

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

12  
1949  
ДЕКАБРЬ

ОРГАН АКАДЕМИИ НАУК СССР, МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР  
И МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

## СОДЕРЖАНИЕ

Г. М. Кржижановский — Историческая победа Ленинско-Сталинского учения об электрификации	3
Н. Г. Сушкин, П. В. Зайцев и О. Н. Рыбаков — Малогабаритный электронный микроскоп	6
В. А. Карасев — Новая система безнакального зажигания люминесцентных ламп для шахт и химической промышленности	10
Н. А. Киклевич — Влияние неравномерного воздушного зазора на характеристики и эксплуатационную надежность асинхронных электродвигателей	15
Н. А. Сазонов — Переходные явления при пуске короткозамкнутых электродвигателей	20
И. А. Федорова — Влияние мощной ртутно-выпрямительной нагрузки на устойчивость системы	30
Д. В. Разевиг и А. С. Розенфельд — Расчет электростатической составляющей индуцированных перенапряжений	31
И. А. Будзко — Расчет нелинейных активных сