС

Трансформаторами электромагнитной энергии называются устройства, которые изменяют концентрацию электромагнитной энергии, а в частном случае изменяют соотношение между током и напряжением. Можно также определить трансформатор, как устройство, которое согласовывает два канала передачи электромагнитной энергии, согласовывает сопротивление потребителя и генератора.

В конструкциях трансформаторов электромагнитных колебаний наблюдается огромное разнообразие. Принцип конструкции электромагнитного трансформатора зависит в первую очередь от отношения его размеров  $l$  к длине трансформируемой электромагнитной волны  $\lambda$ .

В современной промышленности и для научных исследований применяются электромагнитные колебания разнообразнейших частот. Используемый в настоящее время диапазон простирается от токов, период которых больше 1 сек (частота — доли герца) и до гамма-лучей с частотой  $10^{22}$  Гц.

Для любого электромагнитного трансформатора справедливо соотношение

$$Pf^2 = E^2 \left( \frac{l}{\lambda} \right)^3 \cdot 10^{18} = H^2 \left( \frac{l}{\lambda} \right)^3 \cdot 1,4 \cdot 10^{22}. \quad (1)$$

В этой формуле  $P$  — колебательная мощность трансформатора — произведение тока в амперах на напряжение в вольтах произведение запаса электромагнитной энергии в трансформаторе на частоту колебаний. Буквой  $E$  обозначена напряженность электрического поля в трансформаторе в вольтах на сантиметр,  $H$  — напряженность магнитного поля в амперах на сантиметр.

Известно, что запас энергии в единице объема электрического поля равен  $\frac{E^2 \epsilon}{2}$ , а магнитного  $\frac{H^2 \mu}{2}$ .

Если считать, что  $E$  и  $H$  являются средними напряженностями поля в конструкции, а  $l$  — ее средним геометрическим размером, то полный запас энергии в данной конструкции будет:

$$\frac{E^2 \epsilon}{2} l^3 \text{ или } \frac{H^2 \mu}{2} l^3.$$

Делается попытка систематизировать различные конструкции трансформаторов электромагнитной энергии, в зависимости от отношения их геометрических размеров к длине трансформируемой электромагнитной волны.

Мощность равна произведению запаса энергии на частоту ее колебаний

$$P = \frac{E^2 \epsilon}{2} l^3 f = \frac{H^2 \mu}{2} l^3 f.$$

Если умножить это выражение на  $f^2$  и учесть, что  $\lambda = \frac{c}{f}$ , то при  $\epsilon = \epsilon_0$  и  $\mu = \mu_0$  получим формулу (1).

Произведение мощности на квадрат частоты можно назвать *частотно-энергетическим критерием* трансформатора<sup>1</sup>. Чем больше мощность и частота электромагнитных колебаний, тем больше отношение размеров трансформатора к длине электромагнитной волны. Поэтому отношение  $\frac{l}{\lambda}$  или произведение  $Pf^2$  являются удобным признаком для классификации всех возможных трансформаторов электромагнитных колебаний. По этому принципу и построена таблица. В нижней части таблицы находятся катушки со стальными сердечниками. Размеры этих конструкций во много раз меньше, нежели длины преобразуемых ими волн. В верхней части таблицы находятся отражатели и преломители — трансформаторы видимого света: линзы, зеркала, размеры которых во много раз превышают длины волн. Как известно, свет — это электромагнитные колебания с частотой порядка  $10^{14}$  Гц, электромагнитные волны длиной в десятые доли микрона. Примеры трансформаторов световых колебаний — телескоп и микроскоп.

Телескоп воспринимает световой поток на поверхность своего объектива (зеркала или линзы) и через окуляр сводит этот поток на маленькую площадь: на фотопластинку или зрачок глаза. Телескоп — это трансформатор, увеличивающий концентрацию светового потока. В больших телескопах поперечник зеркала в сотни раз больше поперечника зрачка глаза. Коэффициент трансформации (увеличение плотности светового потока) достигает сотен тысяч.

<sup>1</sup> Подробнее о частотно-энергетическом критерии см. Г. И. Бабат. Безэлектродные разряды. ВЭП, № 2, 1942. Вывод соотношения между геометрическими размерами, мощностью и частотой дан также в книге: Г. И. Бабат. Индукционный нагрев металлов, 1946.

Микроскоп уменьшает концентрацию светового потока. Сильный световой поток направляется на изучаемый объект. Прошедший насквозь свет (при изучении прозрачных объектов: срезов тканей, бактерий и т. д.) или отраженный свет (при изучении непрозрачных объектов как металлы и некоторые минералы) воспринимается объективом микроскопа. Затем объектив и окуляр микроскопа расширяют этот световой поток. На сетчатке глаза рисуется увеличенное изображение. Таким же трансформатором, уменьшающим концентрацию светового потока и увеличивающим его размеры, является и кинопроекционный аппарат. Пучок света, прошедший через маленький кадр, распределяется по большому экрану.

Между катушками и зеркалами лежит область антенн, труб, полых колебательных контуров. Конструкции в разных областях таблицы трансформаторов на первый взгляд не имеют ничего общего. В разных частях спектра электромагнитных колебаний установились свои общие понятия, свои методы расчета, своя терминология. Оптики говорят о показателях преломления, о фокусных расстояниях. Учение о теплоте начинается с понятий о температуре, теплоемкости, теплопроводности. В электроэнергетике основные понятия — заряды, токи, напряжения, активные и реактивные сопротивления. Инженеры, которые работают с токами низкой частоты (50 гц), редко вспоминают об их волновой природе. Им всегда приходится иметь дело с очень малым, очень коротким отрезком электромагнитной волны.

Для измерения количества энергии, ее напряженности, концентрации в разных областях, имеются свои единицы. Электрики пользуются джоулями и ваттами, теплотехники — калориями, светотехники — люменами, люксами, стильбами.

В прежние годы существовал разрыв, пропасть между оптикой и электроэнергетикой. Не так давно началось освоение области сантиметровых волн. Эту область изучают, пользуясь представлениями из разных смежных областей. Частично здесь принята терминология, обычная для электротехники самых низких частот. Применяются здесь и понятия, связанные с теплом и светом. Наконец, для явлений из области сантиметровых волн возник ряд совершенно новых специфических терминов.

Свыше 50 лет тому назад проф. П. Н. Лебедев впервые изучил сантиметровые и миллиметровые волны. Техническое освоение области сантиметровых волн практически развились лишь в годы Великой Отечественной войны. Ныне эта область электромагнитного спектра имеет огромную научную и техническую значимость. Вся радиолокация основана на волнах этого диапазона. Эти волны важны в ядерной технике, для промышленного нагрева и для многих других важных применений. Многие явления из этой области заставляют по-новому пересмотреть старые привычные понятия из оптики и электроэнергетики.

Существует множество практических конструкций трансформаторов, которые прекрасно иллюстрируют тесное переплетение технических средств оптики и электротехники. При помощи петли связи передают энергию в волновод. Петля явно принадлежит к семейству «катушечных» конструкций, а волновод — это система с распределенными постоянными. Волновод этот в свою очередь сопрягается с зеркалом-излучателем, которое относится уже всецело к оптике. Многие электротехнические конструкции в одном своем измерении значительно больше длины волны, а в другом — значительно меньше. Таковы длинные линии. В разных измерениях они подчиняются разным законам.

Из всякой части таблицы можно перейти в любую другую постепенным плавным изменениям конструктивных особенностей. Постепенное накопление мелких количественных изменений приводит к изменению качества. Зеркало, предназначеннное для трансформации световых лучей, — это гладкая, хорошо отполированная поверхность. Допустимые неровности поверхности зеркала — это доли длины отражаемой волны. Для световых лучей точность полировки поверхности зеркала должна измеряться сотыми долями микрона. Длина и ширина самых маленьких зеркал, применяемых в световой оптике, в тысячи раз превышает длины отражаемых волн. В оптических зеркалах для лучей видимого света характерно то, что неровности поверхности, как правило, не превышают миллионных долей от размеров самой поверхности. А теперь рассмотрим ряд зеркал, предназначенных для все более длинных электромагнитных волн. Для сантиметровых волн поверхность зеркала может иметь миллиметровые неровности. Для этих волн зеркало можно сделать из грубо обработанного металлического листа или даже из листа фанеры, покрытого проводящей краской (из металлического порошка). Подобная конструкция уже не может зеркально отражать световые лучи, а будет их рассеивать во все стороны (диффузно отражать). Таким образом, поверхность, являясь зеркальной для сантиметровых волн, может в то же время быть матовой для волн световых.

Оптические устройства для сантиметровых волн обычно превышают своими размерами длину волны только в десятки раз. Допустимые неровности отражающей или преломляющей поверхности только в сотни раз меньше ее попечника. При переходе от оптики видимого света к оптике сантиметровых волн произошло изменение качества. Для изготовления зеркала применяются иные материалы, иные приемы и методы обработки, иные допуски точности, иные и правила эксплоатации. Для дециметровых электромагнитных волн в качестве зеркал уже редко применяют сплошные проводящие поверхности; берут поверхности, составленные из отдельных тонких металлических полосок или проволок. В подобных конструкциях затраты металла малы, и потери при отражении остаются невеликими. Чтобы волна не проходила сквозь решетчатую

$$E=1000 \text{ в/см}$$

$$H=8 \text{ а/см}$$

# ТРАНСФОРМАТОРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ



Лучевые трансформаторы, отражатели-рефлекторы и преломители - рефракторы

Колебательные контуры с распределенной емкостью и индуктивностью. Переменные поля

Колебательные контуры с разделенными электрическими и магнитными полями

Апериодические системы: Запас энергии меньше потребления за период

Преобразование концентраций

поверхность, достаточно сделать зазоры между отдельными проводниками меньше четверти длины волны. И чтобы коэффициент отражения был близок к единице, достаточно, чтобы ширина каждого проводника была меньше одной десятой расстояния между ними.

Потоки дециметровых и метровых волн трансформируются сетками из проводников. При направленной радиосвязи одна сетка—передающая антenna — излучает волны; другая, подобная же сетка — приемная антenna — воспринимает электромагнитный луч.

Чем длиннее электромагнитная волна, тем больше могут быть расстояния между отдельными проводниками и тем больше может быть и отношение расстояния между проводниками к толщине самих проводников без того, чтобы ухудшить коэффициент отражения. Отражение электромагнитной волны происходит вследствие того, что волна наводит быстропеременные токи в проводниках. Чем длиннее волна и, следовательно, ниже частота наведенных токов, тем меньше потери в проводниках при отражении. Часто нет необходимости применять для отражения сетку. Достаточно, если зеркало обладает электропроводностью в одном направлении — в направлении действия электрических сил. В перпендикулярном направлении, где действуют магнитные силы, электропроводность не нужна. Зеркала для метровых волн обычно выполняются уже не из сетки, а из набора тонких линейных проводников.

Произошло еще одно качественное изменение при переходе от сантиметровых волн к метровым. И терминология в этой области уже применяется иная. Набор токонесущих проводников, направляющих электромагнитную волну, уже чаще называют не зеркалом, а системой вибраторов. Изменяя длину каждого вибратора, можно влиять на циркулирующий в нем ток. В оптике и световых, и сантиметровых волнах, чтобы придать требуемое направление электромагнитному лучу, обычно видоизменяют кривизну поверхности зеркала. Для метровых волн вместо изменения кривизны поверхности, по которой расположены вибраторы, меняют настройку отдельных вибраторов, меняют фазу и силу тока в них. Иногда луч направляют перпендикулярно поверхности, по которой расположены вибраторы, а иногда электромагнитный луч направляется вдоль этой поверхности. В этих конструкциях уже не осталось ничего общего с зеркалами для лучей видимого света.

Для волн длиной в десятки метров направленные антенны составляются из проволок диаметром в несколько миллиметров, отстоящих одна от другой на несколько метров. Световые лучи проходят через такую конструкцию, теряя лишь тысячные доли своей интенсивности. Для световых лучей эта конструкция совершенно прозрачна. А радиоволны можно отразить на 90%.

Когда длина электромагнитной волны становится больше размеров передающей и воспринимающей цепей, то излучение электромагнитной

энергии резко уменьшается. Передача электромагнитной энергии происходит только индукцией. Расстояние между передающей и воспринимающей цепями должно быть меньше размеров самих поверхностей. В пространстве вблизи токонесущих проводников почти не образуется уже свободных электромагнитных волн.

Передача энергии электромагнитной индукцией происходит с меньшими потерями (при данной затрате меди), если применять проводники не прямолинейные, а свернутые в спирали. Так, накопление количественных изменений снова привело к изменению качества. В передаче энергии между двумя спиральными участками только магнитный поток. Электрические же силы в этой конструкции не передают энергию.

При каждом изменении отношения  $\frac{l}{\lambda}$  происходит изменение конструктивных форм трансформаторов электромагнитной энергии. Но в области  $\frac{l}{\lambda}$ , близких к единице (немного больших и немного меньших), переход от одной конструкции к другой наиболее резкий, наиболее разительный. Объектив телескопа может быть в тысячи раз больше объектива микроскопа. Во столько же раз, следовательно, разнится у этих приборов и отношение  $\frac{l}{\lambda}$ . Для телескопа оно может быть больше  $10^6$ , а для микроскопа меньше  $10^3$ . Но принципиальной разницы в конструкциях объективов телескопа и микроскопа нет.

Когда же совершается переход от трансформатора с отношением  $\frac{l}{\lambda} = 10$  к трансформатору с отношением  $\frac{l}{\lambda} = 0,1$  (соотношение  $\frac{l}{\lambda}$  меняется в сто раз, т. е. меньше, чем при переходе от телескопа к микроскопу), то разница в конструкциях разительная.

Когда  $l > \lambda$ , то происходит трансформация лучей, меняются концентрации, а когда  $\lambda > l$ , то при помощи трансформатора меняются соотношения между токами и напряжениями. Для  $l > \lambda$  применяются отражатели и преломители, а для  $l < \lambda$  — катушечные трансформаторы. Катушечные трансформаторы захватывают область от  $\frac{l}{\lambda} = 0,1$  до  $\frac{l}{\lambda} = 10^{-9}$ . При высоких частотах и больших мощностях катушечные трансформаторы строятся без стального сердечника. Мощный быстропеременный поток выгодно замыкать по воздуху. Введение стального сердечника в подобный трансформатор только ухудшит его к. п. д. При дальнейшем снижении величины трансформируемой мощности и частоты тока отношение размера трансформатора к длине электромагнитной волны становится меньше десятитысячной. При еще меньших соотношениях  $\frac{l}{\lambda}$  становится выгодным замыкать переменный магнитный поток через расслоенный стальной сердечник. И, наконец, при

самых малых значениях  $\frac{l}{\lambda}$  можно применять массивные нерасслоенные стальные сердечники.

Так, шаг за шагом от одного конструктивного изменения к другому мы проследили путь от оптических приборов—отражателей и преломителей к катушечным трансформаторам со стальными сердечниками.

Многие оптические системы были созданы значительно раньше катушечных. А промежуточная область между оптикой и катушками—колебательные контуры в виде пустых банок, каналы для энергии в виде труб-волноводов, многорезонаторные генераторы, полигональные индукторы—это все разработки последних десятилетий.

Основным принципом построения таблицы является то, что все конструкции расположены по признаку величины их отношения  $\frac{l}{\lambda}$ , или, что то же самое, по величине произведения мощности на квадрат частоты

Таблица трансформаторов ограничена с двух сторон. Из меди и стали нельзя изготовить трансформатора с размерами меньше  $10^{-9}$  длины волны. Конструкция меньших размеров не может производить преобразования энергии, в подобной конструкции энергия переменного тока будет переходить в тепло.

Для волн более коротких, нежели световые, пока не известны устройства, позволяющие сфокусировать поток лучей, построить изображение.

Среднюю часть таблицы вблизи отношения  $\frac{l}{\lambda} = 1$  пересекает вертикальная черта. В этой области различают два типа конструкций: откры-

тые или, как их чаще называют, излучающие системы и системы закрытые, неизлучающие.

При отношениях  $\frac{l}{\lambda} < 10^{-3}$  могут существовать только закрытые неизлучающие системы. И, наоборот, при  $\frac{l}{\lambda} > 10^3$  неизвестны конструкции, к которым был бы приложен термин „закрытые неизлучающие“.

Характерно также, что с изменением отношения  $\frac{l}{\lambda}$  меняется также отношение запаса электромагнитной энергии в силовом поле трансформатора к энергии, передаваемой трансформатором нагрузке за один полупериод.

В катушечных конструкциях со стальным сердечником передаваемая трансформатором энергия обычно больше запасаемой. Эти трансформаторы имеют коэффициент мощности обычно больше 0,7. Катушечные трансформаторы без стального сердечника часто работают с коэффициентом мощности, равным нескольким десятым или даже сотым. В полых колебательных контурах запас энергии в электромагнитном поле в сотни, а иногда и в тысячи раз превышает потребление энергии за период.

На нашей таблице представлена лишь ничтожная часть существующих трансформаторов электромагнитной энергии. Возникают все новые и новые важные и значительные применения электромагнитной энергии разных частот. Для этих применений создаются и новые конструкции трансформаторов электромагнитной энергии.

[20. 2. 1950]



## К определению угла $\theta$ в явнополюсных синхронных машинах

Кандидат техн. наук С. Д. ЛЕВИНТОВ

Свердловский филиал ВИЭСХ

В практике расчета и эксплоатации синхронных машин часто совершенно необходимым является знание угла  $\theta$  при том или ином режиме.

Между тем, расчет угла  $\theta$  для машин с явновыраженными полюсами представляет значительные технические трудности. Использование для этой цели уравнения угловой характеристики приводит к громоздким вычислениям, во избежание которых иногда пренебрегают вторым слагаемым—реактивной мощностью, внося значительную (до 50—60%) погрешность в расчет. Ниже излагается простой способ расчета угла  $\theta$ , использующий минимум данных о режиме работы машины, всегда имеющихся в эксплоатации.

Любой режим синхронного генератора (а равно и двигателя) может быть охарактеризован величиной полного сопротивления нагрузки

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

где  $r$  и  $x$ —активное и реактивное сопротивления нагрузки;  $U$ —напряжение обмотки статора машины;  $I$ —ток машины. (Все величины выражены в относительных единицах).

В основу расчета положены следующие известные соотношения, вытекающие из векторной диаграммы явнополюсной синхронной машины (рис. 1).

1) Выражение для полного тока через продольную и попечерную составляющие

$$I^2 = \left(\frac{U}{z}\right)^2 = I_d^2 + I_q^2 = \left(\frac{E_d - U \cos \theta}{x_d}\right)^2 + \left(\frac{U \sin \theta}{x_q}\right)^2, \quad (2)$$

где  $x_d$  и  $x_q$ —продольное и попечерное синхронное реактивное сопротивление машины;

$E_d$ —э. д. с. холостого хода.

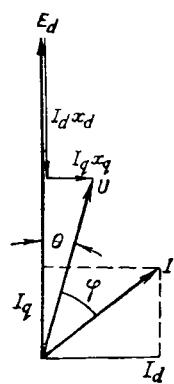


Рис. 1.

Предлагается номографический способ определения угла  $\theta$  по величине тока и фазе ( $I$  и  $\varphi$ ) при данном  $z$ . В основу вывода положена векторная диаграмма синхронной машины при установившемся режиме.

2) Выражение электромагнитной мощности, которая при пренебрежении активным сопротивлением статора равна мощности, отдаваемой генератором в сеть (или получаемой двигателем из сети)

$$P = \frac{UE_d}{x_d} \sin \theta + \frac{U^2}{2} \left( \frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta = \left( \frac{U}{z} \right)^2 r. \quad (3)$$

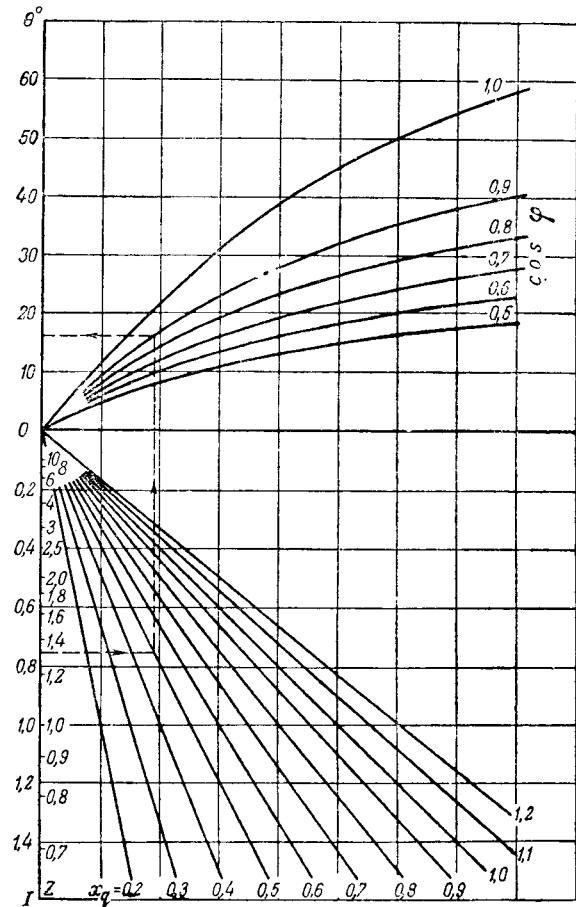


Рис. 2.

Преобразуя соотношения (2) и (3), получаем два уравнения

$$\frac{E_d}{U} = \cos \theta \pm \sqrt{\frac{x_d^2}{z^2} - \left(\frac{x_d}{x_q}\right)^2 \sin^2 \theta}, \quad (2a)$$

$$\frac{E_d}{U} = \frac{rx_d}{z^2} \cdot \frac{1}{\sin \theta} - \left(\frac{x_d}{x_q} - 1\right) \cos \theta. \quad (3a)$$

Исключение из них величины  $\frac{E_d}{U}$  даст биквадратное уравнение относительно величины  $\frac{1}{\sin \theta}$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sin^4 \theta} \left(\frac{r}{z}\right)^4 - \frac{2}{\sin^3 \theta} \left[ \left(\frac{r}{z}\right)^2 + \left(\frac{r}{x_q}\right)^2 \right] + \\ + \left\{ \left[ 1 - \left(\frac{z}{x_q}\right)^2 \right]^2 + 4 \left(\frac{r}{x_q}\right)^2 \right\} = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

решение которого будет

$$\frac{1}{\sin \theta} = \pm \frac{z}{r} \sqrt{1 + \frac{z^2}{x_q^2} \pm 2 \frac{z}{x_q}}. \quad (5)$$

Четыре значения  $\theta$ , получаемые по этой формуле, соответствуют величинам  $\theta$  в генераторном и двигательном режимах на устойчивых и неустойчивых ветвях угловой характеристики.

Устойчивому значению угла  $\theta$  соответствует знак  $+$  перед третьим слагаемым подкоренного выражения, неустойчивому  $-$  (минус).

Помня, что  $\frac{r}{z} = \cos \varphi$ , а  $\frac{x}{z} = \sin \varphi$ , имеем:

$$\theta = \arcsin \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + \frac{z^2}{x_q^2} + 2 \left(\frac{z}{x_q}\right) \sin \varphi}}. \quad (5a)$$

Если  $U = U_a = \text{const}$ , то

$$\frac{1}{z} = I \quad (6)$$

и

$$\theta = \arcsin \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + \frac{1}{I^2 x_q^2} + 2 \frac{1}{Ix_q} \sin \varphi}}. \quad (5b)$$

Уравнения (5a) и (5b) легко номографируются в двойной системе помеченных кривых. Такая номограмма представлена на рис. 2. В нижней части оси ординат отмечены значения как  $z$ , так и  $I$ .

Использование данной номограммы позволяет легко найти значения углов  $\theta$  явнополюсных машин при любом режиме работы.

118. 1. 1950]



## Высокочастотная установка с колебательным контуром полого типа

Инж. В. В. УСТИНОВ и инж. М. Г. КОГАН

Москва

До последнего времени для нагрева диэлектриков в высокочастотном электрическом поле применялись генераторы с колебательными контурами, имеющими со средоточенные параметры [Л. 1]. Однако, использование таких контуров в случаях, когда фактор потерь нагреваемого диэлектрика очень низок, становится затруднительным. Поскольку при этом для получения большой плотности энергии необходимо повысить частоту до нескольких десятков мегагерц, оказывается весьма целесообразным применение полых контуров, в частности, тороидальных эндовибраторов.

По сравнению с другими формами поверхности (шар, цилиндр, параллелепипед) тороидальный контур обеспечивает наибольшее удобство регулирования режима генератора и при тех же габаритах имеет минимальную величину собственной основной частоты. Это позволяет получить во всем объеме технологической каме-

описывается опыт применения генератора с колебательным контуром полого типа для промышленного нагрева диэлектриков с малым фактором потерь. Установка была использована для предварительного подогрева пресспорошков при прессовании изделий из термореактивных пластмасс. Применение контура полого типа позволило получить рабочую частоту до 60 мегц при относительно высоком к. п. д. генератора.

ры (играющей роль контурной емкости в квазистатическом смысле) практически однородное электрическое поле при относительно небольших размерах контура.

Добротность тороидального эндовибратора очень велика. В случае прямоугольного сечения она равна [Л. 2]

$$Q = \frac{4\pi}{c} \sqrt{\frac{f}{\mu}} \frac{H \ln \frac{D}{d}}{\left( \frac{2H}{d} + \frac{2H}{D} + 2 \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2} \right)},$$

где  $f$  — частота;  
 $\mu$  — магнитная проницаемость стенок контура;  
 $\gamma$  — проводимость материала стенок контура;  
 $D$  и  $d$  — наружный и внутренний диаметры полости;  
 $H$  — высота полости;  
 $h$  — расстояние между пластинами конденсатора.

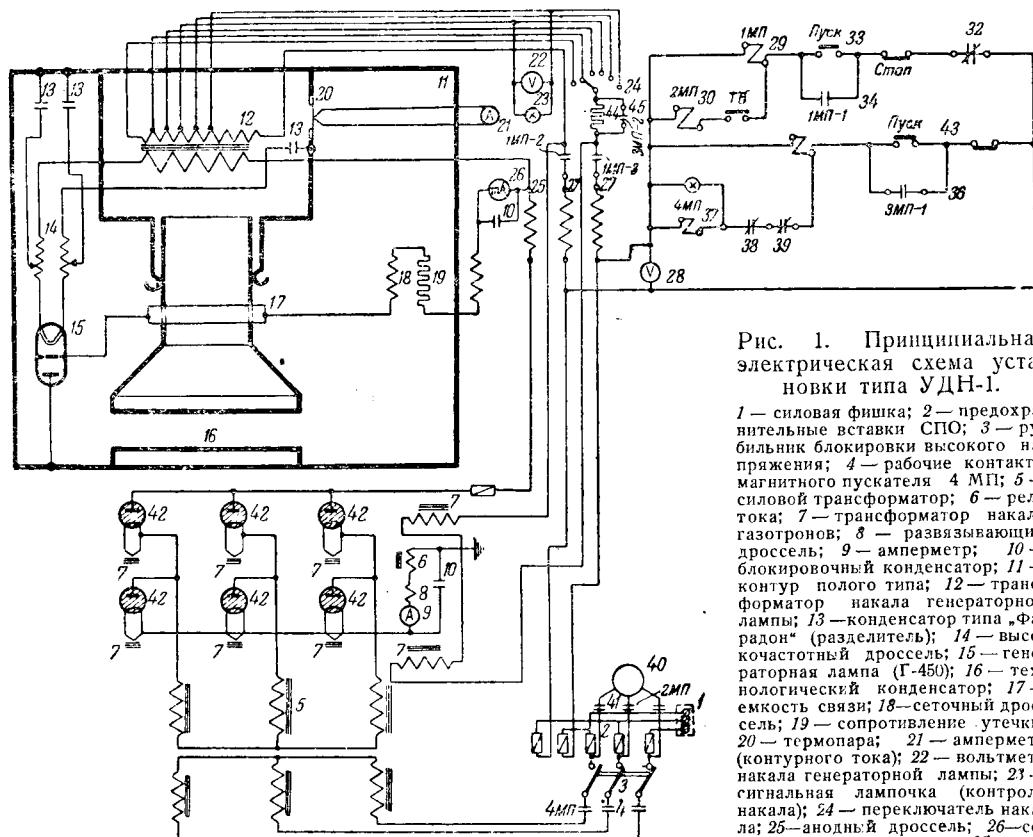


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема установки типа УДН-1.

1 — силовая фишка; 2 — предохранительные вставки СПО; 3 — рубильник блокировки высокого напряжения; 4 — рабочие контакты магнитного пускателя 4 МП; 5 — силовой трансформатор; 6 — реле тока; 7 — трансформатор накала газотронов; 8 — развязывающий дроссель; 9 — амперметр; 10 — блокировочный конденсатор; 11 — контур полого типа; 12 — трансформатор накала генераторной лампы; 13 — конденсатор типа «Фарадон» (разделитель); 14 — высокочастотный дроссель; 15 — генераторная лампа (Г-450); 16 — технологический конденсатор; 17 — емкость связи; 18 — сеточный дроссель; 19 — сопротивление утечки; 20 — термопара; 21 — амперметр (контурного тока); 22 — вольтметр накала генераторной лампы; 23 — сигнальная лампочка (контроль накала); 24 — переключатель накала; 25 — анодный дроссель; 26 — сеточный миллиамперметр; 27 — защитный дроссель сеточного амперметра.

При  $D=H=100$  см;  $d=50$  см;  $h=10$  см;  $\mu=1$  и  $\gamma=32,3 \cdot 10^{16}$  абс. ед. (алюминий)

$$Q = 16 \cdot 10^3.$$

Длина волны приближенно определяется по формуле [Л. 3]

$$\lambda = \pi d \sqrt{\frac{H}{2h} \ln \frac{D}{d}};$$

в данном случае  $\lambda = 3,9$  м.

Практически вследствие влияния межэлектродных емкостей лампы, которая также является частью колебательного контура, частота генерации, а также добротность оказывается значительно ниже расчетных величин. Тем не менее в большинстве случаев промышленного нагрева диэлектриков потери в полом контуре настолько незначительны в сравнении с полезной мощностью и потерями на аноде лампы, что ими можно пренебречь.

Установка для диэлектрического нагрева типа УДН-1 с колебательным контуром полого типа (рис. 1, 2) была изготовлена в конце 1948 г. и с того времени находится в эксплуатации на одном из заводов, где применяется для подогрева пластмасс.

**Электрическая схема генератора.** Генератор выполнен на лампе Г-450 по схеме с заземленным анодом. Это позволяет использовать в вы-

примителе только три накальных трансформатора с высоковольтной изоляцией (вместо обычных шести) и избежнуть применения стендов водяного охлаждения анода лампы. Напряжение возбуждения подается на сетку с конденсатором связи, обкладками которого служит часть внутренней цилиндрической поверхности контура и окружающее ее кольцо. Таким образом, в отличие от обычных схем здесь используется распределенная емкость «индуктивной части» полости. Фазовые соотношения соблюдаются благодаря применению специального переменного дросселя в цепи катода лампы. Регулировка режима осуществляется перемещением в вертикальном направлении верхней пластины технологической камеры (контурного «конденсатора») и обкладки конденсатора связи. В первом случае изменяется частота генерации и напряженность поля (следовательно, мощность) в нагреваемом диэлектрике. Во втором случае изменяется, главным образом, напряжение возбуждения. Практически при работе регулируется в основном только напряженность электрического поля (перемещением верхней пластины камеры). Трансформатор накала генераторной лампы выполняется с высоковольтной изоляцией. Напряжение накала регулируется переключением витков первичной обмотки трансформатора. Выпрямитель собран по трехфазной двухполупериодной схеме на газотронах ВГ-237.

**Управление, контроль и блокировка.** При отсутствии генерации на катод лампы подается пониженное напряжение. С включением высокого напряжения одновременно шунтируется добавочное сопротивление в цепи катода, и напряжение накала возрастает до номинальной величины (с 10 до 16 в). Двигатель вентилятора, обдувающего радиатор системы охлаждения и горловины газотронов, а также электронасос включаются одновременно с накалом. Контроль за работой установки осуществляется с помощью измерительных приборов и сигнальных ламп.

В схеме имеются два вольтметра для измерения напряжения питающей сети и накала лампы (второй вольтметр подключен к специальной обмотке трансформатора накала) и два амперметра для измерения анодного и сеточного токов, причем амперметр в цепи утечки сетки находится под высоким потенциалом катода.

Индикатором контурного тока служит амперметр, подключенный к щели, прорезанной в стенке внутренней трубы. Падение напряжения на краях этой щели пропорционально току.

В схеме предусмотрена невозможность включения высокого напряжения без предварительноного включения накала. Имеется также блокировка на случай прекращения циркуляции воды.

**Конструкция установки.** Установка помещена в шкаф с габаритными размерами  $1000 \times 600 \times 1800$  мм<sup>3</sup>. Верхняя его часть, облицованная листовым алюминием, служит колебательным контуром. Нижняя часть, облицованная декапированной сталью, используется для размещения выпрямителя силового трансформатора и системы охлаждения.

Колебательный контур образован двумя замкнутыми поверхностями. Наружная поверхность представляет собой параллелепипед. Его боковыми и верхней стенками служит облицовка, а нижней — перегородка, отделяющая контурную часть от силовой части установки. Внутренняя поверхность состоит из двух труб: верхней — неподвижной и нижней — подвижной. Последняя имеет специальную насадку с дном, выполненным из латунной сетки. Электрическое соединение обеих частей внутренней поверхности осуществляется контактами из гартованного томпака. Часть полости между дном контура и дном подвижной части внутренней поверхности образует плоский конденсатор и является технологической камерой. Внутренняя труба одновременно служит и для отвода паров, выделяющихся при нагреве диэлектриков. Внутри полости находится генераторная лампа (ее бачок укреплен в нижней части установки). Регулируемые дроссели и конденсатор связи также размещены внутри полости контура. Трансформатор накала смонтирован в верхней части внутренней трубы и поэтому изолирован от электромагнитного поля. В нижней части установки находятся контакторы и реле схемы управления, выпрямитель ( выполненный в виде отдельного узла), электронасос, вентилятор и радиатор системы водяного охлаждения анода лампы. Силовой трансформатор на

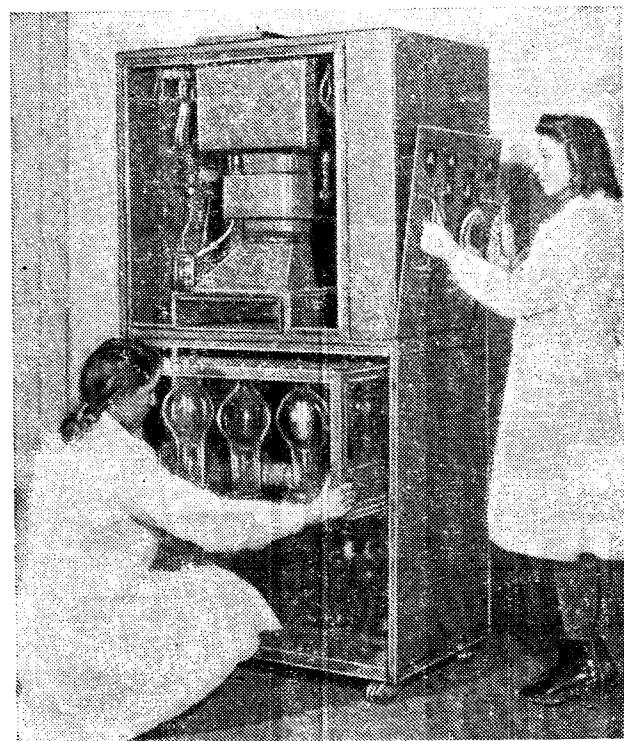


Рис. 2. Внешний вид установки УДН-1.

15 ква имеет напряжение вторичной обмотки 7,2 кв.

Все приборы, пусковые кнопки и сигнальные лампочки вынесены на пульт управления. Там же находятся две рукоятки: одна — для регулирования напряжения накала и другая — для перемещения верхней пластины конденсатора (т. е. регулирования мощности в диэлектрике).

**Эксплоатация установки.** Установка питается от трехфазной сети 220/380 в. Благодаря наличию внутренней системы водяного охлаждения включение в водопроводную сеть не требуется. При использовании установки для нагрева пластмасс [Л. 4], ее помещают в цехе между прессами. Загрузка и выгрузка пресспорошка производятся через окна в боковых стенках контура. Наибольший эффект достигается при прессовании крупных деталей, а также имеющих сложную конфигурацию.

Производительность установки в зависимости от марки порошка составляет от 20 до 50 кг в час, потребляемая мощность 5-6 квт. Практически была получена рабочая частота генератора  $6 \cdot 10^7$  гц.

#### Литература

1. В. И. Калитвянский и В. М. Дегтев. Высокочастотный нагрев пластических масс. Электричество, № 4, 1943.
2. М. Л. Левин. К теории тороидальных эндовибраторов. ЖТФ, т. 16, № 7, 1946.
3. В. Л. Патрушев. Расчет электромагнитного поля эндовибраторов, имеющих форму тел вращения. Известия АН СССР, серия физическая, т. 12, № 6, 1948.
4. В. В. Устинов и М. Г. Коган. Высокочастотный подогрев пластмасс. ИТЭИИ, 1949.

17. 2. 1950

## Старейший русский журнал по распространению научных и технических знаний об электричестве

(1880 — 1950)

Немногим более семидесяти лет прошло с тех пор как электротехника начала приобретать черты, присущие современному представлению о ней.

Истории электротехники в этом смысле сопутствует история издания первых специально электротехнических журналов и в их числе в России старейшего русского электротехнического журнала «Электричество», первый номер которого вышел семьдесят лет тому назад.

Издание журнала «Электричество» было вызвано насущными потребностями молодой, быстро развивающейся отрасли техники. В ту пору крайне важно было создать открытую трибуну «для всех, которые своими трудами принимают участие в успехах электричества», с целью начать без промедления в периодической печати повседневную научную пропаганду преимуществ внедрения новой отрасли техники — электротехники, с целью привлечь к ней внимание и расчистить путь к завоеванию всеобщего признания и поддержки. Журнал «Электричество» имел большое значение для развития электротехники в России. Воспоминания старейших русских электротехников о том периоде и ознакомление со многими материалами, напечатанными в журнале за ряд лет, позволяют с достаточным основанием сделать вывод о том, что журнал оказал немалое влияние на **правильное формирование и развитие русской электротехнической мысли и воспитание кадров русских электротехников**.

Важную роль в этом сыграло участие в деятельности журнала «Электричество» в первые же месяцы его выпуска выдающихся русских ученых, изобретателей, пионеров мировой электротехники: В. Н. Чиколова, П. Н. Яблочкива, А. Н. Лодыгина, А. М. Хотинского, Ф. А. Пироцкого, Д. А. Лачинова, в дальнейшем представителей более молодого поколения — А. С. Попова, М. О. Доливо-Добровольского и др. Важнейшее значение имело участие крупных физиков того времени — Ф. Ф. Петрушевского, А. Г. Столетова, Н. Г. Егорова, И. И. Боргмана, О. Д. Хвольсона и др.

Все они предвидели большую будущность применений электричества на производстве, на транспорте, в связи, в быту, для военных нужд и т. д.

Это были люди большой инициативы, они обладали широким техническим кругозором. Все

силы и творческие замыслы они отдали делу развития отечественной электротехники и распространению физических знаний. Вклад русских электротехников и физиков в сокровищницу науки и техники имел огромное, мировое значение.

Перед рождавшейся в этот период электротехникой стояло неисчислимое количество труднейших проблем: создание генератора электрической энергии и электрического двигателя, пригодного для производственных процессов укрупняющихся предприятий, передача электроэнергии на расстояние, широкое применение электрического освещения, применение электричества в химическом производстве, в металлургии и т. д. и т. п. Среди этих задач вопросы электрического освещения занимали вначале исключительное место и привлекали одно время наибольшее внимание электротехников.

Наряду с обсуждением в первых выпусках электротехнической печати основных теоретических и инженерных вопросов, приходилось заниматься разъяснением безопасности электричества при правильном его использовании и освещать элементарные, на наш взгляд, вопросы бытовой электротехники, вроде устройства квартирных зонков, электрических будильников и т. п.

В условиях царской России нужно было обладать незаурядным упорством, выносливостью, верой в конечное торжество технического прогресса, безграничной любовью к своему делу, чтобы добиться того, что в 70-х и 80-х годах прошлого века сделали пионеры русской электротехники для объединения русской электротехнической общественности для развития в России электротехники.

Некоторые русские изобретатели, как Яблочкив, Лодыгин, Доливо-Добровольский, были вынуждены после долгих мятарств на родине выезжать для осуществления в широких масштабах своих изобретений в другие страны.

**VI-й отдел РТО и основание журнала «Электричество».** Русское техническое общество (РТО) было основано в 1866 г. Кроме него при Петербургском университете существовало Физико-химическое общество и в Москве — Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии. В этих обществах в те годы рассматривались



Павел Николаевич Яблочков  
один из основателей журнала „Электричество“



Владимир Николаевич Чиколев  
один из основателей и первый редактор журнала  
„Электричество“

и первые проблемы, возникавшие на заре электротехники, в том числе первые изобретения В. Н. Чиколева и П. Н. Яблочкова. Большое и непосредственное внимание проблемам электротехники и молодым русским электротехникам начали уделять не только техники, но и физики.

Однако Московское общество любителей естествознания и Петербургское физико-химическое общество не интересовались в должной мере приложениями электричества. РТО же уделяло в основном внимание строительному делу, механике, технологии химического производства, но не электротехнике.

Вместе с тем интерес к электротехнике в 70-х годах быстро возрастал в разных местах России, не говоря уже о Петербурге и Москве.

В 1879 г. группа членов РТО (П. Н. Яблочков, А. Н. Лодыгин, В. Н. Чиколев, Д. А. Лачинов, Н. П. Булыгин, В. Я. Флоренсов, О. Д. Хвольсон и многие другие) выдвинули предложение о создании в составе РТО специального электротехнического отдела. В это время РТО имело уже пять отделов. 11 января 1880 г. (30.12.1879 г.) учредители VI отдела на своем первом собрании избрали руководство отдела, а на втором собрании 18 (6) февраля 1880 г. В. Н. Чиколевым было зачитано предложение об издании журнала по электротехнике. 10 (27.2) марта 1880 г. состоялось решение VI отдела издавать самостоятельный журнал, посвященный приложениям электричества. «Основные положения журнала, — сказано в протоколе, — прочитанные председателем, были, за некоторыми замечаниями и исправ-

лениями, одобрены и затем проект журнала пропровожден на рассмотрение совета РТО». 19 (7) мая 1880 г. были сообщены утвержденные советом РТО правила издания журнала под названием «Электричество», и собрание VI отдела «единогласно решило приступить к изданию «Электричество» с Июля сего года». Далее, в протоколе этого собрания было записано следующее.

«Председатель отдела, в силу права, предоставленного ему новыми правилами о журнале, объявил собранию, что он избирает редакторами журнала: по телеграфии В. А. Воскресенского; по прочим отделам электротехники пока одного В. Н. Чиколева, возлагая на него и обязанности редактора — исполнителя по общим делам редакции и хозяйственной ее части.

При этом председатель добавил, что он рассчитывает на постоянное содействие в отделах ученом и учебном на г. Лачинова и по гальванопластике на г. Окшевского. Так как средства нового журнала весьма невелики, то председатель заявил от имени гг. Воскресенского и Чиколева, что, на первое полугодие, они отказываются от всякого вознаграждения за труды по редактированию журнала, но что отделу теперь же необходимо утвердить размер гонорара за статьи, помещаемые в журнале».

С целью стимулировать помещение в журнале работ отечественных электротехников гонорар за оригинальные статьи был установлен в 3 раза (а с 1881 г. в 6 раз) выше, чем за переводные статьи.



Дмитрий Александрович Лачинов  
один из основателей и редакторов журнала  
„Электричество“<sup>1</sup>



Александр Николаевич Лодыгин  
один из основателей журнала „Электричество“<sup>2</sup>

«В дополнение к прежде состоявшейся между членами отдела подписке в фонд журнала, была произведена дополнительная подписка, в которой принимали участие новые члены отдела».

В июле 1880 г. вышел первый номер журнала «Электричество». Так было положено начало издания одного из первых в мире специальных электротехнических журналов, старейшего русского электротехнического журнала, который дал возможность «ознакомить русскую инженерную общественность с развитием электротехники у нас и за границей, помещать известия о последних достижениях в области электротехники и, главное, давать широкую информацию о деятельности русских электротехников. Кроме того, журнал дал возможность и самим русским электротехникам помещать свои статьи в журнале и обсуждать на его страницах наиболее интересующие их вопросы»<sup>1</sup>.

**Первый период.** Хотя по формальным условиям ответственными редакторами журнала по должности числились секретари РТО, но фактическими, научными и, как тогда выражались, исполнительными редакторами журнала были выдающиеся деятели русской электротехники: Б. Н. Чиколов, Д. А. Лачинов и др.

В середине 90-х годов и особенно в начале XX века близкое участие в жизни редакции журнала стали принимать представители молодого поколения русских электротехников и физиков:

В. Ф. Миткевич, В. К. Лебединский, А. Л. Гершун и др. Наиболее активную роль в этой новой группе деятелей играл М. А. Шателен, поныне участвующий в работе журнала «Электричество», в качестве автора и члена редакционной коллегии.

В 1905 г., в связи с 25-летием существования журнала «Электричество», в юбилейной статье отмечалось:

«...В редакции нашего журнала, основанного пионерами русской электротехники, постоянно группируется мыслящая и трудящаяся молодежь, увлекаемая все новыми открытиями науки по электричеству и все новыми методами приложений его к жизни. Все дальше идет электротехника, не иссякает в русских людях глубокий и творческий интерес к ней; в этом — будущее журнала «Электричество»<sup>2</sup>.

Еще в самом начале издания в журнале «Электричество» постепенно все большее отражение находили работы русских электротехников. Если в первые годы число их было сравнительно невелико, то позднее, особенно после 1905 г., борьба за насыщение содержания журнала отечественными материалами дала решительные результаты. Начиная с 1906 г. переводные статьи, как правило, уступают место оригинальным работам русских электротехников.

В конце 1906 г. на смену единоличному редактированию журнала было введено коллегиальное руководство. VI отдел РТО избрал Редакционный комитет.

<sup>1</sup> М. А. Шателен. Русские электротехники второй половины XIX века, стр. 318—319. Госэнергоиздат, 1949.

<sup>2</sup> Электричество, № 1, 1905.

№ 1

1880.

ІЮЛЬ

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЖУРНАЛЪ  
ИЗДАВАЕМЫЙ VI ОТДѢЛОМЪ

ИМПЕРАТОРСКАГО РУССКАГО ТЕХНИЧЕСКАГО ОБЩЕСТВА

С.-ПЕТЕРБУРГЪ. ПАНТЕЛЕЙМОНСКАЯ. № 2

Журналъ выходитъ два раза въ мѣсяцъ. тетрадями, не  
менѣе двухъ печатныхъ листовъ.

Содержание.

Ось Редакции.

Отчетъ о заседаніяхъ VI отдѣла Имп. Русск. Техн. Общ.

Краткій отчетъ о первой электро-технической конференціи въ  
С.-Петербургѣ.

О разработкѣ, добываемыхъ научными изысканіями въ  
коэлектрическому конференціи. I. Гарнега.

Техн.-электрическая дела. Клещи.

Электро-механическая работа.

Электрическія мѣстныя дороги. Г. Чижевара.

Научное развитие изобретеній соченіе. Е. Брегета.

Теорія генератора передача телеграфіи. Дунлокъ Спарксъ.

Линии телеграфа.

Батареи.

Радио-электрикъ.

Зарядъ газа на Лондонскихъ узинахъ. Электрическое освещеніе. Освещеніе суперъ. Наружной опера. Телефоніи  
"Neue Freie Presse" въ здании въ Берлинѣ. Хоро французскіе изысканія въ органической электр. освещеніи  
для оборони пристенок. Недавно механической работы на сельскомъ хозяйстве. Освещеніе въ телефоніяхъ. Радио-трансмісіи  
съединеніемъ электротехническое общество въ Берлинѣ.

Справочная сѣдѣнія по электротехнике (по избраннымъ).

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Въ типографіи К. К. Вильгельма. Академія наукъ. № 10.

1880.

В № 1, 1907 г. редакционный комитет обратился к читателям журнала со следующими словами, выделенными в обращении курсивом.

«...Редакция надеется в русских электротехниках видеть не только своих читателей, но и сотрудников. Лишь при непрерывной связи с ними, непрерывной помощи с их стороны в виде сообщений о новых потребностях русской жизни, в виде указаний на замеченные недочеты и желательные изменения Редакция будет в состоянии выполнить свою нелегкую задачу».

Призывая читателей к активному участию в журнале, редакция в этом обращении указывает на социально-политические причины имевшей место пассивности многих русских электротехников.

«...Русский техник изолирован в профессиональном<sup>3</sup> отношении; он часто на сотни верст кругом лишен всяких образцов и не имеет с кем обменяться мыслями; ему неделами, если не месяцами, приходится ждать книги или выписанного аппарата, между тем обстановка, условия и требования работы никогда не допускают никакой рутины, наоборот, всегда предполагают практическую выучку, теоретическую подготовку, знание материала и умение всесторонне охватить не только техническую, но и экономическую сторону взятого на себя дела...».

«...прежде читатель, полный недоверия к своим и чужим силам и к самой возможности продуктивной общественной или просто коллективной работы, находил себе оправдание в безнадежно мрачных условиях русской действительности: была непроглядная ночь<sup>3</sup>, часто и лучшим людям оставалось выполнять лишь обязанности часовых».

«...Электротехника на западе проникла во все области хозяйства, в России же мы встречаем лишь единичные случаи применения электротехники в тех областях, которые ею широко охвачены в других странах».

И далее, наивно веря в возможность переустройства жизни русского народа в условиях царской России, редакционный комитет журнала писал:

«...Население одинаково терпит и от беззастенчивого предпринимательства и от бездеятельности, оставляющей и капиталы и естественные богатства страны, например, белый уголь, лежать втуне и ждать.

В переходный момент, переживаемый нами, бездеятельность преступна, пассивное отношение к жизни делается невозможным, она перестает ждать и намечает направление последующего развития для тех, кто не определяет его сам.

Жизнь резко выдвинула уже ряд общих вопросов, мимо которых нельзя пройти и на которых нельзя останавливаться мимоходом, так как они тесно связаны с дальнейшим финансовым, экономическим и общественным развитием страны.

<sup>3</sup> Разрядка наша. Ред.

К ним Редакция относит вопрос о положении электротехнической промышленности в России, о реорганизации производства; о приспособлении его к новым требованиям и укладу меняющегося строя, о городских электротехнических предприятиях, которые... призваны играть такую важную роль в муниципальном хозяйстве и которые так легко и надолго могут явиться источником эксплоатации населения, наконец, вопрос о положении и нуждах среднего и высшего технического персонала».

С 1 марта 1908 г. журнал «Электричество» начал издаваться не только в качестве органа VI (электротехнического) отдела Русского технического общества, но и в качестве органа Всероссийских электротехнических съездов, а спустя семь месяцев, с 1 октября 1908 г. журнал сделался также органом созданного в то время Московского общества электротехников, объединившего «новую сильную группу русских электротехников, занятую разработкой специальных вопросов Московского промышленного района»<sup>4</sup>.

Рассматривая произшедшее таким образом сближение журнала с большой группой московских электротехников, как элемент усиления среди русских инженеров чувства коллективности и как символ дальнейшего объединения русских электротехников, редакция в обращении к читателям в октябрьском номере 1908 г. указывала: «Ниакой журнал — ни общелитературный, ни специально технический — не может быть результатом деятельности одного лица или небольшой группы лиц. Журнал должен быть результатом деятельности всех его читателей, во всей их совокупности и журнал делает живое дело до тех пор, пока его программа совпадает с равнодействующей желаний тех читателей, удовлетворить которых он призван». Стремясь и в дальнейшем подчинять деятельность журнала «Электричество» этому принципу, редакция отметила быстрое развитие журнала и «непрерывный приток свежих сил, который теперь наблюдается».

В уже цитированном выше обращении редакции в № 1, 1907 г. имеется одно место, весьма важное для полноты характеристики направления, которого редакция считала необходимым придерживаться для достижения основной цели издания журнала «Электричество».

«Редакция ставит... одной из своих первых задач давать теоретическое объяснение явлениям, встречающимся на практике, и сведениями из практики освещать и пояснять теорию, устанавливая этим путем возможно более тесную связь между теорией и практикой»<sup>5</sup>.

Высокий уровень задач, которые журналставил перед собою, действительно способствовал все большему укреплению его положения и авторитета. За первые 26 лет своего существования журнал «Электричество» завоевал постоянное внимание подавляющего числа русских электротехников. Это знали и далеко за пределами России. Редакция не один раз получала различные

<sup>1</sup> Электричество, № 10, 1908.

<sup>5</sup> Разрядка наша. Ред.

предложения из других стран об обмене научно-технической информацией, просьбы о доведении до сведения русских электротехников тех или иных вопросов, в разрешении которых нуждалась промышленность передовых капиталистических стран Европы и Америки. Силу русских ученых и изобретателей там знали по многим примерам их приоритета в области науки и техники. Образчиком подобных писем в журнал «Электричество» из-за рубежа может служить, например, следующее (в № 3 за 1907 г.).

«В настоящее время в Америке имеется большое требование на батареи аккумуляторов для подвижного состава электрической тяги, автомобилей и других надобностей. Существующие ныне аккумуляторы не удовлетворяют электрическую промышленность. Обещанное Эдисоном его изобретение аккумулятора на опытах показало свои отрицательные качества... Поэтому... мы предлагаем... русским изобретателям, через посредство Вашего уважаемого журнала, оказать им полное содействие в осуществлении их проектов». И далее приводился адрес торгово-промышленной компании в Нью-Йорке.

Первая мировая война, начавшаяся в 1914 г., отрицательно отразилась на издании журнала. В 1916 г. вместо 20 номеров вышло только 16. В 1917 г. вышедшие 16 номеров, не считая № 1, были уже сдвоенными и даже строенными (№ 4—5—6); практически было выпущено лишь 8 тетрадок. Начиная с майского номера (№ 9/10), редакционный комитет возглавил С. О. Майзель, бывший ранее секретарем редакции. В 1918 г. в тяжелых условиях гражданской войны и хозяйственной разрухи в стране, вышло два номера и на этом издание журнала приостановилось до октября 1922 г.

**Направление и тематика журнала. 1880—1918 гг.** Журнал «Электричество» стремился с первого же номера удовлетворить разносторонние интересы читателей. Наряду с оригинальной исследовательской работой Д. А. Лачинова, посвященной вопросам производства и передачи электроэнергии, в № 1 за 1880 г. мы находим интересную информацию о первой электротехнической выставке, сведения о новом электроизмерительном приборе и т. д. В каждом номере, одновременно с общенаучными и теоретическими статьями, печатались материалы практического значения. В журнале освещалась деятельность выдающихся русских ученых, внесших свой вклад в развитие науки об электричестве и в электротехнику (М. В. Ломоносова, Г. В. Рихмана, Ф. У. Эпинуса, В. В. Петрова, П. Л. Шиллинга, Б. С. Якоби, Э. Х. Ленца и др.). Видное место уделялось технической хронике, сообщениям из-за границы. Редакция не ограничивалась рефератами, а в течение ряда лет знакомила читателей с важнейшими работами зарубежных ученых, печатая переводы наиболее интересных статей (Крукса, Томсона, Приса, Пуанкаре, Содди и др.).

Как уже отмечалось в предыдущем изложении, многочисленная группа выдающихся элек-

тротехников — современников первого периода журнала «Электричество» — с самого начала сотрудничала в журнале, помещая в нем ряд своих оригинальных научных работ и описаний сделанных ими открытий и изобретений. Содержание журнала практически было тесно связано с положением электротехники в те или другие годы. Так, в начале издания, на протяжении примерно первых десяти лет наибольший удельный вес имели статьи об электрическом освещении, по физическим проблемам электротехники, по вопросам электропередачи энергии, по телефонии и телеграфии, статьи о первых измерительных приборах, наконец, статьи об устройстве громоотводов, звонков, и т. п. В конце 80-х и в начале 90-х годов, наряду с вопросами теоретической электротехники и физическими проблемами (статьи И. И. Боргмана, Д. А. Лачинова, А. Г. Столетова, В. К. Лебединского, О. Д. Хвольсона и др.), продолжают дискутироваться вопросы электрического освещения, но на первое место выдвигаются задачи выбора наиболее совершенного и мощного типа электродвигателя, создания надежных и емких аккумуляторных батарей, развития техники переменных токов и, благодаря изобретениям М. О. Долибо-Добровольского, многочисленные вопросы передачи электроэнергии на расстояние. Увеличилось значение электрометаллургии, в частности для производства алюминиевых сплавов; возникли проекты электротяги на городских железных дорогах; началось развитие электропривода — «идет вперед и применение электричества, как движущей силы, при различных механизмах, вроде подъемных кранов и лебедок на пристанях и в портах, при подъемных машинах и помпах в рудниках и т. п.» («Электричество», № 1, 1889, стр. 3). Выдающуюся роль в связи с изобретением А. С. Попова стали играть вопросы радиотелеграфии, а также вопросы, связанные с проектированием, строительством, оборудованием и эксплоатацией центральных электрических станций и сетей. Число статей на эту тему особенно увеличилось в первые полтора — два десятилетия текущего века. Вместе с тем видное место в журнале отводится теперь деятельности электротехнической общественности — всероссийским электротехническим съездам, проблемам развития в России электропромышленности и распространения промышленного электропривода, проектам электрификации железнодорожного транспорта и т. д. В данной статье нет возможности комментировать или даже кратко аннотировать огромный материал, опубликованный в журнале на протяжении первого периода (1880—1918 гг.) почти в 40 лет.

Следует отметить борьбу за приоритет русских электротехников, проводившуюся редакцией журнала «Электричество» с самого начала издания журнала. В качестве примера можно назвать такие случаи: 1) в связи со статьями Депре (в № 5, 6, 8 за 1882 г.) и информацией об опыте электропередачи энергии на Мюнхенской выставке (в № 18/19, 1882 г.) редакция в специальном примечании к этой информации, касаясь основ-

ногого вопроса «о независимости коэффициента полезного действия электропередачи от расстояния», убедительно защитила приоритет Д. А. Лачинова в установлении этого закона независимости; 2) к обзору работы Второго конгресса электриков в Париже (№ 13/14, 1889 г.), в связи с вопросом о приоритете изобретения трансформатора помещено специальное примечание А. Г. Столетова, в котором подчеркнут действительный приоритет П. Н. Яблочкива (1877 г.) и И. Я. Усагина (1882 г.); 3) при напечатании передовой статьи У. Приса «Передача сигналов на расстоянии без проводников» (№ 13/14, 1897 г.), в связи с содержащимся в ней неверным сообщением о приоритете изобретения радио, редакция журнала в специальном примечании указала на приоритет А. С. Попова, отметив, что схема прибора Маркони является почти точной копией ранее опубликованной схемы прибора А. С. Попова.

Вопросы, связанные с направлением журнала, рассматривались VI-м отделом и редакцией неоднократно.

Было опубликовано не менее 10 обращений редакции к читателям по вопросам тематики журнала. До сего времени большинству современных читателей известны главным образом первые обращения (1880 и 1882 гг.)<sup>6</sup>. Вместе с тем большой интерес представляет цитированное уже выше обращение редакции в № 1 за 1907 г., а также обращение в декабрьском номере 1908 г. (Электричество, № 12, 1908 г.), в котором содержатся выводы из анкеты журнала «Электричество», распространенной и собранной в начале 1908 г. Редакция констатирует, что читатели дали «целый ряд крайне ценных и интересных замечаний, как по поводу статей или целых отделов, так и по поводу тех вопросов, которыми они интересуются, и общей постановки журнала». Основной вывод из отзывов читателей о постановке журнала гласит: «журнал должен удовлетворять двум основным требованиям читателя: 1) Он должен держать своих читателей в курсе технического прогресса помошью обзоров своевременных, широко поставленных, т. е. захватывающих возможно более значительную об-

ласть предмета, глубоких, правильно освещавших относительную важность отдельных частей вопроса и его постановки. 2) Уровень, которого достигли современные техника и промышленность, заставляет большинство инженеров строго специализироваться,— что выдвигает второе требование:

журнал должен в области, близкой к той, которой посвящена деятельность читателя, или в той, в которой читатель непосредственно работает, дать все детали.

Таким образом, журнал должен удовлетворять, с одной стороны, требованиям простой осведомленности, с другой,— знанию подробностей мелкого на первый взгляд усовершенствования в отдельном механизме».

«Наш читатель говорит: я интересуюсь прежде всего тем, что происходит в России и что для моей работы в России полезно или может служить мне советом»<sup>7</sup>.

Читатель выдвигает «девиз: из практики для практики».

В обращении с удовлетворением отмечается, что «в русской технической среде воспитанная пользованием заграничной технической литературой привычка быть пассивным читателем уступает место стремлению самостоятельно намечать назревающие в русской жизни вопросы и задачи электротехники, ставить их на очередь и указывать форму и характер литературного материала, который нужен для решения этих вопросов»<sup>7</sup>.

В этот период в журнале были помещены ценные статьи многих электротехников и физиков, деятельность которых получила наиболее полное развитие в советское время. В числе таких работ следует отметить статьи Ф. И. Холуянова, К. А. Круга, К. И. Шенфера по электрическим машинам, Р. А. Классона, Г. О. Графтио по электростанциям, А. В. Вульфа по электротяге, М. А. Шателена по вопросам электрических измерений и др.

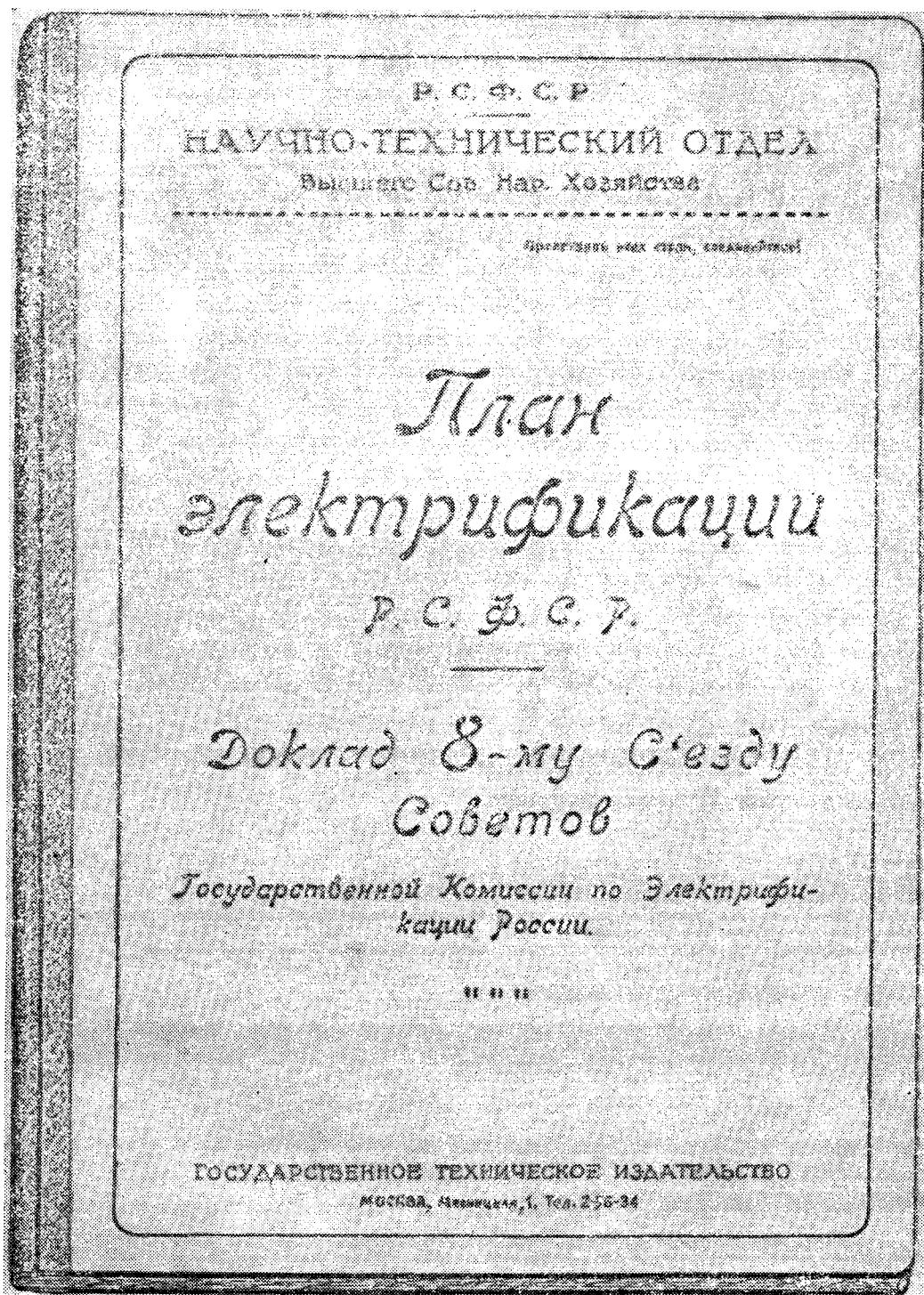
**Великая Октябрьская социалистическая революция. План ГОЭЛРО. Возобновление журнала.** Победа социалистической революции открыла русской научной мысли и техническому



5. Александр Степанович Попов  
один из первых авторов журнала «Электричество»

<sup>6</sup> Они приведены М. А. Шателеном в книге о русских электротехниках, а также в юбилейных обзора по случаю 50-летия и 60-летия журнала.

<sup>7</sup> Разрядка наша. Ред.



творчеству такие просторы, которых не знала до тога история человеческой культуры. Возрожденный по окончании гражданской войны журнал «Электричество» получил исключительные возможности для своего роста.

В своей исторической работе «Очередные задачи советской власти» В. И. Ленин весной 1918 г. начертал широкую программу экономического переустройства страны.

Работы по организации электроснабжения отдельных районов (Донбасса, Урала, Централь-

ного и Петроградского районов и др.), проводившиеся в первые же годы после Октября, были в дальнейшем использованы при составлении плана ГОЭЛРО. В 1918 г. по указаниям В. И. Ленина был создан Центральный электротехнический совет, который объединил московских и ленинградских энергетиков для разработки целого ряда проблем, связанных с электрификацией молодой Советской республики.

7 февраля 1920 г. постановлением ВЦИК была создана Государственная комиссия по элек-

трификации России. 27 февраля 1920 г. Президиум ВСНХ утвердил состав комиссии, в которую вошло свыше 100 виднейших специалистов Советской страны.

План ГОЭЛРО — это первый перспективный план, первый государственный план развития всего народного хозяйства. «Гениальные вожди рабочего класса и творцы социалистического государства — В. И. Ленин и товарищ Сталин ясно видели, что без электрификации нельзя перестроить экономически отсталую Россию, что без электричества нельзя будет поднять промышленность, перестроить сельское хозяйство»<sup>8</sup>.

18 февраля 1920 г., в ответе корреспонденту английской газеты «Daily Express», Ленин, говоря о задачах мирного экономического строительства, дал исчерпывающую формулировку значения электрификации России для построения коммунизма:

«Электрификация переродит Россию. Электрификация на почве советского строя создаст окончательную победу основ коммунизма в нашей стране, основ культурной жизни без эксплуататоров, без капиталистов, без помещиков, без купцов»<sup>9</sup>.

22 декабря 1920 г. в Москве, в Государственном большом театре, выступая перед делегатами VIII Всероссийского съезда советов с докладом о деятельности СНК, В. И. Ленин остановился на проблеме электрификации<sup>10</sup>:

«Я думаю, что мы здесь присутствуем при весьма крупном переломе, который во всяком случае свидетельствует о начале больших успехов Советской власти».

Приподняв высоко над трибуной книгу — доклад Государственной комиссии по электрификации, Владимир Ильич Ленин сказал: «Я думаю, что мне не трудно будет убедить вас в особенном значении этого томика. На мой взгляд, это — наша вторая программа партии».

«...эта программа каждый день, в каждой мастерской, в каждой волости будет улучшаться, разрабатываться, совершенствоваться и видоизменяться. Она нам нужна, как первый набросок, который перед всей Россией встанет, как великий хозяйствственный план, рассчитанный не меньше, чем на десять лет, и показывающий, как перевести Россию на настоящую хозяйственную базу, необходимую для коммунизма».

Для того, чтобы уничтожить в деревне корни капитализма, подорвать основу у внутреннего врага «есть одно средство — говорил далее в своем докладе В. И. Ленин — перевести хозяйство страны, в том числе и земледелие, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства. Такой базой является только электричество».

Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны... только тогда, когда страна будет электрифицирована, когда под

промышленность, сельское хозяйство и транспорт будет подведена техническая база современной крупной промышленности, только тогда мы победим окончательно».

Закончил свое выступление В. И. Ленин пророческими словами: «...если Россия покроется густою сетью электрических станций и мощных технических оборудований, то наше коммунистическое хозяйственное строительство станет образцом для грядущей социалистической Европы и Азии».

29 декабря 1920 г. VIII съезд одобрил план.

Товарищ Сталин дал высокую оценку плану ГОЭЛРО в известном письме к В. И. Ленину:

«Мастерский набросок действительно **единого** и действительно **государственного** хозяйственного плана **без кавычек**. Единственная в наше время марксистская попытка подведения под советскую надстройку хозяйственно-отсталой России действительно реальной и единственной возможной при нынешних условиях технически-производственной базы»<sup>11</sup>.

План ГОЭЛРО предусматривал реконструкцию наличных электростанций (план А) и сооружение 30 новых районных электростанций с общей мощностью 1 750 000 квт (план Б). Общая годовая выработка электроэнергии намечалась в объеме 8 800 млн. квтч. Было предусмотрено создание мощных энергосистем, охватывающих огромные индустриальные районы, а также изменение старой структуры топливного баланса путем лучшего использования природных и местных энергетических ресурсов. На основе электрификации страна должна была технически перевооружиться. Планом подчеркивалось значение широкого внедрения электропривода с целью эффективной механизации и автоматизации производственных процессов.

Выступая в 1935 г. на пленуме ЦК ВКП(б), товарищ С. Орджоникидзе сказал: «Вот вам, товарищи, два документа: выступление Ленина на VIII съезде советов о плане ГОЭЛРО и оценка, данная Сталиным этому плану. Можно читать эти документы еще десятки лет и поражаться и радоваться тому, как в годы ожесточенной гражданской войны и интервенции, в годы разрухи, нищеты и голода Ленин и Сталин начертали план преобразования нашей страны»<sup>12</sup>.

План ГОЭЛРО был воспринят энергетиками и электротехниками страны, как начало новой эры в электроснабжении, в электропромышленности, во всем, что имело прямую и косвенную связь с электротехникой и энергетикой.

По инициативе В. И. Ленина декретом Совета Народных Комиссаров от 8 февраля 1921 г. «в целях всестороннего обсуждения технико-экономических вопросов, связанных с осуществлением плана электрификации России, а также привлечения широких народных масс к активному участию в деле электрификации чародного хозяйства...» в Москве был созван (в октябре

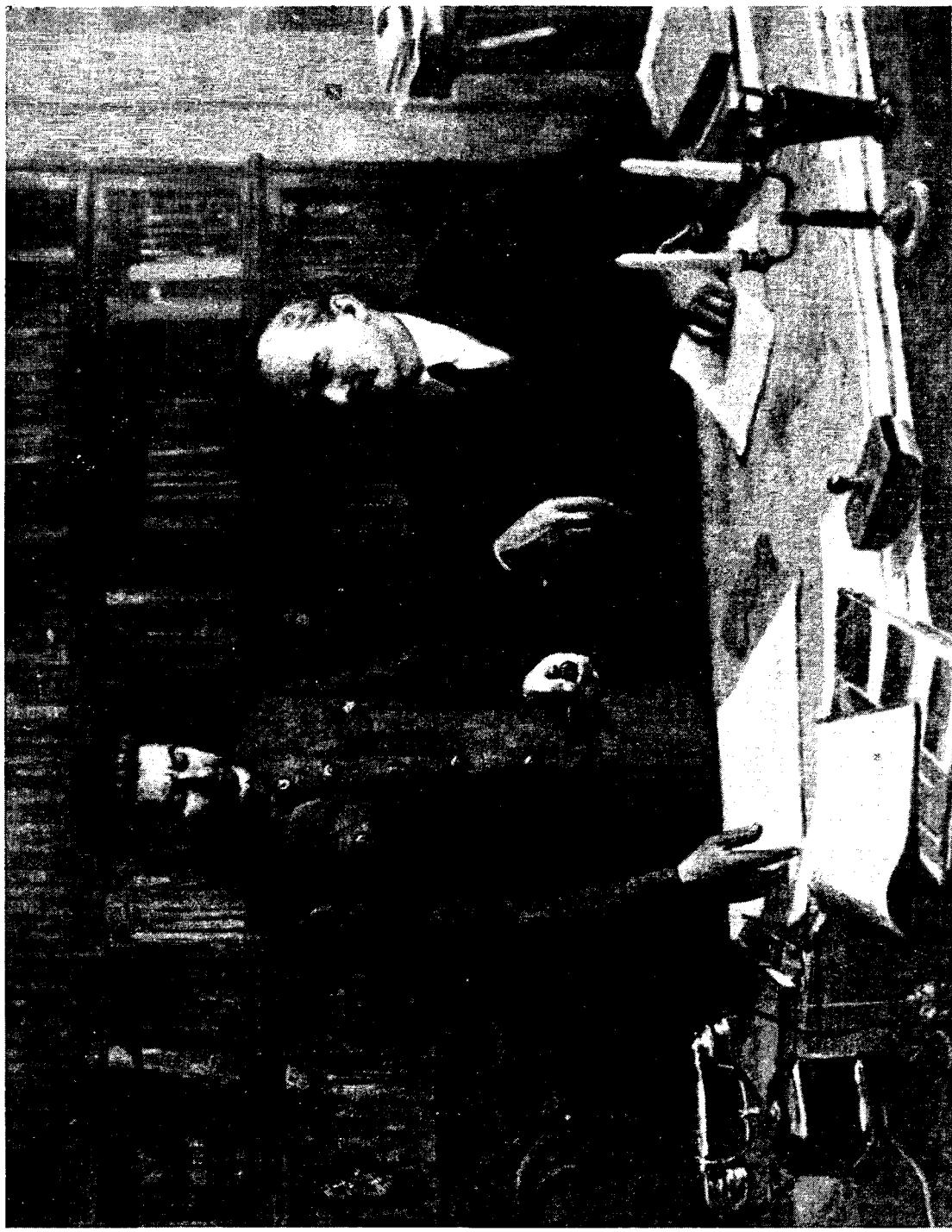
<sup>8</sup> Д. Г. Жимерин, 25 лет плана ГОЭЛРО. Электричество, 12, 1945.

<sup>9</sup> «Правда» 22 апреля 1950 г.

<sup>10</sup> В. И. Ленин. Соч., 3 изд., т. XXVI, стр. 45—48.

<sup>11</sup> И. В. Сталин. Соч., т. V, стр. 50

<sup>12</sup> Г. К. Орджоникидзе. Избр. статьи и речи. Госполитиздат, 1939, стр. 447.



В. И. Ленин и И. В. Сталин обсуждают план ГОЭЛРО. 1920 г.

Л. А. Нагабанди.

1921 г.) VIII Всероссийский электротехнический съезд.

В связи с широким обсуждением плана электрификации возникла мысль о возобновлении издания журнала «Электричество». По инициативе группы московских и ленинградских электротехников VI отдел Русского технического общества, при активном участии Главэлектро ВСНХ поднял этот вопрос перед директивными организациями, и 6 октября 1922 г. издание журнала возобновилось. Содержание журнала «Электричество» теперь посвящалось в значительной степени электрификации страны.

Вначале журнал являлся органом Главэлектро ВСНХ, VI отдела РТО, Всероссийских электротехнических съездов, Центрального электротехнического совета, Общества электротехников в Москве и Русского электротехнического комитета Международной электротехнической комиссии.

С 1938 г. журнал стал органом Академии наук, Министерства электростанций и Министерства электропромышленности.

При возобновлении в 1922 г. издания журнала в качестве его редакции был учрежден редакционный комитет в составе: А. З. Гольцмана, М. А. Шателена и Е. Я. Шульгина. Кроме редакционного комитета был создан редакционный совет журнала, в который вошли кроме членов комитета: А. В. Винтер, С. Д. Гефтер, Н. Н. Георгиевский, М. К. Поливанов, Л. И. Сиротинский, П. К. Пешекеров и др. В 1923 г. в состав Редакционного комитета вошел также П. И. Воеводин, который с 1924 г. по 1931 г. являлся ответственным редактором журнала.

С 1930 г. деятельность редакции журнала осуществлялась при участии: а) редакционного комитета во главе с М. А. Шателеном, б) членов редакции — Н. Н. Георгиевского, В. К. Лебединского, В. Ф. Миткевича, А. А. Смуррова и в) редакторов отделов — А. М. Залесского, П. Л. Калантарова, М. В. Малышева, В. К. Попова, М. В. Соколова, В. А. Толзинского и В. П. Хащинского.

В 1933 г. к руководству журналом была привлечена группа молодых советских специалистов. Ответственным редактором журнала в 1933 г.—1935 гг. был Н. А. Сазонов и с конца 1935 г. Я. А. Климовицкий. В 1945 г. во главе журнала в качестве его ответственного редактора встал академик Б. Е. Веденеев, а после его смерти в 1946 г.—заслуженный деятель науки и техники, проф. Г. Н. Петров. В 1945 г. редакционная коллегия журнала была утверждена в составе: академика Б. Е. Веденеева, академика А. И. Берга, доктора техн. наук, проф. Ю. В. Буткевича, доктора техн. наук, проф. А. А. Глазунова, члена-корр. АН СССР, проф. М. П. Костенко, академика В. Ф. Миткевича, академика Н. Д. Папалекси, доктора техн. наук, проф. Г. Н. Петрова, кандидата техн. наук И. А. Сыромятникова, член-корр. АН СССР, проф. М. А. Шателена.

**Направление и тематика журнала после возобновления.** Направление и тематика журнала

стали служить интересам великого социалистического переустройства страны и задачам плановой электрификации всего народного хозяйства Советского Союза. В обращении редакции в № 1, 1922 г. были названы следующие основные проблемы, освещению которых отводятся страницы журнала «Электричество»: использование мощных естественных источников энергии, рационализация эксплоатации существующих электростанций (путем объединения их по районам), развитие сельскохозяйственной электрификации, разработка правильной тарифной политики в энергоснабжении, восстановление и расширение предприятий электропромышленности, стандартизация электротехнического оборудования и пр. Обещая уделять «всестороннему изучению, техническому и экономическому, этих вопросов и вопросов, с ними связанных, ...особое внимание» редакция подчеркивала, что «одновременно она будет уделять неменьшее внимание и вопросам научной электротехники».

«Именно, в области электротехники яснее всего выявилось чрезвычайное значение тесной связи науки и техники<sup>13</sup>. Наиболее значительные усовершенствования в области получения и использования электрической энергии были сделаны, благодаря чисто научным исследованиям в научных лабораториях и теоретическим изысканиям ученых... Поэтому и научным статьям... «Электричество» всегда будет отводить подобающее место... Не будучи пересчур популярным, «Электричество» будет стремиться быть доступным широким кругам электротехников...»

Для обеспечения советских читателей информацией о положении электротехники за рубежом, редакция вскоре после возобновления выпуска журнала установила обмен с 40 крупнейшими иностранными журналами<sup>14</sup>. Наиболее интересные материалы из этих журналов воспроизводились в «Электричестве» в виде рефератов и обзоров.

Главнейшей целью журнала «Электричество» по возобновлении его издания было содействие успешному претворению в жизнь задач, вытекающих из плана ГОЭЛРО. В журнале публикуются интересные статистические материалы и отдельные статьи, характеризующие крупные электростроительства, ведущиеся по плану ГОЭЛРО. Систематически рассматриваются вопросы электрификации промышленности и задачи оснащения предприятий новым электрооборудованием.

План ГОЭЛРО по основным показателям был выполнен в 1931 г., т. е. за 10 лет, а за максимально намечавшийся срок (15 лет) план был перевыполнен почти в 3 раза. Мощность электростанций СССР в 1935 г. составила 6 923 тыс. квт, причем мощность районных электростанций за этот период выросла на 4 550 тыс. квт. Коэффициент электрификации в основных и наиболее трудоемких отраслях промышленности составлял: в угольной 94%, в цветной металлургии 98%,

<sup>13</sup> Разрядка наша. Ред.

<sup>14</sup> Электричество, № 1, стр. 46, 1925.

<sup>15</sup> Электричество, № 12, стр. 7, 1945.

в машиностроении 95%, в химической 94%<sup>15</sup>. К 1940 г. мощность электростанций СССР достигла приблизительно 12 000 тыс. квт, а по пятилетнему плану восстановления и развития народного хозяйства СССР (1946—1950 гг.) в 1950 г. установленная мощность электростанций будет доведена до 22 400 тыс. квт, что более чем в 18 раз превысит уровень 1921 г.

Если в годы восстановительного периода (1921—1927 гг.) тематика журнала, как уже отмечалось, в основном была представлена вопросами, связанными с реализацией плана ГОЭЛРО, то в годы первой и второй пятилеток (1928—1937 гг.) ядром тематики журнала были вопросы разработки перспективного плана электрификации, создания единой высоковольтной сети, электропередачи постоянным током высокого напряжения больших мощностей, вопросы устойчивости параллельной работы крупных электрических систем и автоматизации их управления на расстоянии, построение трансформаторов и другой аппаратуры сверхвысокого напряжения, вопросы изоляции и т. д. В годы третьей пятилетки (1938—1942 гг.) в журнале проходит важная дискуссия по проекту электропередачи Москва—Куйбышев, разрабатывается проблема современного крупного электромашиностроения, освещаются вопросы дальнейшего развития систем автоматики и телемеханики на многочисленных крупных стройках этого периода и т. д. и т. п.

В результате выполнения сталинских пятилеток были решены задачи перевода нашей страны на рельсы новой, современной техники, была завершена техническая реконструкция народного хозяйства СССР и были достигнуты выдающиеся успехи в области электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

«Чем больше мы — электротехники и энергетики Советского Союза — изучаем теорию и практику воплощения в жизнь заданий ленинско-сталинской электрификации, тем более мы убеждаемся в изумительной целеустремленности и дальновидности этих заданий»<sup>16</sup>.

В результате сталинских пятилеток выросло качество содержания журнала, изменился круг его читателей. Журнал «Электричество» читают и пользуются его материалами самые широкие круги советских инженеров-электриков. В составе авторов журнала самый высокий удельный вес ныне занимают молодые советские специалисты различных отраслей электротехники.

Тираж журнала, исчисляющийся вначале его издания сотнями экземпляров, достиг в годы сталинских пятилеток 12 000.

В журнале за последние годы был помещен ряд статей, отражавших работы советских электротехников, за которые в дальнейшем они были удостоены Сталинских премий. Постоянно в журнале публикуются критические рецензии о выходящих в СССР монографиях и учебных пособиях по электротехнике, по электрофизике и т. п. Ко-

нечно, здесь нет возможности дать даже и приближенного перечня вопросов, отраженных в журнале за годы сталинских пятилеток, исключительно насыщенные разнообразными техническими проблемами.

В полученных редакцией журнала «Электричество» в 1940 г. в связи с 60-летием журнала, обращениях Президиума Академии наук СССР, Народного комиссариата электростанций СССР и Народного комиссариата электропромышленности СССР<sup>17</sup> было отмечено, что журнал «Электричество» «сыграл большую роль в пропаганде новейших научных и технических достижений и в постановке перед научно-технической мыслью актуальных задач в области электротехники».

«Освещая важнейшие вопросы развития энергетики, журнал «Электричество» содействовал успешному выполнению ленинско-сталинского плана электрификации нашей страны».

В обращении НКЭП СССР подчеркивалась задача мобилизации научно-технической мысли и усилий инженеров, научных работников, конструкторов, изобретателей и новаторов вокруг вопросов дальнейшего развития электромашиностроения, высоковольтного аппаратостроения, электроприборостроения, кабельной техники и других отраслей электропромышленности.

НКЭС СССР отмечал важность освещения на страницах журнала актуальных вопросов работы электрических систем, техники высоких напряжений, автоматизации электростанций и электросетей, экономии электроэнергии, вопросов норм и правил в электрохозяйстве.

Президиум Академии наук СССР обращал внимание редакции журнала на важность сочетания в журнале теоретических вопросов с задачами практики.

Направление и тематика журнала неоднократно обсуждались в различных организациях и на конференциях. В 1948 г. редакция получила ряд ценных указаний от Технического совета и от Коллегии Министерства электростанций СССР, а также от Ученого совета ЭНИН Академии наук СССР. В сентябре 1945 г. у Президента АН СССР академика С. И. Вавилова состоялось межведомственное совещание, специально посвященное журналу «Электричество». Деятельность журнала подверглась всестороннему критическому обсуждению и редакции были даны принципиальные установки по всем основным вопросам работы журнала.

Развернутая критика недостатков журнала, на проведенных в 1948, 1949 и 1950 гг. по инициативе редакции журнала «Электричество», совместно с ВНИТОЭ, четырех читательских и одной авторской конференциях (в Москве, Киеве, Ленинграде, Свердловске), оказала журналу огромную помощь в повышении качества помещаемых в журнале материалов и в более полном удовлетворении запросов широких кругов читателей журнала.

Журнал ставит перед собой задачу дальнейшей широкой научно-технической пропаганды

<sup>16</sup> Г. М. Кржижановский. Историческая победа Ленинско-Сталинского учения об электрификации. Электричество, № 12, 1949.

<sup>17</sup> Электричество, № 10, 1940; № 1, 1941.

в среде советских электротехников новейших достижений и открытий передовой науки и результатов огромной экспериментальной и исследовательской работы, проводимой советскими электротехниками и физиками в области применения электричества.

Журнал «Электричество» призван распространять научные и технические знания об электричестве, критически освещать основные тенденции развития электротехники и ставить на обсуждение неотложные вопросы, связанные с дальнейшим широким развитием электрификации Советского Союза и подъемом на более высокую техническую основу энергетики СССР. Советские электротехники должны находить в журнале материалы, помогающие им в борьбе за внедрение новых конструктивных решений и технологических приемов в электропромышленности. О важности этой борьбы говорил товарищ Маленков в докладе на XVIII Всесоюзной конференции ВКП(б)<sup>18</sup>.

«Большевик должен быть подлинным борцом против рутины в вопросах новой техники, новой продукции, новых методов производства».

«Большевик, революционер в технике, в хозяйстве — тот, кто умеет ломать устаревшие традиции, заменять их новыми и идти вперед. Этому учит нас товарищ Сталин».

В журнале чаще должны подниматься новые проблемы электротехники, имеющие народнохозяйственное значение и, в частности, вестись более полное и критическое освещение таких вопросов, как электропередача сверхвысокого напряжения на большие расстояния, защита от перенапряжений в установках высокого напряжения, устойчивость работы электрических систем, надежность и экономичность электроснабжения, внедрение электрической энергии в технологические процессы промышленного производства, развитие электротяги, сельской электрификации, электроавтоматики, электромашиностроения и т. д.

Содержание журнала «Электричество» должно всемерно содействовать многочисленным читателям — научным работникам, проектировщикам, конструкторам, инженерам-электрикам энергозаводов и электростанций, работникам высшей технической школы и пр.— в ознакомлении с результатами работы передовых советских ученых и практиков из разнообразных отраслей электротехники.

В журнале должны постоянно находить отражение также и важнейшие теоретические работы, в которых поднимаются новые вопросы электротехники и разбираются новые научные проблемы. Такие статьи должны служить источником для научного обоснования и развития новейших прогрессивных инженерных идей и содействовать

изобретательству талантливых советских новаторов производства.

В статьях должно находить глубокое сочетание высокая научная ценность содержания и практическая направленность изложения с точки зрения современных требований и перспектив электрификации СССР. В этом заключается залог успешного выполнения журналом своих задач.

Необходимо постоянно помнить следующие слова товарища Сталина из его доклада на XVIII съезде партии<sup>19</sup>.

«Нужно признать, как аксиому, что чем выше политический уровень и марксистско-ленинская сознательность работников любой отрасли государственной и партийной работы, тем выше и плодотворнее сама работа, тем эффективнее результаты работы...».

«...есть одна отрасль науки, знание которой должно быть обязательным для большевиков всех отраслей науки,— это марксистско-ленинская наука об обществе, о законах развития общества, о законах развития пролетарской революции, о законах развития социалистического строительства, о победе коммунизма».

Рассмотрение на страницах журнала научно-технических вопросов должно вестись в условиях свободного обмена мнениями и творческой критики. Содержащийся почти в каждом номере журнала «Электричество» раздел «Дискуссии» будет впредь всемерно развиваться. К участию в обсуждениях научно-технических проблем должны быть привлечены широкие круги читателей журнала. Большую помочь в этом направлении должны оказать организации ВНИТОЭ.

Указания товарища Сталина в статье «Относительно марксизма в языкоизнании» имеют глубочайшее значение для работников всех областей науки. В этой статье, являющейся новым выдающимся произведением творческого марксизма, товарищ Сталин с особой силой подчеркивает значение творческих дискуссий, развертывания критики и самокритики для развития и преуспевания науки.

«Общепризнано,—указывает товарищ Сталин,— что никакая наука не может развиваться и преуспевать без борьбы мнений, без свободы критики».

Под руководством партии Ленина—Сталина журнал «Электричество» несомненно будет и впредь выполнять свою роль проводника новых научных и технических идей в широкие массы инженеров-электротехников СССР, будет способствовать внедрению достижений советских ученых и изобретателей в практику социалистического строительства Советского Союза, народы которого под водительством великого Сталина идут к коммунизму.

<sup>18</sup> Электричество, № 3, 1941.

<sup>19</sup> И. В. Сталин. Вопросы ленинизма, изд. XI, стр. 598.



## О классификации электроизмерительных приборов

Доктор техн. наук, проф. Е. Г. ШРАМКОВ

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Электроизмерительная техника, как самостоятельная область электротехники, за последние годы получила весьма широкое развитие и применение в самых разнообразных отраслях народного хозяйства. Электроизмерительные приборы широко используются для измерений неэлектрических величин, для измерений на расстояний, для автоматического регулирования производственных процессов и т. д. Расширяющаяся номенклатура приборов, развитие производства этих приборов на основе новейших достижений науки и техники предъявляют повышенные требования ко всем организациям, учреждениям и лицам, занимающимся разработкой, проектированием, производством, эксплуатацией и исследованием электроизмерительных приборов. Важно систематическое изучение всех связанных с этими вопросами научных и технических материалов. Большие масштабы производства и применения разнообразнейших электроизмерительных приборов требуют подготовки значительного контингента специалистов в этой области. Для эффективного сотрудничества между работниками электроприборостроительной промышленности, научно-исследовательских учреждений, проектно-монтажных бюро, учебных заведений и планирующих органов необходима общепринятая терминология, базирующаяся на научно обоснованной классификации.

Первой и основной задачей является классификация электроизмерительных приборов общего назначения, служащих для измерений электрических величин. Приборы же, применяемые для измерений неэлектрических величин, а также используемые в специальных областях электроизмерительной техники (радиотехнические, телефонные, акустические измерения, телеметрия и т. д.) должны быть предметом специальных классификаций, тесно связанных и опирающихся на классификацию приборов общего назначения.

Попытка классифицировать электроизмерительные приборы и упорядочить терминологию в этой области нашла отражение в ОСТ/ВКС 8005 «Приборы электроизмерительные. Класси-

Подчеркивается важность создания единой, общепринятой терминологии, основанной на научной классификации электроизмерительных приборов. Статья представляет попытку систематизации, которая может быть положена в основу разработки новых стандартов взамен действующих с 1935 г. ОСТ/ВКС 8005 и ОСТ 7656. Статья печатается в порядке обсуждения.

фикация» и ОСТ 7656 «Основные термины и определения. Электроизмерительные приборы», введенные в 1935 г. Наличие этих нормативных документов способствовало

унификации терминологии для электроизмерительных приборов и систематизации большого числа разновидностей приборов. Наряду с этим приходится отметить и ряд недостатков принятых в указанных стандартах классификации, основными из которых являются: а) отсутствие единой научной основы в построении классификационной схемы, вследствие чего физическая и техническая сущность приборов остаются не раскрытыми; б) классификация представляет по существу 14 параллельных схем деления приборов по четырнадцати различным признакам, не связанных между собой единой системой; существенные признаки (принцип действия, род тока и др.) и менее важные чисто внешние признаки (форма шкалы, габариты и др.) оказываются при этом равноценными. Кроме того, с современной точки зрения эта классификация в некоторых своих частях является устарелой (деление приборов на классы I, II, III, приборы с наводкой и др.).

В известной нам иностранной литературе классификаций электроизмерительных приборов, в строгом смысле, предложено не было. Ознакомление же с работами по терминологии показывает, что они не основываются на научно разработанной классификации. Так, например, в наиболее капитальном труде «American Standard Definitions of Electrical Terms», 1941 г., изданном Американским институтом инженеров-электриков, термины, относящиеся к электроизмерительным приборам, сгруппированы по таким разделам как: «приборы», «специальные приборы», «счетчики», «измерительные трансформаторы» и др., что позволяет заключить об отсутствии в США научной классификации приборов. Такая же картина наблюдается и в английском терминологическом стандарте (B. S. 205: часть 3, раздел 4, 1943 г.), в Международном электротехническом словаре (изд. ОНТИ, 1936 г.) и в книгах и монографиях, посвященных электроизмерительным приборам.

**Основная классификация электроизмерительных приборов.** При разработке классификации нам представляется необходимым прежде всего установить основные научные принципы построения классификации. Из всей суммы признаков, характеризующих электроизмерительные приборы, должны быть выделены главные признаки, раскрывающие в принципиальных чертах физическую и техническую сущность различных классов, видов и разновидностей приборов и их практическое применение. Вместе с тем, помимо главных признаков, должны быть учтены и другие менее существенные признаки, но имеющие важное значение для характеристики приборов. Однако, использование таких признаков следует рационально ограничить, чтобы не загромождать классификационную схему и, вместе с тем, не сузить возможности ее естественного развития и последующей разработки более детальных частных классификаций.

Наряду с требованием стройности основной классификационной схемы и четкой соподчиненности всего многообразия приборов, неизбежно допустимым является наличие небольшого числа параллельных схем классификации приборов по признакам, присущим всем приборам или большим группам приборов.

Делая попытку построения научно обоснованной классификации электроизмерительных приборов, естественно обратиться к процессу измерения, в котором одну из главных ролей играет измерительный прибор. Как известно, измерением называется познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу. В измерении участвуют: объект (та или иная электрическая величина); единица, материально воспроизведенная мерами; метод; измерительная аппаратура; наблюдатель. Эти элементы в своей совокупности влияют на верность результата измерения, т. е. на степень приближения численного значения измеряемой величины к действительному значению. Окружающие условия, в которых проводится измерение, имеют важное значение в постановке и проведении эксперимента и отражаются на конечном результате измерения.

Подходя к классификации одного из элементов, участвующих в измерении, имея в виду тесную связь его с другими элементами, составляющими единый комплекс, представляется естественным и необходимым отразить эту связь в классификации.

Измерительными приборами называются устройства, служащие для *прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с единицей измерения*. Таким образом, за основной признак, объединяющий все многообразие электроизмерительных приборов, может быть принято назначение всех приборов — осуществлять сравнение измеряемой величины с единицей измерения. Исходя из этого признака, все электроизмерительные приборы могут быть разделены на два больших класса, принципиально отличающихся друг от друга. Одни приборы характеризуются тем, что

в самом процессе каждого данного измерения осуществляется сравнение измеряемой величины с электрической мерой или с известной электрической величиной, т. е. происходит *прямое сравнение с единицей измерения*.

В приборах другого класса в самом процессе данного измерения осуществляется *косвенное сравнение с электрической единицей измерения*, так как такие приборы предварительно градуируются в единицах измеряемой величины и характерным для этих приборов является то, что измеряемая величина непосредственно оценивается по отсчетным приспособлениям прибора.

В соответствии с этим предлагается все электроизмерительные приборы разделить прежде всего на два класса: 1) приборы непосредственной оценки и 2) приборы сравнения.

Разделение приборов по данному признаку мотивируется также и тем, что устройство приборов непосредственной оценки и приборов сравнения в принципиальных чертах резко отличается. Кроме этого, самим существом приборов каждого из этих классов предопределяется и метод измерения: для приборов непосредственной оценки — метод непосредственной оценки; для приборов сравнения, из известных нам в настоящее время методов, — нулевой или разностный методы.

Приборы сравнения, вследствие их главной особенности — прямого сравнения с мерой или с известной электрической величиной, могут быть осуществлены более высокого класса точности, чем приборы непосредственной оценки.

**Классификация приборов непосредственной оценки.** Электроизмерительный прибор непосредственной оценки представляет собой сочетание измерительного механизма, отсчетного устройства, вспомогательных частей и корпуса прибора. Под измерительным механизмом прибора мы понимаем совокупность элементов, характеризующих внутреннее устройство прибора, в котором электромагнитная энергия непосредственно или через посредство других физических процессов используется для приведения в действие прибора. К вспомогательным частям прибора мы относим все части электрической цепи прибора, исключая измерительный механизм, как, например, шунты, добавочные сопротивления и т. п.

Для выявления физической сущности этих приборов, т. е. принципа их действия, естественно за основу классификации принять *самый существенный элемент прибора — его измерительный механизм*.

В соответствии с вышеприведенным определением измерительного механизма все приборы непосредственной оценки могут быть разделены на четыре группы.

1. Группа *электромеханических приборов*, в которых энергия электромагнитного поля системы, характеризующей устройство измерительного механизма, непосредственно используется для перемещения его подвижной части.

2. Группа *электротепловых приборов*, в которых электромагнитная энергия системы, ха-

теризующей устройство измерительного механизма, через посредство тепловых процессов используется для перемещения его подвижной части.

3. Группа *электрохимических приборов*, в которых электромагнитная энергия системы, характеризующей устройство измерительного механизма, через посредство химических процессов используется для измерения электрических величин

4. Группа *электроннолучевых приборов*, в которых энергия электромагнитного поля системы, характеризующей устройство измерительного механизма, используется для измерения электрических величин путем управления электронными лучами в электронных трубках.

В дальнейшем каждую из групп приборов предлагается разделить на подгруппы по более уточненному принципу устройства измерительного механизма, придав каждой подгруппе соответствующие этому признаку наименования. Тогда к группе электромеханических приборов, из числа существующих в настоящее время приборов, должны быть отнесены магнитоэлектрические, электродинамические, электромагнитные, индукционные и электростатические приборы. Обобщающим для всех этих приборов является то, что вращающий момент может быть определен непосредственно из выражений для энергии магнитного или электрического поля системы, характеризующей устройство измерительного механизма.

К электротепловой группе, из существующих в настоящее время приборов, относится лишь одна подгруппа—приборы электротепловые, у которых для перемещения подвижной части измерительного механизма используется удлинение или изменение формы или объема тела, нагреваемого током, функционально связанным с измеряемой величиной.

Электрохимическая группа включает одну подгруппу приборов, называемых нами *электролитическими*. Приборы эти характеризуются применением электролита и позволяют измерять электрические величины по количеству вещества, выделившегося из электролита при прохождении через него электрического тока.

Электроннолучевая группа содержит также одну подгруппу—приборы электронные, характеризуемые применением одной или нескольких электронных трубок, в которых для целей измерения используются электронные лучи, отклоняемые под воздействием электрического или магнитного поля, функционально связанного с измеряемой величиной. Из существующих приборов к этой подгруппе относятся электронные осциллографы.

Среди приборов непосредственной оценки имеются также приборы: термоэлектрические, детекторные (мы предлагаем называть их выпрямительными), ламповые (часто называемые электронными) и фотоэлектрические. Все эти приборы представляют сочетание магнитоэлектрического измерительного механизма и того или иного преобразователя. Ввиду того, что разделение приборов на группы и подгруппы проводится нами по принципу действия и устройства основ-

ной части прибора—его измерительного механизма, естественно рассматривать все вышеуказанные приборы как разновидности магнитоэлектрических приборов, сохраняя, однако, за ними самостоятельное место в классификационной схеме и соответствующие наименования.

В дальнейшем каждая подгруппа приборов разделяется по роду тока: постоянного тока, переменного тока, постоянного и переменного тока. Тем самым уже частично устанавливается связь с объектом измерения—измеряемой величиной—участвующим в измерительном процессе.

На этой ступени классификационной схемы мы считаем в достаточной мере выявленной физическую сущность приборов. При дальнейшей классификации должны быть отражены в принципиальных чертах техническая сущность приборов и их назначение для измерения той или иной электрической величины.

Среди приборов непосредственной оценки для всей электромеханической группы резко выделяются два вида приборов. В одних противодействующий момент не зависит от измеряемой величины, в других же он является функцией измеряемой величины. Как известно, последние приборы измеряют отношение двух электрических величин и получили название логометров, в отличие от всех прочих приборов. Хотя теория логометров и основывается на общей теории приборов непосредственной оценки, однако логометры имеют и свои принципиальные специфические особенности как в конструктивном выполнении, так и с точки зрения их применения, существенно отличаясь от приборов с независимым противодействующим моментом. В соответствии с этим приборы каждого вида электромеханической группы целесообразно разделить по характеру противодействующего момента на две разновидности: а) приборы с независимым противодействующим моментом, б) приборы с зависимым противодействующим моментом—логометры.

Общим признаком для всех приборов, характеризующим их назначение, является род измеряемой величины. Этот признак принят нами в последнем звене основной классификационной схемы для всех без исключения приборов.

Для приборов с независимым противодействующим моментом, наряду с приборами, градуированными в определенных электрических единицах (амперметры, вольтметры и пр.), указываются гальванометры, которые, как известно, градуируются самим наблюдателем или же применяются как нулевые указатели.

В практике нередко приходится иметь дело с логометрами, шкала которых градуируется в условных единицах. Учитывая это, в классификационную схему для логометров введена по признаку измеряемой величины разновидность приборов «со специальной градуировкой». Последнее дает также возможность использовать основную классификацию при разработке специализированных классификаций.

Для некоторых приборов в основной классификации разделение проводится не только по

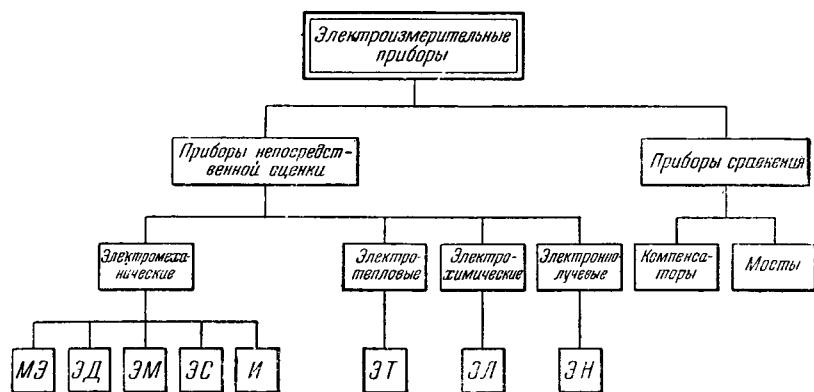


Схема 1.

вышеуказанным признакам, но еще и по другим признакам, особо существенным для данной подгруппы приборов. Так, например, электростатические приборы разделяются на три разновидности по способу изменения емкости между электродами.

Для ряда приборов, наряду с основной классификацией, мы считаем допустимым и желательным параллельные классификации в тех случаях, когда в основной классификации разделение приборов по принципиально существенным техническим признакам не может быть осуществлено. Так, например, для магнитоэлектрических приборов весьма важным признаком, выявляющим техническую сущность этих приборов, является вид подвижной части: подвижная рамка или подвижный магнит. И так как любой магнитоэлектрический прибор может быть выполнен с подвижной рамкой или с подвижным магнитом, то разделение приборов по этому признаку можно провести только вводя параллельную схему классификации.

В схеме 1 приведена основная классификация электроизмерительных приборов, содержащая

классы, группы и подгруппы приборов. На схеме 2 в виде примера дано дальнейшее развитие классификации для магнитоэлектрических приборов.

**Классификация приборов сравнения.** Основной частью приборов сравнения так же, как и приборов непосредственной оценки, является измерительный механизм. Под этим термином в данном случае понимается совокупность элементов электрической цепи, объединенных в определенную схему, характеризующую метод сравнения измеряемой величины с электрической мерой или с известной электрической величиной.

В соответствии с этим электрическую цепь внутренних соединений, совместно с объектом измерения и электрической мерой, и метод измерения, положенные в основу устройства измерительного механизма приборов сравнения, следует рассматривать как признаки первостепенного значения. Разновидности электрических цепей, используемых в приборах сравнения, которым мы присваиваем наименование измерительных схем, могут быть сведены к двум: компенсационной и мостовой.

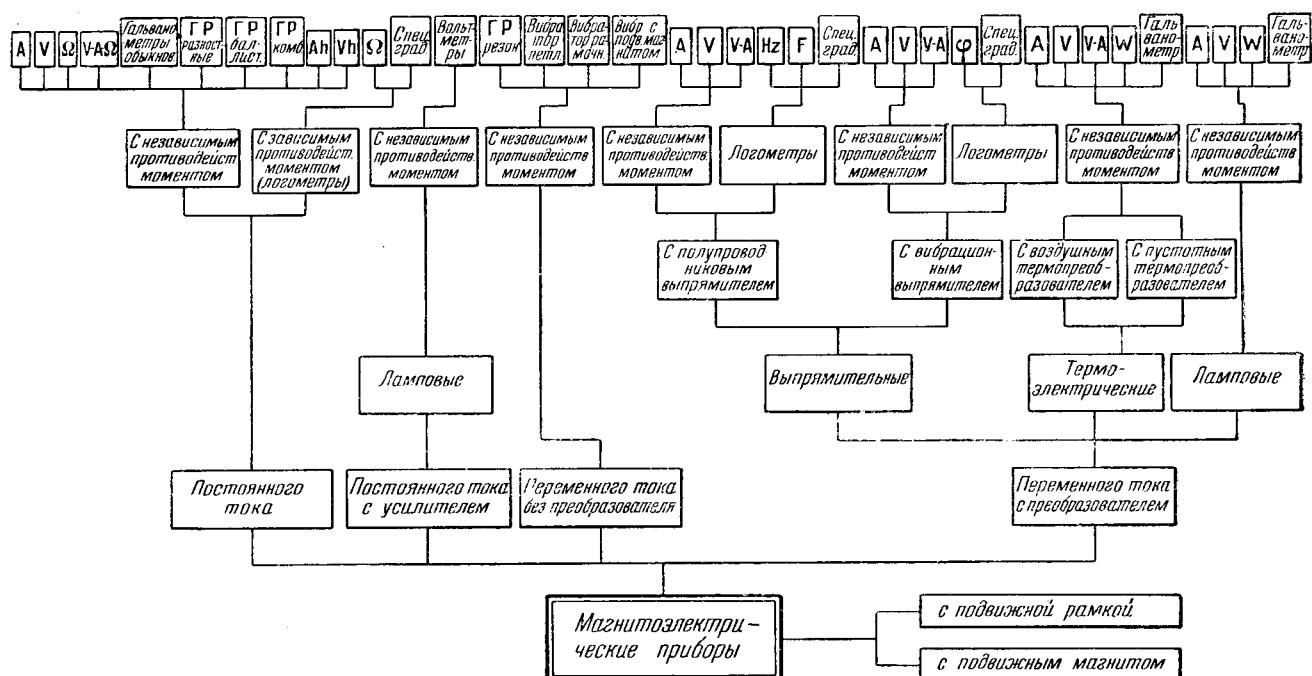


Схема 2.

Под компенсационной измерительной схемой мы понимаем электрическую цепь, используемую для измерения э. д. с. или электрических токов, а также величин, функционально с ними связанных нулевым или разностным методом. В соответствии с этим может быть компенсационная схема э. д. с. и компенсационная схема электрических токов. Под первой мы понимаем такую компенсационную измерительную схему, которая используется для измерения э. д. с., а также величин, функционально с ней связанных, и в которой вся или определенная часть измеряемой э. д. с. уравновешивается известной э. д. с., причем указатель равновесия схемы включается последовательно с обоими источниками э. д. с. Компенсационной схемой электрических токов мы называем такую компенсационную измерительную схему, которая используется для измерения электрического тока, а также величин, функционально с ним связанных, и в которой весь измеряемый электрический ток или определенная его часть уравновешивается известным электрическим током, причем указатель равновесия схемы образует взаимную ветвь между электрическими цепями сравниваемых токов.

Мостовой измерительной схемой мы называем электрическую цепь, используемую для измерения сопротивления, индуктивности, взаимной индуктивности и емкости, а также величин, функционально с ними связанных, и состоящую из сочетания сопротивлений, катушек индуктивности и взаимной индуктивности и конденсаторов, соединенных в один или несколько замкнутых контуров и образующих по отношению к питающему их источнику тока две параллельные ветви, промежуточные точки которых соединяются через указатель равновесия схемы. Это дает возможность все приборы сравнения разделить на две группы: а) компенсаторы, т. е. такие приборы сравнения, в которых измерительный механизм выполнен по компенсационной измерительной схеме; б) мосты, т. е. приборы сравнения, в которых измерительный механизм выполнен по мостовой схеме.

Мы отказываемся от существующего в настоящее время термина «потенциометр» и предлагаем вместо этого термин «компенсатор», основываясь на том, что в этих приборах применяется компенсационная схема, а, кроме того, так как переменное поле не потенциальное, то для приборов переменного тока понятие «потенциал» не применимо.

Весьма важным признаком для приборов сравнения, определяющим в принципиальных чертах внутреннее устройство прибора и его применение, является род тока. В соответствии с этим целесообразно и компенсаторы и мосты разделить по роду тока: постоянного и переменного.

Компенсационных схем могут быть две разновидности: компенсационная схема э. д. с. и компенсационная схема электрических токов. И та и другая может быть использована в компенсаторе. Практически в настоящее время компенсационная схема электрических токов используется

только в компенсаторах переменного тока. Классифицируя далее компенсаторы, мы разделяем компенсаторы переменного тока на два вида: а) компенсаторы э. д. с., б) компенсаторы тока. Для компенсаторов же постоянного тока мы ограничиваемся только одним видом — компенсаторами э. д. с.

Дальнейшую классификацию предлагается производить по наиболее характерным функциональным признакам. Для компенсатора э. д. с. таким признаком с нашей точки зрения является способ уравновешивания измеряемой э. д. с. Если обратиться к компенсаторам постоянного тока, то в одних измеряемая э. д. с. уравновешивается путем изменения сопротивления участка рабочей цепи компенсатора, при неизменном токе в этой цепи. В других же приборах для этой цели изменяют силу тока в рабочей цепи, а сопротивление этой цепи остается неизменным. Под рабочей цепью компенсатора мы понимаем те сопротивления электрической цепи компенсатора, которые используются при уравновешивании измеряемой э. д. с. Таким образом, компенсаторы э. д. с. постоянного тока мы разделяем на два вида: а) с постоянным рабочим током и б) с изменяющимся рабочим током.

В компенсаторах э. д. с. переменного тока уравновешивание измеряемой э. д. с. может осуществляться также двумя способами. Один из них, как известно, заключается в том, что измеряемая э. д. с. уравновешивается двумя известными э. д. с., сдвинутыми друг относительно друга на угол  $90^\circ$ . В таких компенсаторах, которые мы предлагаем называть *прямоугольноординатными*, результат измерения получается в виде комплексного числа в алгебраической форме.

В компенсаторах другого вида уравновешивание измеряемой э. д. с. производится таким образом, что результат измерения получается в виде комплексного числа в показательной форме. Таким компенсатором предлагается присвоить наименование *полярноординатных*.

Дальнейшей классификации компенсаторов переменного тока, понимая под этим термином компенсаторы тока, предназначенные для измерений в цепях переменного тока, в настоящее время нами не предусматривается.

Мосты постоянного тока рекомендуется делить по способу включения сопротивлений, образующих электрическую цепь, на мосты *одинарные* (по типу Витстона) и *двойные* (по типу Томсона), имея в виду, что электрическая цепь того и другого вида мостов обусловливает существенно разные качества этих приборов. Для мостов переменного тока этот признак не является характерным, так как практически находят применение лишь мосты типа одинарных, хотя в ряде случаев и с более сложной электрической цепью, чем простейшая цепь одинарного четырехплечевого моста постоянного тока.

Как известно, схем мостов переменного тока существует много, однако все эти схемы можно свести к двум группам и в соответствии с этим

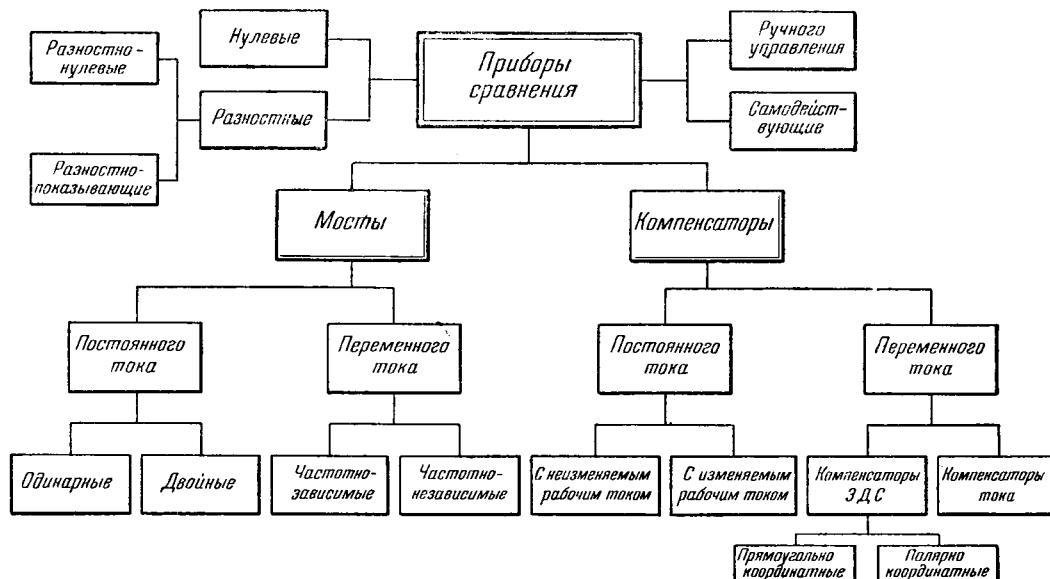


Схема 3.

мосты-приборы переменного тока разделить на два вида: частотно-зависимые мосты, в уравнения равновесия которых входит частота переменного тока, и частотно-независимые, в уравнения равновесия которых частота не входит. Дальнейшее, более детальное деление каждого из этих видов мостов, с нашей точки зрения, должно быть предметом специализированной классификации.

Как уже указывалось выше, в компенсаторах и мостах используется нулевой или разностный метод измерения. Таким образом, как компенсаторы, так и мосты могут быть нулевыми или разностными. Разность между измеряемой и известной электрическими величинами в последнем случае может определяться прибором непосредственной оценки или же нулевым методом. В соответствии с этим разностные компенсаторы и мосты могут быть в свою очередь разделены на разностно-показывающие и разностно-нульевые.

Наконец, во всех приборах сравнения процесс измерения, т. е. сравнение измеряемой и известной величин, осуществляется или наблюдателем от руки или же автоматически при помощи специальных устройств. В последнем случае приборы приобретают новые свойства и существенно отличаются по своему устройству и практическому применению. Естественно, что такой признак должен найти отражение в классификации приборов сравнения, которые мы предлагаем разделить на две категории: приборы с ручным управлением и самодействующие или автоматические.

Вышеуказанные признаки, относящиеся к методам измерения и способу действия, являются общими для всех приборов сравнения, и это вызывает необходимость применить параллельную классификацию приборов сравнения поенным признакам. Нам представляется, что основная и параллельная классификации в совокупности в достаточной степени выявляют фи-

зическую и техническую сущность приборов сравнения так же, как и связь с элементами, участвующими в измерении. В явном виде разделение приборов сравнения по признаку измеряемых величин нами не предусмотрено в предлагаемой классификации. Объясняется это тем, что уже в самом начале классификационной схемы при разделении всех приборов на две группы, компенсаторы и мосты, в определениях каждой из этих групп заложены признаки, характеризующие применение этих приборов для измерения тех или иных электрических величин.

На схеме 3 приведена предлагаемая нами классификация приборов сравнения.

**Параллельная классификация электроизмерительных приборов.** Рассматривая предлагаемую классификацию, мы видим, что некоторые существенно важные признаки приборов, общие или для всех приборов или для больших групп приборов, не нашли отражения в классификации. Такими признаками являются, например, способ получения отсчета, характер применения приборов, точность и др. Естественно, что разделение приборов по такого рода признакам возможно лишь в параллельных классификационных схемах. В схеме 4 предлагается параллельная классификация электроизмерительных приборов по общим, не зависящим от принципа действия, признакам.

Некоторые термины в этой схеме требуют пояснений. Прибором с непосредственным отсчетом мы называем такой прибор, показания которого отчитываются непосредственно по его отсчетному приспособлению, без какого-либо воздействия на измерительный механизм или отсчетное приспособление со стороны наблюдателя.

Прибором же с управляемым отсчетом является такой прибор, показания которого отчитываются после соответствующего воздействия со стороны наблюдателя на измерительный механизм или отсчетное приспособление

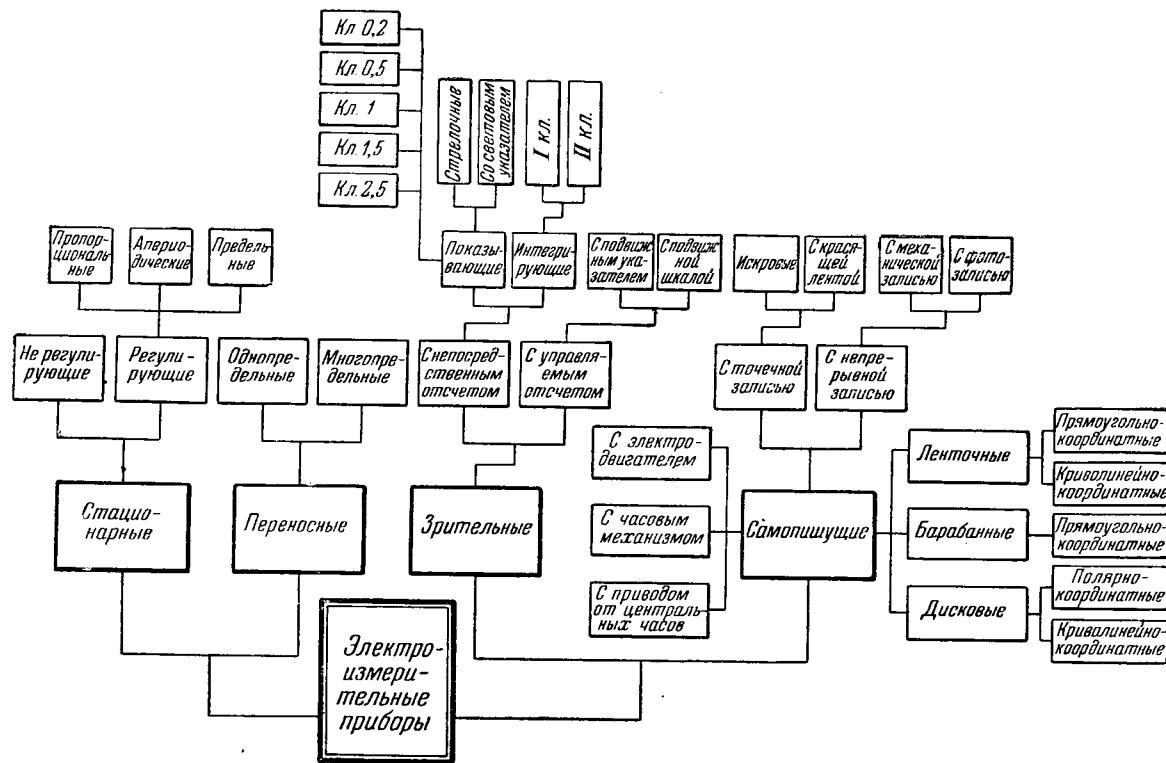


Схема 4.

(например, компенсатор с ручным управлением, крутильный прибор). Приборам непосредственной оценки, дающим значение измеряемой величины, соответствующее моменту измерения, мы присваиваем термин *показывающий прибор*, в отличие от интегрирующих приборов, дающих интегральное значение измеряемой величины за некоторый промежуток времени.

Ряд современных электроизмерительных приборов одновременно выполняют задачу регулирования какого-либо процесса по определенным значениям измеряемой величины посредством специальных приспособлений. Таким приборам присваивается наименование *регулирующих* приборов, в отличие от нерегулирующих приборов, выполняющих только функции измерения. В свою очередь регулирующие приборы могут быть разделены на три разновидности: а) пропорционально регулирующие приборы, осуществляющие непрерывное изменение регулируемого процесса пропорционально изменению регулируемой величины; б) апериодически регулирующие приборы, осуществляющие такое изменение регулируемого процесса, при котором происходит плавное апериодическое приближение регулируемой величины к заданному значению; в) предельно-регули-

рующие приборы, осуществляющие изменение регулируемого процесса по заданным предельным значениям регулируемой величины.

Предлагаемая классификация в целом охватывает с нашей точки зрения основные, важнейшие признаки электроизмерительных приборов общего назначения. Дальнейшая более детальная классификация каждой из разновидностей приборов должна развиваться на основе данной классификации и быть предметом специализированных классификаций. Настоящая классификация позволила разработать также систематизированную терминологию, относящуюся к электроизмерительным приборам.

Проведенную работу следует рассматривать как первую попытку создать научно-обоснованную классификацию электроизмерительных приборов и естественно, что она не лишена недостатков.

В разработке классификации принимали участие сотрудники кафедры электроизмерительной техники Ленинградского политехнического института им. Калинина: В. О. Арутюнов, Н. Ф. Гаркуша, П. Н. Горюнов, Н. Б. Ковалев, Л. Л. Крапивенский, Е. Г. Шрамков.

[6. 1. 1950]



# Дискуссии

## К проекту стандарта на номинальные напряжения стационарных электрических сетей<sup>1</sup>

(Электричество № 1, 1950).

Инж. С. И. РАБИНОВИЧ

Московский трансформаторный завод  
им. Куйбышева

Главное в проекте нового стандарта — это введение новых номинальных напряжений 1, 20 и 60 кв и узаконение «нерекомендуемого» в настоящее время напряжения 154 кв.

В свое время в сопроводительном к проекту письме Технический отдел МЭС выразил пожелание, чтобы «соображения о целесообразности введения в ГОСТ того или иного напряжения сопровождались технико-экономическими обоснованиями». В самой же пояснительной записке к проекту этих-то обоснований и нет. Там приводятся только общие, недостаточно убедительные соображения.

Главным образом, общими соображениями оперируют также почти все выступившие до настоящего времени в дискуссии в защиту введения новых номинальных напряжений. При этом весьма важный фактор возможности унификации типов и конструкций и громадное разнообразие типов и исполнений электрооборудования, вытекающее из предлагаемых новых напряжений, или вовсе игнорируется, или освещается неправильно.

В отношении же трансформаторов надо иметь в виду все сочетания напряжений, число которых с ростом числа стандартных напряжений растет очень сильно.

Утверждение пояснительной записки о том, что «введение новых стандартных напряжений не должно чрезмерно увеличить число стандартных модификаций трансформаторов»; что «количество сочетаний напряжений обмоток трансформаторов должно быть надлежащим образом ограничено»; что «предполагается, что в течение предстоящего периода 5—7 лет необходимо полностью прекратить применение некоторых существующих сейчас нестандартных напряжений, например, 2 кв и др. и уменьшить, таким образом, число сочетаний разных напряжений, для которых должны изготавливаться трансформаторы», — эти утверждения только декларативны и далеки от реального осуществления.

В отношении возможности «полностью прекратить в течение 5—7 лет применение существующих нестандартных напряжений» заметим только, что напряжения 6,3 кв (вместо 6 кв), 31,5 кв (вместо 35 кв) являются нестандартными уже 17 лет (со времени введения в 1933 г. ОСТ-1760 и ОСТ-5155). Эти нестандартные напряжения все же продолжают заказывать.

Рассмотрим несколько конкретнее вопрос о возможности ограничения количества сочетаний напряжений:

1. С введением номинальных напряжений 1 000 и 20 кв необходимо будет предусмотреть следующие новые исполнения (см. табл. 1).

2. С введением напряжения 60 кв необходимо будет, очевидно, предусмотреть следующие исполнения для трансформаторов III габарита (табл. 2).

Особо следует отметить, что введение напряжений 1, 20 и 60 кв влечет за собой не новые исполнения обмоток,

Таблица 1

Для мощностей, ква (по ГОСТ-401-41)	Число типов	Сочетания напряжений	Новых исполнений
от 5 до 560	13	1 000/230; 1 000/400	13×2=26
от 180 до 1 800	9	6,1,0; 10,1,0; 20,1,05	9×3=27
от 10 до 135	8	20,0,23; 20,0,4	8×2=16
от 180 до 560		20,0,2; 20,0,4; 20,3,15	5×3=15
от 750 до 1 800	5	20,0,4; 20,3,15; 20,6,3	4×3=12
от 2 400 до 5 600	4	20,3,15; 20,6,3	4×2=8
	4		
		Итого . . .	104

Таблица 2

Для мощности ква (по ГОСТ-401-41)	Сочетания напряжений	Новых исполнений
От 1 800 до 5 600 (5 типов)	60,3,3; 60,6,6; 60,11; 60,22	5×4=20

а полную разработку серий новых типов трансформаторов. Так, использовать для 1 кв высшего напряжения серию 6 кв (начиная с 560 ква, уже унифицируемую с серией 10 кв) будет нелесообразно, вследствие чрезмерного расхода материалов и более низкого к. п. д.; серия 10 кв мала для 20 кв, а серия 35 кв — для 60 кв. (табл. 3).

Таблица 3

Новые серии с высшим напряжением, кв	Мощности ква (по ГОСТ-401-41)	Новых типов
1	От 5 до 560	13
20	От 10 до 5 600	20
60	От 1 800 до 5 600	5

Итак, только по мощностям, относимым нами к первым трем габаритам (до 5 600 ква), число исполнений увеличивается на  $104 + 20 = 124$ , а число типов на  $13 + 20 + 5 = 38$  (!).

Следует также отметить, что намеченные выше сочетания в одних типах нескольких, сильно различающихся, низших напряжений, например, 1 000 и 230 в; 20 и 3 кв, приведет к увеличению размеров этих типов и снижению к. п. д. для всех исполнений.

3. С введением напряжений 20, 60 и 154 кв, даже при ограничении применения напряжения 60 кв на стороне высшего напряжения при мощности 31 500 ква, необходимо предусмотреть дополнения, приведенные в табл. 4. А всего по мощностям двухобмоточных трансформаторов, относимых ко всем четырем габаритам, новых исполнений  $124 + 91 = 215$ , а число новых типов составит  $38 + 21 = 59$ .

<sup>1</sup> См. Электричество № 1, 4, 5 и 6, 1950.

Таблица 4

Для трехфазных трансформаторов	Сочетания напряжений, кв	Новых	
		Исполнений	Типов
От 1 800 до 31 500 ква	60/3,3; 60/6,6; 60/11; 60/22; 66/3,15; 66/6,3; 66/10,5; 66/20	10×8=80	10
От 15 000 до 60 000 ква	154/66	5	5
Для однофазных трансформаторов от 20 000 до 40 000 ква	154/66; 220/66	6	6
Итого по мощностям, относимым нами к IV габариту . . . . .		91	21

Учитывая, что по двухобмоточным трансформаторам ГОСТ-401-41 предусматривает 466 исполнений, коим соответствуют 65 типов, введение новых напряжений 1, 20 и 60 кв только в виде двухобмоточных трансформаторов означает увеличение числа типов вдвое и числа исполнений в полтора раза.

При этом мы исходим из того предположения, что связи 110/66 и 60/38,5 не будут иметь места; если допустить возможность и таких связей, то число новых типов снова резко возрастет.

4. Что касается трехобмоточных трансформаторов, то уже в настоящее время в соответствии с ГОСТ-401-41 при номинальном высшем напряжении 110 кв и наличии одного номинального среднего напряжения 35 кв предусматривается около 100 исполнений. Это число охватывает только мощности до 31 500 ква и не предусматривает вариантов исполнений с отдельными обмотками неполной мощности. Легко видеть, что введение каждого нового среднего напряжения удваивает число исполнений.

Вопрос о напряжении 60 кв, как среднем в трехобмоточных трансформаторах 110 кв, подлежит специальному рассмотрению, так как повлечет за собой резкое утяжеление трансформаторов и невозможность сохранения стандартизованных напряжений короткого замыкания. Аналогичное положение и в трехобмоточных трансформаторах с высшим напряжением 154 кв. При таком положении вопроса предусмотреть заранее целесообразные сочетания напряжений для трехобмоточных трансформаторов и иметь разработанные их серии, очевидно, невозможно. От стандартизации трехобмоточных трансформаторов пришлось бы отказаться; они стали бы, безусловно, индивидуальными исполнениями со всеми вытекающими отсюда вредными последствиями как для заводов-производителей, так и для электросистем.

Практическая невозможность проектировать и строить мощные трехобмоточные трансформаторы в индивидуальном порядке привела бы в большинстве случаев к установке двух отдельных трансформаторов, а в эксплуатации при определенных режимах к появлению лишних трансформаций. Необходимо подчеркнуть, что с увеличением числа номинальных напряжений значительно ограничивается применимость одних и тех же трансформаторов в разных районах Союза; получится пестрая картина, которая наблюдается в зарубежных странах. А между тем,

фактор взаимозаменяемости имеет большое народнохозяйственное значение, хотя бы на примере тех перебросок, которые были осуществлены в годы Великой Отечественной войны.

Из изложенного следует, что к вопросу о целесообразности введения новых номинальных напряжений следует подходить с большой осторожностью, как к серьезной народнохозяйственной проблеме. Помимо чисто технико-экономических расчетов, определяющих экономию от введения новых напряжений, нужно детально проработать ряд серьезных вопросов о возможных сочетаниях напряжений, областях их применения, фазировке, пределах мощностей для различных сочетаний; наметить шкалы серии оборудования, увязать их с возможностями промышленности, наметить сроки освоения.

Без такой подготовительной работы принятие новой расширенной шкалы может принести больше вреда, чем пользы.

Наконец, в отношении предлагаемого проф. Горевым напряжения 310 кв (для заполнения натурального ряда) нам кажется, что целесообразно принять его в скобках, как напряжение, на которое рекомендуется ориентироваться в будущих проектах и реальное введение которого должно быть обосновано детальными разработками конкретных схем электропередачи.

**Инж. Ф. Е. БЕРСЫКОВ**  
„Средазнефть“

Проект шкалы стандартных напряжений предусматривает междуфазное напряжение 380 в с последующим высшим напряжением в 1 000 в с изъятием напряжения 500 в без замены другим промежуточным напряжением, что с точки зрения экономичности является не совсем правильным.

Напряжение 500 в не получило должного распространения в промышленности, ввиду затруднений с получением двигателей, изготавляемых лишь по специальным заказам, и невозможности использовать эти двигатели в сетях 380 в. Из этих соображений изъятие из ГОСТ напряжения 500 в является целесообразным, но его необходимо заменить напряжением 3×660 в. Введение напряжения 660 в в ГОСТ значительно облегчит безболезненный переход с 380 в на более высокое напряжение 660 в и в то же время будет иметь экономические выгоды в отношении строительства линий электропередач, так как при одинаковой передаваемой мощности рабочие токи линий составят 58% по сравнению с токами при напряжении 380 в.

Пускозащитная аппаратура может пытаться от того же трансформатора с низшим фазным напряжением при заземленной нейтрали. Заземление нейтрали трансформаторов, как показала практика, вполне себя оправдало и внеродно почти по всему Союзу.

Обеспечение силы и света от одного трансформатора достигается также сравнительно легко посредством дополнительных выводов на 220 в, учитывая, конечно, загрузку в основном на напряжении 660 в.

Напряжение 1 000 в, ввиду сомнительности его распространения, вводить в ГОСТ нецелесообразно, ограничившись напряжением 660 в последующей ступенью 3,15 кв.

Таким образом, шкала стандартных напряжений должна быть: 0,380 — 0,660 — 3,15 и 6 кв.



# По страницам технических журналов

## УСИЛЕНИЕ ТОКОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ТРИОДАМИ

Еще в 1920-х годах советский физик О. В. Лосев построил усилительную схему (кристадин) для генерирования радиосигналов. Таким образом, идея усиления токов кристаллическими триодами не является новой: ей предшествовало осуществленное в СССР генерирование и усиление колебаний высокой частоты в устройстве, напоминающем кристаллические детекторы.

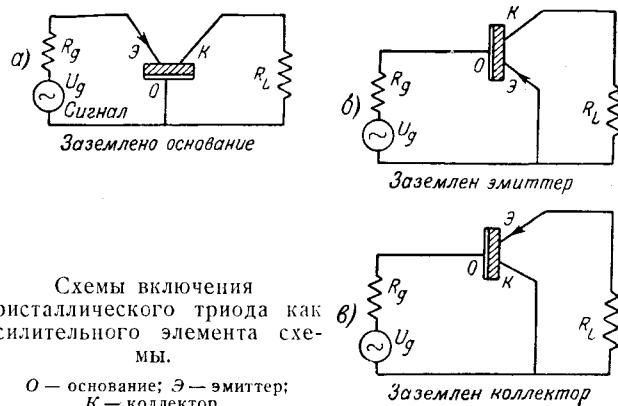
Первые сообщения в иностранной печати о транзисторе—кристаллическом германиевом триоде—появились в 1948 г. Существование германия (атомный вес 72,6; атомный номер 32) было предсказано гениальным Д. И. Менделеевым. Химически германий очень близок к углероду и кремнию; он может образовать длинные цепи гибридов и другие соединения, аналогичные органическим. Точка плавления германия  $958^{\circ}\text{C}$ , плотность  $5,35 \text{ г/см}^3$ , удельное сопротивление при  $25^{\circ}\text{C}$  колеблется от 0,001 до  $50 \text{ ом}\cdot\text{см}$ , по электропроводности германий относится к полупроводникам. Особенностью германия является высокий коэффициент отражения: до 50%.

Основными преимуществами кристаллического триода является отсутствие вакуума и необходимости в источнике энергии для нити накаливания катода. Вес транзистора (усилительной единицы) составляет всего около 1,3 г. В числе недостатков транзистора — относительно высокий уровень шума.

Как известно, кристаллическим детекторам несвойственно ограничение частот временем пролета электронов; это важное обстоятельство обусловило применение кристаллического детектора почти во всех схемах микроволнового приемника, в схемах радиолокации и др. Наибольшая частота сигналов, которые в настоящее время усиливаются транзистором, составляет примерно 10 мегц. При усилении звуковых частот фаза транзистора практически не меняется; в области же радиочастот сдвиг фазы усиленного сигнала относительно сигнала на входе несколько растет с частотой.

Механическая прочность транзистора по имеющимся предположениям выше, чем у вакуумных ламп. По сообщениям именно механической стойкости, малого габарита и веса кристаллический триод был применен вместо вакуумной радиолампы в радиодальномере ракеты; такой триод имеет серьезные преимущества для использования в электрических счетных машинах, в коммутирующих телемеханических устройствах и в различных специальных областях.

Три схемы включения транзистора в качестве усилительного элемента показаны на рисунке. Схема *а* с



Схемы включения кристаллического триода как усилительного элемента схемы.

*O* — основание; *Э* — эмиттер; *K* — коллектор.

заземленным основанием транзистора аналогична схеме включения обыкновенного триода с заземленной сеткой. Схема *б* с заземленным эмиттером аналогична включению триода с заземленным катодом (усилительный каскад в отличие от схемы *а* меняет фазу сигнала на  $180^{\circ}$ ; при малых значениях  $R_L$  схема может генерировать). Схема *в* с заземленным коллектором может быть применена для усиления сигнала «в обе стороны», причем при усилении «слева направо» она не меняет фазу сигнала, а при работе «справа налево» меняет ее на  $180^{\circ}$ . Увеличение  $R_g$  снижает стабильность работы; увеличение  $R_L$  повышает стабильность. В случае применения нескольких последовательных каскадов максимальное усиление на каскад, при согласовании сопротивлений межкаскадными трансформаторами, может быть доведено до 15 дБ.

В статье достаточно полно исследованы свойства германия, устройство и принципы действия кристаллического триода, даны основные статические и динамические характеристики транзистора, приведены схемы включения транзистора и рассмотрены вопросы влияния на работу германевого триода: температуры, частоты сигнала, расстояния между остройками электродов транзистора.

(Успехи физических наук, т. 40, вь п. 1, 1950 В. С. Вавилов)

## ЗА РУБЕЖОМ

### ТРАНСФОРМАТОРОСТРОЕНИЕ В ЧЕХОСЛОВАКИИ

(Обзор)

Мощный подъем народного хозяйства, которым охвачены страны народной демократии, находит свое отражение во всех областях научно-технической жизни этих стран, в том числе и в области электротехники. На страницах издаваемого в Чехословакии журнала «Электротехническое обозрение» в одном лишь 1949 г. помещен ряд статей, посвященных актуальным вопросам в области трансформаторостроения.

До настоящего времени проблема разработки вполне надежного метода обнаружения повреждений при импульсных испытаниях трансформаторов не получила еще окончательного разрешения, о чем свидетельствует значительное число работ, опубликованных за последние годы по этому вопросу. Исследуя эту проблему, Геллер, Главка и Веверка анализируют изменение основной частоты колебания нулевой точки обмотки трансформатора при

межвитковом замыкании, возникшем при импульсном испытании. Этот анализ показывает, что межвитковые замыкания влияют на главный магнитный поток. Таким образом, осциллографирование собственных колебаний нулевой точки обмотки при импульсном испытании и фиксирование изменений этих колебаний могут явиться чувствительным методом выявления межвитковых, а тем более межкатушечных пробоев.

Для проверки теоретических данных был произведен ряд испытаний на моделях трансформатора с изолированной нулевой точкой. На этих моделях были воспроизведены различные обмотки как с большим, так и с малым числом витков. Опыты показали, что межвитковый пробой четко фиксируется даже в тех случаях, когда число закороченных витков составляет лишь 0,05% от общего числа витков (1 виток из общего числа 2 000). В некоторых случаях при этих испытаниях удалось установить и место межвиткового пробоя в обмотке. При падении волны по трем проводам удалось путем применения специальной схемы установить поврежденную фазу. Если обмотка имеет заземленную нулевую точку, то при помощи специальной схемы ее можно привести к случаю изолированного нуля и затем применить к ней тот же метод, что и для изолированного нуля.

В статье К. Фабри исследуется импульсная прочность слоевых обмоток по сравнению с катушечными. Исходя из схемы замещения трансформатора со слоевой обмоткой, устанавливаются условия апериодического изменения напряжения в обмотке для двух основных типов слоевых обмоток и разбираются причины колебания этих трансформаторов. Показывается, что уменьшения колебания обмоток трансформаторов при импульсных воздействиях можно достигнуть путем расположения ближайшего к нулю слоя ближе к заземленным частям, т. е. путем макси-

мально возможного увеличения его емкости на землю. Исходя из этого, автор предлагает ряд схем обмоток с повышенной импульсной прочностью.

Статья М. Габлера посвящена трансформаторам с регулировкой напряжения под нагрузкой. Вопросы повышения качества электроэнергии, поддержания стабильного уровня напряжения у потребителей играют особо важную роль. При нескольких параллельно работающих электростанциях эти задачи могут быть решены лишь путем широкого использования регулировочных трансформаторов. В статье дается краткое описание системы встроенной регулировки напряжения под нагрузкой, наиболее распространенной в энергосистемах Чехословакии. Подробно рассматриваются явления в короткозамкнутой части обмотки в процессе переключения с одной ступени на другую и исследуются электромагнитные явления на переключателе при его работе.

В статье Ф. Пезака рассматриваются вопросы, связанные с проектированием трансформаторных установок на промышленных предприятиях: эксплоатационные расходы в зависимости от характеристик трансформаторов, вопросы резервирования, параллельной работы и срока службы при различных нагрузках.

### Литература

1. B. Heller, I. Hlavka, A. Vevekka. Elektrotechnicky Obzor, стр. 413, № 17, 1949.
2. K. Fáby. Там же, стр. 420—422.
3. M. Gabler. Там же, стр. 431—434.
4. Fr. Pesak. Elektrotechnicky Obzor, стр. 170—176 № 6—7, 1949.

Инж. А. Г. КРАЙЗ



## Хроника

### Авторефераты диссертаций

В редакцию журнала «Электричество» поступили перечисленные ниже авторефераты диссертаций. В дальнейшем сведения о поступающих авторефератах будут печататься систематически.

*Диссертации на соискание степени доктора наук.*

**В. Т. Ренне** — Проблема снижения удельного объема бумажных конденсаторов (ЛПИ).

*Диссертация на соискание степени кандидата наук.*

**С. И. Ардонова** — Деионизация и потенциал зажигания разреженного газа при наличии остаточной ионизации (ВЭИ).

**В. А. Борисов** — Исследование работы электромашинного усилителя с поперечным возбуждением в двигательном режиме (Ивановский энергетический институт).

**А. И. Вольдек** — Исследование рассеяния в электрических машинах (ЛПИ).

**М. С. Ворошилов** — Анализ различных систем электропрограммического копирования по чертежу (ЛПИ).

**Н. К. Гальперин** — Методы расчета времени срабатывания электромагнитных выключателей с выдержкой времени (ЛПИ).

**Н. М. Горбатов** — Аналитические методы определения токов и напряжений при коротких замыканиях с одновременным обрывом фаз (ЛПИ).

**В. В. Каплан** — Метод расчета потоков рассеяния и тяговых характеристик втяжных электромагнитов с плоской формой рабочего конца якоря (ЛПИ).

**Н. Г. Максимович** — Некоторые обобщения теории обратной связи (Львовский политехнический институт).

**Г. П. Мамрадзе** — Исследование оптимальных параметров гэс в системе с преобладанием гидроэнергии (МЭИ).

**Б. Г. Менделеев** — Деионизация разреженного газа при большом обратном напряжении (ВЭИ).

**Н. А. Неретина** — Анондная область ртутного разряда (ВЭИ).

**К. И. Ройстачер** — Способы уменьшения погрешности однопроводных трансформаторов тока, встроенных в масляные выключатели (Институт электротехники Академии наук УССР).

**Б. С. Синицын** — Дифференциальные электроизмерительные приборы с меднозакисными выпрямителями (Львовский политехнический институт).

**О. П. Ситников** — Некоторые вопросы теории дугогасящих устройств с автодутьем (Уральский политехнический институт).

**О. В. Слежановский** — Исследование схем с электромашинным возбудителем (МЭИ).

**В. М. Файницкий** — Исследование электрических явлений в изоляции осциллографированием тока потерь (ЛПИ).

**Э. Г. Файнштейн** — Учет влияния выпрямительной нагрузки при расчетах несимметричных режимов в энергосистемах (Энергетический институт Академии наук Узбекской ССР).



## 25-летие Всесоюзного бюро электрической изоляции ВНИТОЭ

В начале текущего года инженерно-техническая общественность отметила двадцатипятилетие работы Всесоюзного бюро электрической изоляции, организованного в 1924 г. при Всесоюзном энергетическом комитете.

После оглашения приветствий собравшиеся заслушали посвященный юбилею доклад председателя Всесоюзного бюро электрической изоляции ВНИТОЭ кандидата техн. наук, доц. Ю. В. Корицкого. Затем член-корр. АН СССР П. П. Кобеко выступил с докладом «Электрические свойства полимеров».

В докладе о двадцатипятилетии Всесоюзного бюро электрической изоляции были подчеркнуты: тесная связь Бюро с промышленными предприятиями и научными организациями и привлечение к работе бюро широких инженерно-технических и научно-исследовательских кругов. Это помогало Бюро идти в ногу с советской электроизоляционной техникой и способствовать ее развитию.

Бюро принимало активное участие в налаживании производства новых электроизоляционных материалов и внедрению новых технологических процессов, по разработке стандартов и технических условий и т. п.

Бюро провело ряд конференций, совещаний и семинаров, в том числе три Всесоюзные конференции по электрической изоляции (1924, 1927 и 1934 гг.), Всесоюзную конференцию по регенерации трансформаторных масел (1932 г.) и др. За время работы Бюро было обсуждено более 800 научно-технических докладов в Москве, Ленинграде, Свердловске, Томске, Ростове, Таллине и во многих других городах Союза.

Бюро организовало издание специальной литературы по электроизоляционной технике. По рекомендации Бюро были изданы такие ценные книги, как «Физика диэлектриков» (коллективный труд), «Физико-химические свойства диэлектриков» П. П. Кобеко. Кроме того, были изданы отчетные труды конференций по вопросам электроизоляционной техники, справочники и пр.

В годы Великой Отечественной войны бюро направляло свою работу на оказание помощи промышленности по замене дефицитных материалов и сырья.

С переходом к мирному строительству бюро возобновило организацию массовых мероприятий, в частности проведение научно-технических сессий. В 1946 г. была проведена научно-техническая сессия по электрической изоляции в Ленинграде. В 1947 г. совместно с Ростовским отделением ВНИТОЭ была проведена научно-техническая сессия по эксплуатации изоляции энергосистем. В 1948 г. была проведена научно-техническая сессия, на которой были поставлены теоретические и производственные доклады по электрической изоляции.

Кроме Ленинградского отделения Всесоюзного бюро электроизоляции, в 1949 г. были созданы еще три отделения: Уральское (председатель кандидат техн. наук Е. В. Калинин), Сибирское (председатель кандидат техн. наук К. А. Водопьянов), Южное (председатель инж. Г. И. Лысаковский).

Ленинградское отделение организовало в 1949 г. ряд докладов по качеству продукции и провело по этому вопросу специальную конференцию.

Уральское отделение провело в 1949 г. научно-техническую сессию по электрической изоляции и защите от перенапряжений.

Сибирское отделение организовало совместно с Сибирским физико-техническим институтом межобластное совещание по вопросам электрической изоляции.

Всесоюзное бюро в послевоенное время организовало ряд докладов на заводах Москвы и Московской области. Эта важная работа проводится, однако, еще недостаточно систематично и требует значительной активизации со стороны бюро.

Серьезным недостатком работы бюро следует считать также недостаточную связь бюро с отдельными заводскими и научно-исследовательскими коллективами.

Д. Р.



## Участие ВНИТОЭ в борьбе с электротравматизмом

В декабре 1949 г. в Ленинграде была проведена конференция-курсы по борьбе с электротравматизмом, организованная Всесоюзным научным инженерно-техническим обществом энергетики (ВНИТОЭ).

В результате осуществления в СССР ряда организационных и технических защитных мероприятий число несчастных случаев, в том числе от поражения электрическим током, непрерывно снижается. Однако, достигнутые успехи не означают, что в области борьбы с электротравматизмом уже сделано все возможное и необходимое. К задачам конференции-курсов было отнесено: а) обмен опытом в области борьбы с электротравматизмом; б) обсуждение подготавливаемых к выпуску Правил безопасности при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий; в) повышение уровня знаний участников конференции-курсов в области общих и специальных вопросов электробезопасности. В работе конференции приняли участие 355 чел., представлявших 25 министерств, 11 ЦК профсоюзов, ряд ведущих заводов, энергосистем, электрических станций и сетей, вузов, научно-исследовательских институтов и проектных организаций.

В докладе кандидата техн. наук В. И. Корольковой (Московский научно-исследовательский институт охраны

труда ВЦСПС) «Электротравматизм и борьба с ним в промышленности» были проанализированы случаи электротравматизма в промышленности и даны практические предложения по борьбе с несчастными случаями от электрического тока. С содокладом о состоянии электротравматизма и принимаемых мерах по борьбе с ним в прелучиях угольной промышленности выступил инж. В. К. Скурат (Министерство угольной промышленности СССР). Опыт борьбы с электротравматизмом на электрических станциях и в электрических сетях был освещен в докладе инж. Н. З. Хавина (МЭС).

Проекту Правил безопасности при эксплуатации электроустановок промпредприятий был посвящен доклад инж. Б. А. Константинова (Госэнергонадзор МЭС).

Кандидат техн. наук, доц. В. Е. Манойлов (ЛЭТИ) прочел лекцию на тему «Физиологическое действие электрического тока на организм человека и общая теория защитных мероприятий». Доц. А. Д. Каплан (Всесоюзный институт травматологии) прочел лекцию на тему «Медицинская профилактика и борьба с последствиями поражения электрическим током». В этих лекциях были освещены новейшие данные о физиологии

электротравмы, медицинской профилактики и требованиях, предъявляемых к защитным мероприятиям.

Кандидат техн. наук **Л. П. Подольский** выступил с докладом «Роль системы распределения энергии и влияние ее на электротравматизм». В докладе «Импульсный метод отыскания повреждений в электрических сетях» инж. **В. Л. Бакиновский** (Центральная научно-исследовательская электротехническая лаборатория МЭС) изложил достоинства и безопасность этого современного метода. Доклад инж. **Н. П. Астахова** был посвящен методам работы и условиям безопасности при выполнении работ на неотключенных линиях передачи высокого напряжения.

Доклад кандидата техн. наук **А. К. Несмачной** (Ленинградский научно-исследовательский институт охраны труда ВЦСПС) «Проект правил безопасности для испытательных станций заводов элект-

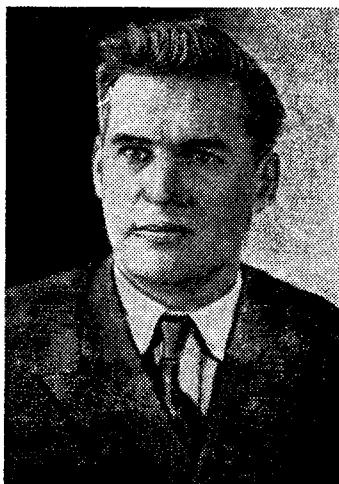
ропромышленности» содержал результаты подробного обследования испытательных станций ряда крупнейших электромашиностроительных, кабельных и электроаппаратных заводов и основные положения проекта правил, составленных Ленинградским институтом охраны труда. Проф. **П. Г. Грудинский** (МЭИ) сделал доклад «Плакаты по технике безопасности, как средство борьбы с электротравматизмом». Доц. **А. И. Кузнецов** (МЭИ) остановился на вопросах преподавания техники безопасности в высших учебных заведениях и на предприятиях.

Доклады широко обсуждались. Затем была принята резолюция, в которой, в частности, с целью усиления борьбы с электротравматизмом признано необходимым организовать постоянно действующий общественный комитет по электробезопасности.

**Кандидат техн. наук Г. С. СОЛОДОВНИКОВ**



## Б. П. Апаров



Московский энергетический институт им. Молотова и советское электромашиностроение понесли тяжелую утрату — 8 июня 1950 г. после длительной тяжелой болезни скончался видный советский электротехник доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров.

Борис Петрович Апаров родился в 1899 г. Получив высшее электротехническое образование в МВТУ, Борис Петрович 26 лет тому назад начал свою научную и педагогическую деятельность под руководством К. И. Шенфера и К. А. Круга.

Широкую известность получили выдающиеся исследования Б. П. Апарова по выяснению влияния зубцовых магнитных полей статора и ротора на рабочий процесс синхронных машин, а также ряд работ по вопросам теории электрических машин. Б. П. Апаров был одним из пионеров в области преподавания общего и специальных курсов по электрическим машинам в Советской высшей технической школе.

В течение ряда лет Борис Петрович Апаров руководил лабораторией электрических машин во Всесоюзном электротехническом институте им. Ленина.

В годы Великой Отечественной войны и до самых последних дней своей жизни Б. П. Апаров успешно работал в области авиационного электрооборудования.

Профессором Б. П. Апаровым было написано большое количество научно-технических статей, а также учебное пособие для вузов по асинхронным машинам.

Полгода тому назад советская энергетическая общественность и высшая техническая школа отмечали юбилей Бориса Петровича, в связи с исполнившимся 50-летием со дня рождения и 25-летием научно-педагогической деятельности. Статья, посвященная юбиляру, была опубликована в № 1 журнала «Электричество» (1950 г.).

Б. П. Апаров за плодотворную деятельность в высшей школе был награжден орденом «Знак почета» и медалями Союза ССР.

Товарищи и ученики Бориса Петровича Апарова сохранили о нем светлую память.

**М. Г. ЧИЛИКИН, А. Н. ЛАРИОНОВ, Г. Н. ПЕТРОВ, К. А. КРУГ, Л. И. СИРОТИНСКИЙ, Е. В. НИТУСОВ**



# Библиография

К. Г. МАРКВАРДТ. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ.

Утверждено Главным управлением учебными заведениями НПС в качестве учебного пособия для втузов железнодорожного транспорта. 568 стр., ц. 26 руб. Трансжелдориздат, 1948.

Так как рецензируемая книга издана как учебное пособие, то следует рассмотреть ее прежде всего с точки зрения соответствия требованиям, предъявляемым в настоящее время к учебной литературе для высшей советской школы. Учебники и учебные пособия должны в полной мере отражать достижения русской и советской науки и техники, рост науки и техники в соответствующей отрасли народного хозяйства в период Советской власти и особенно за годы Сталинских пятилеток, должны отражать приоритет русских и советских ученых. Материал должен излагаться в правильной методической последовательности, на высоком научном уровне и в то же время в наиболее доступной для постижения форме, простым и ясным языком.

Книга, повидимому, написана применительно к курсу «Энергоснабжение электрических железных дорог», входящему в утвержденный Министерством высшего образования СССР учебный план специальности «Электрический транспорт» транспортных вузов Министерства путей сообщения. В этом плане на курс «Энергоснабжение электрических железных дорог» отводится 70 лекционных часов. При составлении рецензируемой книги автор положил не мало труда, однако, книга содержит материал, излишний для данного курса, и поэтому она почти в три раза превышает объем, который в какой-то мере может отвечать отведенному лекционному времени.

Книга состоит из семи отделов.

Отдел I — «Описание, условия и надежность работы системы энергоснабжения» — посвящен в основном описанию первичного энергоснабжения, тяговых подстанций и контактной сети. Этот отдел в большей своей части является излишним, так как относится к вопросам, излагаемым в других курсах. В данной книге следовало бы ограничиться кратким описанием общей схемы электрических железных дорог, но зато рассмотреть подробнее режим ее работы.

Следует отметить, что этот отдел написан крайне поверхностно, особенно в части первичного энергоснабжения. Автор дает отрывочные, случайные сведения, приводит схемы без объяснений.

Отдел II — «Питание и секционирование контактной сети» — почти целиком занят вопросом защиты от токов короткого замыкания. Этому же вопросу посвящен и весь отдел IV, приведенный через 230 страниц. Это приводит к нечеткому построению книги и повторениям. В частности, защита автоматами с индуктивными щунтами рассматривается сначала в § 28; автор возвращается к этому вопросу в § 30 и, наконец, этому же вопросу посвящен § 95 отдела IV.

В отделе II содержится не относящееся к данному курсу описание конструкции быстродействующих выключателей и без нужды подробно приводится имевшийся в любом курсе электротехники вывод уравнения нарастания тока в элементарной цепи с активным сопротивлением и индуктивностью.

Полезный материал по описанию ряда схем защиты от токов короткого замыкания, к сожалению, недостаточно систематизирован; плохо освещена физическая сущность систем защиты, не показана связь между собой различных систем. Весьма поверхностно рассмотрен вопрос защиты кабелей постоянного тока.

Отдел III называется «Расчет энергоснабжения без учета проводимости грунта». Прежде всего вызывает возражение столь резко проводимое автором разграничение между расчетами с учетом и без учета проводимости грунта. Методы расчета в обоих случаях по существу одинаковы, а влияние проводимости грунта учитывается лишь как поправка к сопротивлению рельс и реактивному сопротивлению сети.

Отдел III является наиболее важной частью книги и занимает почти 40% ее объема. В этом отделе особенно необходимо было бы точно сформулировать задачи расчета энергоснабжения, дать глубокое физическое обоснование и точную классификацию величин, подлежащих расчету.

К сожалению, эти вопросы, затронутые в главе 1 отдела, изложены крайне нечетко и беспорядочно. Не подчеркнута разница в подходе к расчету величин, определяющих экономические и технические параметры, нечетки общие характеристики методов расчета, чрезвычайно поверхностно затронут вопрос о допустимых толчках и колебаниях напряжения, не подчеркнута роль режима наяржений в сети, определяющего качество энергии, подводимой к подвижному составу. Не показана разница между эксплоатационными и перспективными расчетами, не вскрыта физическая сущность расчетных параметров. Меньше одной страницы уделено важнейшему вопросу — проверке проводов на нагревание.

Глава 2 отдела III имеет заголовок «Методы расчета энергоснабжения электрифицированных железных дорог», хотя излагает только методы, основанные на анализе графика движения. Подробно и достаточно понятно изложен метод сечения графика. Вместе с тем неверным является разграничение методов равномерного сечения графика и сечения по характерным точкам, являющимся по существу лишь различными расчетными приемами одного и того же метода.

Излишни крайне примитивные и громоздкие выводы закона моментов токов, излагаемого в курсах электротехники и электрических сетей. Не следовало бы также излагать на многих страницах метод непрерывного исследования графика движения; этот метод не может быть рекомендован для расчетов, особенно при числе поездов, превышающем два.

В главах 3 и 4 отдела III рассматриваются аналитические методы расчета тяговых сетей. В главе 3 на четырех страницах упоминаются работы советских авторов, создавших аналитические методы расчета, и приводятся некоторые формулы. В главе 4 все эти методы отвергаются, причем им противопоставляется метод автора книги, изложению которого отведено 10 авторских листов. Между тем, метод автора основан на тех же принципах, что и предшествующие методы, и по существу представляет лишь попытку (к тому же, как будет показано ниже, неудачную) уточнить влияние случайных колебаний числа поездов по часам суток на пропорциональные квадрату числа поездов члены формул для определения средних потерь мощности и квадратов эффективных нагрузок. Поэтому автор должен был, по крайней мере, охарактеризовать свой метод как попытку уточнения и дальнейшего развития предшествовавших работ советских исследователей, а не как принципиально новый метод.

Переходя к оценке самого метода автора, необходимо прежде всего отметить, что и в названии и в изложении автор подчеркивает, что его метод, в отличие от предшествующих, основан на учете действительных размеров и организации движения. Однако, из рассмотрения изложенного в книге видно, что по учету размеров движения этот метод в сущности не отличается от предшествующих методов. Что же касается утверждения автора о том, что его метод основан на учете организации движения, то это утверждение следует признать неверным. Действительно, автор базируется при выводе формул только на чисто вероятностных предположениях о распределении поездов по часам суток, не анализируя и не учитывая реально возможной рациональной организации движения. Такой подход был бы основан лишь в предположении, что движущие составляют какие-то единицы, в том числе и самые нерациональные.

графики движения, или что вообще отсутствует график движения, и оно совершается без регулирования со стороны диспетчера. Но в действительности такой стихийности как в составлении графиков, так и в осуществлении движения быть не может, так как это в корне противоречит основным установкам советского железнодорожного транспорта относительно ритмичности и работы по графику. Поэтому надо признать, что формулы автора не соответствуют условиям организованного движения поездов на дорогах СССР и, таким образом, дают завышенные значения важных расчетных величин, что в результате приводит к выбору завышенных параметров тяговой сети.

Следует также заметить, что в исходных установках для расчетов сети автор предлагает ориентироваться на так называемый лимитирующий перегон, т. е. такой перегон, время хода поезда, по которому является наибольшим. Автор считает, что заботиться об увеличении скорости движения поездов имеет смысл только для лимитирующих перегонов. Ясно, что это рассуждение может иметь смысл только для случая работы дороги на пределе пропускной способности. Однако, такие условия работы электрической дороги не являются типичными и обычно имеют место лишь эпизодически, при массовых перевозках. Если же дорога работает в нормальных условиях, то забота об экономически целесообразном увеличении скорости движения поездов на всех перегонах становится обязательной, так как скорость движения по всей дороге (а не только по лимитирующему перегону) определяет время оборота подвижного состава и другие важные показатели.

Наряду с неправильными исходными предпосылками, недостатком рассматриваемого метода является то, что он приводит к чрезвычайно громоздким формулам, практическое использование которых крайне затруднительно. Упрощенные же формулы, приведенные в § 78, оказываются менее точными (в сторону завышения расчетных величин), чем даже упрощенные формулы других авторов (А. Х. Зильберталь, Н. Н. Костромитин, В. Е. Розенфельд), так как в упрощенных формулах рецензируемой книги учитывается (к тому же преувеличенно) увеличение расчетных величин из-за колебания числа поездов, но в то же время не учитывается уменьшение этих же величин из-за регулирующего влияния блокировки, ограничивающей минимальные расстояния между движущимися под током поездами. В упрощенных формулах других авторов не учтены оба эти взаимно противоположных фактора, благодаря чему ошибки в некоторой мере компенсируются.

В рецензируемой книге совершенно не затронут вопрос об аналитическом расчете максимальных нагрузок и падений напряжения, даже не упомянута поставленная Н. Н. Костромитиным проблема определения максимальных значений эффективных токов и средних падений напряжения. Не рассмотрены вопросы учета при расчете падения напряжения влияния напряжения на нагрузки тяговой сети.

Последняя глава отдела III — «Постоянные контактной сети при однофазном токе» — неудачно оторвана от § 49, посвященного расчету дорог однофазного тока, и от § 58, рассматривающего параметры сети постоянного тока. Следовало бы дать либо главу, посвященную особенностям расчетов при переменном токе, либо главу, посвященную изучению параметров сети при всех системах тока. Что касается методики расчета главы 5, то ввиду ее сложности пользование ею весьма затруднительно, а поэтому наряду с расчетными формулами следовало бы дать кривые или таблицы для определения параметров сети. Однако, такие кривые приведены лишь для простейшего случая однопутной линии без усиливающих проводов.

Отдел IV — «Расчет токов короткого замыкания в тяговых сетях постоянного тока без учета проводимости грунта», — как уже указывалось, следовало бы непосредственно связать с вопросами защиты от т. к. з. в отделе II. Неправильно название отдела IV, так как в нем излагается не расчет т. к. з., а расчет защит, в том числе и потенциальных. Формулы для расчета защиты с индуктивными шунтами не следовало приводить, так как входящие в них параметры тяговой сети при неустановившемся режиме весьма трудно определить; не даны их значения и в рецензируемой книге. Поэтому выводы этих формул не имеют практической ценности.

Отдел V — «Расчет энергоснабжения с учетом проводимости грунта» — содержит обширные выводы формул распределения токов и потенциалов в рельсовой цепи для самых разнообразных случаев и, в то же время, совершенно не содержит изложения физической сущности явлений, связанных с протеканием тока по рельсам, влияния заземления, связи между потенциалами рельс и грунта. Не объяснена физическая сущность важнейшего фактора, определяющего утечку тока — переходного сопротивления, и не даются числовые значения этого сопротивления, что исключает возможность использовать для практических целей все выведенные формулы. Ненужность для учебного пособия вывода формул распределения токов и потенциалов для разных сочетаний расстояния между поездами и подстанциями подтверждается тем, что в дальнейшем автор сам использует лишь формулы для простейшего случая симметричного расположения поездов на участках. Выводом этих формул и следовало бы ограничиться.

Сомнительно, стоило ли приводить сложные методы расчета поправок для расчета параметров сетей однофазного тока. Автор смог дать расчетные формулы лишь для частного случая однопутной дороги. В то же время все данные весьма мало зависят от конфигурации и сечений сети, но в значительно большей степени зависят от переходного сопротивления. Поэтому следовало бы подробно объяснить физическую сущность явлений и затем дать эмпирические поправочные коэффициенты для определения параметров сетей переменного тока.

Следует отметить, что весь отдел V посвящен по существу не расчету сетей с учетом проводимости грунта, а уточнению параметров тяговой сети с учетом влияния на них утечки тока в грунт. Попутно укажем на отсутствие в отделе упоминания, что учет проводимости грунта при расчете сетей постоянного тока был впервые предложен советским инженером Ю. Е. Рыбкиным, которому принадлежат формулы § 111 книги.

Отдел VI — «Влияние электрифицированной железной дороги на линии связи и подземные сооружения» — изложен весьма поверхностно. Не разобрана физическая сущность ряда систем защиты от блуждающих токов, не дается общей классификации, не приводятся примеры защит, осуществленных на Советских железных дорогах. Всем вопросам защиты уделено менее трех страниц. Опущены важнейшие вопросы контроля и измерения блуждающих токов. Весьма бегло изложены методы защиты линий связи на дорогах переменного тока и совсем не упоминается о мешающем влиянии тягового тока на цепи путевой блокировки, что особенно важно, так как связано с обеспечением безопасности движения поездов.

Последний отдел VII — «Экономические расчеты» — содержит по существу вывод формулы Шухова-Кельвина для определения наивыгоднейшего сечения проводов и целый ряд общих и весьма спорных рассуждений.

Весь отдел основан на применении нормы эффективности и сложных процентов в трактовке, безоговорочно заимствованной из трудов А. Л. Лурье и Т. С. Хачатурова. Заложенные в них принципы получили в свое время соответствующую критику, например, в журнале «Вопросы экономики», № 10 за 1948 г. — статья Мстиславского «О методологических ошибках в экономике промышленности и транспорта», а также в газете «Гудок» за 25/III—1949 г. «Вредная статейка в экономическом сборнике» (о статье А. Лурье в сборнике «Вопросы экономики железнодорожного транспорта», Трансжелдориздат, 1948 г.). Эта критика, как известно, до настоящего времени не опровергнута.

В § 123 приводится рассуждение об учете влияния потерь напряжения на скорость. Здесь автор стремится показать, что компенсировать уменьшение скорости увеличением сечения проводов и вообще усиленiem мощности системы энергоснабжения является задачей абсурдной и что компенсировать снижение скорости надо теми или иными мероприятиями на самом электровозе. В дальнейшем в книге не сделано даже попытки показать, каким образом учитывать в экономических расчетах снижение скорости, связанное с потерей напряжения в сети. Пренебрежение данным фактором не оправдано, и автор его понимает неправильно. Потеря напряжения в сети имеет два важных следствия: 1) увеличивает расход энергии на

единицу работы, производимой дорогой; 2) снижает производительность на единицу подвижного состава, что, в конечном счете, также увеличивает расходы на единицу работы, производимой дорогой.

Рассуждение о том, что снижение скорости от потери напряжения можно компенсировать другими мероприятиями, ничего не меняет в существе вопроса, так как при любой, достигнутой тем или иным способом скорости уменьшение потери напряжения даст свою, независимую составляющую повышения скорости, а следовательно, свою, независимую составляющую повышения производительности единицы подвижного состава и повышения пропускной способности дороги. Выигрыш в скорости при меньшей потере напряжения надо рассматривать на таких же основаниях, как и выигрыши при этом в уменьшении потерь энергии в проводах. Что же касается всех других способов, которые могут повысить скорость, то их необходимо использовать независимо от того, велика или мала будет потеря напряжения в сети.

Вовсе не рассмотрены вопросы экономики при выборе системы защиты от токов короткого замыкания в тяговой сети.

Серьезным недостатком книги является отсутствие полной исторической справки, где была бы отражена роль русских и советских ученых в развитии науки и техники в области энергоснабжения электрических железных дорог и отечественной промышленности в создании современного совершенного оборудования тяговых подстанций и контактной сети. Введение дает лишь очень краткую справку о существующих системах тока и напряжения, причем большая часть этой справки посвящена иностранным дорогам. Упоминаются работы Комиссии германских железных дорог по выбору системы тока и напряжения, а также аналогичные работы во Франции и Польше, но совершенно не сказано о больших и обстоятельных работах Советской комиссии под руководством С. И. Курбатова и А. Б. Лебедева по выбору системы тока и напряжения для электрификации железных дорог СССР. Не упомянуты работы русского инженера Ф. А. Пироцкого, который еще в 1876 г. первым создал систему электропропеделии по железнодорожным рельсам, и затем пустил по нем вагон с приводом от электродвигателя. Не подчеркнут высокий уровень отечественной техники, применяемый в энергоснабжении электрических железных дорог СССР.

В книге использованы многие материалы из иностранной литературы, большинство которых с успехом могло быть заменено отечественными, накопленными в нашей стране за годы сталинских пятилеток и, как правило, более ценными, чем иностранные.

На стр. 60 указывается, что с 1939 г. в СССР была поставлена проблема нового одноанодного вентиля (инжирона). На самом деле в СССР инжироны начали разрабатываться и изготавливаться еще в 1933 г. на заводе «Светлана», а затем, в 1935 г., и в ВЭИ. В книге не отмечается приоритет советских инженеров в области создания наиболее совершенных быстродействующих выключателей электромагнитного типа.

Вообще в книге крайне скучно отражен опыт электрических железных дорог СССР.

Подытоживая результаты общего рассмотрения всех отделов книги, приходится, к сожалению, отметить, что по содержанию полезным для учебного пособия можно признать лишь изложение расчета сети методом сечения графика и, в известной мере, изложение защиты от токов короткого замыкания. Все же остальное по содержанию в большей мере не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к учебным пособиям.

Наряду с изложенными недостатками построения и содержания книги, следует отметить наличие весьма большого количества отдельных ошибок. В качестве примеров можно привести хотя бы следующие места.

На стр. 5, выдвигая требования к тяговым двигателям, автор рассматривает их только с точки зрения условий работы системы энергоснабжения и поэтому приходит к неправильному выводу, что наилучшей характеристикой двигателя должна являться связь  $Fv = \text{const}$ .

На стр. 7 автор подчеркивает, что опасность электролиза подземных сооружений блуждающими токами возрастает с увеличением напряжения в контактной сети. Между тем, величины блуждающих токов связаны в основном

с величиной токов в рельсовой сети, а не с напряжением в контактной сети.

На той же странице к преимуществам системы постоянного тока автор относит «...отсутствие явления самоиндукции в проводах контактной сети...». Это утверждение противоречит основам физики. Добавим, что на стр. 132 в описании процесса короткого замыкания в цепи постоянного тока употребляется термин «индуктивные сопротивления», величины которых на стр. 133 даются в  $\text{мкн/км}$  и  $\text{мкн/км}$ . Это — двойная ошибка, так как понятие индуктивного сопротивления относится не к постоянному току, а сопротивления измеряются в  $\text{ом}$ , а не в  $\text{мкн}$ .

На стр. 63 говорится: «Недостатком синхронного-синхронного мотор-генератора является отсутствие эластичности при параллельной работе подстанций. Вследствие того, что э. д. с. генератора остается почти постоянной, нагрузка между подстанциями распределяется менее равномерно, чем в случаях, когда с увеличением нагрузки у параллельно работающих машин или подстанций напряжение падает». Здесь две ошибки. Во-первых, нельзя сравнивать э. д. с. в одном случае и напряжение в другом. А во-вторых, изменением э. д. с. у параллельно работающего синхронного генератора нельзя изменить его долю активной нагрузки. Это можно сделать лишь изменением приложенного врачающего момента от двигателя.

На стр. 89 утверждается, что при коротком замыкании на стороне переменного тока агрегат, работающий в инверторном режиме, отключается быстродействующим выключателем. Это неверно, так как быстродействующий выключатель должен быть настроен на обратный ток для защиты от обратных зажиганий, а из фиг. 57 видно, что направление тока в выключателе при инвертировании не изменяется. Здесь же указывается, что напряжение на вторичной обмотке трансформатора в выпрямительном режиме должно быть выше, чем в инверторном, что ошибочно, и в действительности все происходит как раз наоборот.

На стр. 209 в рассуждении о скорости поезда при езде по автоматической характеристике говорится, что «...уменьшение напряжения вызывает меньшее в процентном отношении уменьшение скорости...». Такое утверждение ошибочно. Это видно из соотношения для величин скорости, напряжения и тока электродвигателя

$$\frac{U - r}{v} = \frac{c}{\Phi}$$

На стр. 213 сказано: «В зависимости от напряжения находится и работа двигатель-компрессора. Этот двигатель работает с перерывами в течение коротких промежутков времени, причем включается в работу автоматически при помощи регулятора давления. Последний включает двигатель, как только вследствие расхода воздуха на эксплуатационные нужды и за счет утечки давление падает ниже установленного и выключается, как только это давление будет восстановлено. Конечно, от частоты этих включений будет зависеть температура двигателя». Здесь, во-первых, неясно — то ли двигатель работает в коротких промежутках времени, то ли перерывы работы делятся короткое время. Во-вторых, ясно, что частота включений двигатель-компрессора зависит от расхода воздуха и напряжение здесь не играет никакой роли. Следовательно, рассуждение о зависимости от напряжения теряет смысл.

На стр. 12 помещена фраза: «Стоимость энергии получается меньшей при расположении центральной станции вблизи местонахождения топлива и сильно уменьшает расходы, связанные с транспортом последнего». Отсюда получается, что меньшая стоимость энергии уменьшает расходы по транспорту топлива, тогда как смысл должен быть прямо противоположным.

На стр. 19 приведена табл. 1, о которой говорится, что она показывает рост с годами напряжения радиуса действия и пропускной способности линий передач, причем указано, что таблица составлена по схеме энергоснабжения Куйбышевской гэс. В этой таблице имеются следующие дефекты: отсутствует графа «годы», пропускная способность указана в квтч без указания времени. Кроме того, дана графа пропускной способности линии передач в  $t$  углы без пояснения, что это означает, и опять-таки без указания единицы измерения времени. В графе «Напряжение» к цифре 300 сделана сноска с непоясненным указанием, что в США было принято напряжение 287 кв.

В довершение всего говорится, что таблица проектная, тогда как имелось в виду показать фактический рост.

Нельзя не отметить применение на всем протяжении книги неправильной или нестрогой терминологии, как например: «число оборотов» вместо «скорость вращения», «средний эффективный ток» вместо «эффективный ток», «мощность энергии», «километровое сопротивление», «рутник» и т. д.

Достаточно серьезные претензии можно предъявить к книге и в отношении качества ее изложения. В книге много тяжелых и неправильных оборотов речи. Имеется чрезесчур большое количество вставных фраз в скобках.

*Настоящая рецензия по просьбе редакции журнала «Электричество» была обсуждена 18 января 1950 г. на совещании электротехнических кафедр Энергетического факультета Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова. Это совещание, проводившееся под председательством доктора техн. наук, проф. А. Е. Алексеева, отметило, что рецензия правильно оценивает содержание книги.*

*В редакцию дополнительно поступила рецензия на ту же книгу кандидата техн. наук, доц. С. Е. Кузина (ЛИИЖТ), в которой также отмечается наличие в книге доктора техн. наук, проф. К. Г. Марквардта ряда недостатков.*

*Кроме того, в редакцию было прислано заключение по книге К. Г. Марквардта, принятые расширенным методическим совещанием при Главном управлении учебных заведений МПС от 21—23 марта 1950 г. Это заключение не содержит глубокого и критического разбора содержания рассматривавшейся книги. Совещание приняло решение «Отметить в заключении недостатки книги, отмеченные самим автором!». Считая, что такого рода обсуждение учебного пособия вряд ли может оказаться плодотворным, редакция нашла целесообразным опубликовать рецензию Е. В. Чеботарева.*



## Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

Издания 1949 г.

**АДАМСКИЙ В. К. РАДИОПРИЕМНЫЕ ЦЕНТРЫ.** Допущено в качестве учебного пособия для радиотехнических факультетов вузов. 456 стр., ц. 16 руб. Связьиздат.

**КОШАРСКИЙ В. Д. СПРАВОЧНИК ПО ПРИБОРАМ ТЕПЛОГО КОНТРОЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ.** 232 стр., ц. 18 руб. Госэнергоиздат.

**КЭЙ Д., ЛЭБИ Т. СПРАВОЧНИК ФИЗИКА-ЭКСПЕРИМЕНТАТОРА.** Перевод Е. Е. Фридман под редакцией Д. Франк-Каменецкого. 299 стр., ц. 29 руб. 50 коп. Гоиздво иностранный литературы.

Перевод сделан с девятого английского издания. Справочник выпускается в течение нескольких десятков лет и представляет собрание весьма удобных таблиц разнообразных физических констант,

сведения о которых должны быть под руками в лабораторной, научной и инженерной работе. Авторы очень скрупульно отнеслись к освещению разделов, относящихся к ядерной физике и синтетическому анализу. В русском издании книги проблемы в области сведений из ядерной физики значительно восполнены рядом полезных дополнений, отвечающих современному состоянию вопроса. В книге много отмечаемых, а также, что особенно плохо, незамечаемых опечаток, в том числе в формулах, что свидетельствует о небрежности оформления этого ответственного издания.

**ЛУКОВСКИЙ Е. А. ОСНОВЫ ОПТИКИ. НАЧАЛА СВЕТОТЕХНИКИ.** 344 стр., ц. 16 руб. 25 коп. Военное изд-во.

**СПРАВОЧНИК ЭНЕРГЕТИКА ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.** 719 стр., ц. 36 руб. Гизлэгпром.

Издания 1950 г.

**ВОЙЦИВИЛЛО Г. В. ОБЩИЙ КУРС РАДИОТЕХНИКИ.** 2-е переработанное издание. 456 стр., ц. 12 руб. 75 коп. Военное изд-во.

**КАЛЕНДАРЬ-СПРАВОЧНИК «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО» НА 1950 ГОД.** Бесплатное приложение к журналу «Электричество». 210 стр. Госэнергоиздат.

**ГИНЗБУРГ З. Б., ТАРАСОВ Ф. И. САМОДЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО РАДИОПРИЕМНИКА.** 72 стр., ц. 1 руб. 50 коп. Изд-во «Московский рабочий».

**КОНАНИНСКИЙ Д. А. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩЕГО РАДИОЛЮБИТЕЛЯ.** 144 стр., ц. 4 руб. Связьиздат.

**ЛОССИЕВСКИЙ В. Л. ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.** 228 стр., ц. 12 руб. Оборонгиз.

Книга, в которой рассмотрены вопросы автоматического регулирования технологических процессов, состоит из пяти глав. В первой главе рассмотрены основные свойства объектов регулирования и автоматических регуляторов; влияние этих свойств на процесс автоматического регулирования. Во второй главе — объекты регулирования; приведены примеры устойчивых, неустойчивых и нейтральных объектов; составлены дифференциальные уравнения для них и сделана оценка некоторых свойств объектов регулирования. В третьей главе — автоматические регуляторы, их конструкции, дифференциальные уравнения, коэффициенты усиления и влияние некоторых факторов на работу регуляторов. В четвертой главе — система регулирования в целом, ее динамические свойства и методы исследования динамики автоматического регулирования. В пятой главе — определение характеристик объектов и настройка регуляторов; в конце главы даны примеры определения оптимальных настроек. Книга рассчитана на лиц, занимающихся проектированием и эксплуатацией объектов регулирования различных технологических процессов.

**ЛУКНИЦКИЙ В. В. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПАРОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ** (Министерство

высшего образования СССР. Всесоюзный заочный энергетический институт). 14 стр., беспл. Изд. МЭИ.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ЗА 1949 г. (Тезисы докладов)** (Московский энергетический институт). 61 стр., беспл. Изд. МЭИ.

**РЕЗОЛЮЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕЦИЯ ПО ЗАЩИТЕ ТРУБОПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ОТ КОРРОЗИИ** 21—23 ноября 1949 г. (Азербайджанское отделение ВНИТОЭ и Азербайджанский индустриальный институт им. Азизбекова). 14 стр., беспл. Изд. АзИИ.

\* **ФРЕНКЕЛЬ Я. И. ТЕОРИЯ ЯВЛЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.** 155 стр., ц. 5 руб. 50 коп. Гостехиздат.

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ** (Сборник общесоюзных стандартов). 565 стр., ц. 40 руб. Госэнергоиздат.

Потребность в своде стандартов на электротехнические материалы, широко применяющиеся в производстве и при ремонтах электрических машин, аппаратов и приборов, ощущалась давно. В сборник, составленном П. М. Котенко и Г. С. Плиссом, помещены полные тексты действовавших на 1 сентября 1949 г. девяноста девяти ГОСТ, ОСТ, ОСТ ВКС, ОСТ НКПИ и сорока шести ведомственных технических условий и ведомственных норматилей по электротехническим материалам. Сборник включает стандарты на термины и обозначения электротехнических материалов, на электротехнические керамические материалы, минеральные диэлектрики, цеплюзинные и волокнистые материалы, изоляционные изделия из резины и из пластических масс, на жидкие диэлектрики, на методы испытания твердых диэлектриков, а также стандарты на ферромагнитные материалы, на сплавы высоких сопротивлений и др. К серьезным недостаткам издания следует отнести то, что от сдачи Сборника в набор (12 марта 1949 г.) до выхода его в свет (практически, в конце I полугодия 1950 г.) прошло больше года (!), хотя по существу сборник является простой компиляцией отдельных официальных изданий. При этом были охвачены стандарты только до 1 сентября 1949 г., хотя у составителей и издательства оставалась возможность довести Сборник по крайней мере до 1 января 1950 г.

\* Звездочкой отмечены книги, по которым предполагается помещение рецензий.

**ЦЕНА 8 руб.**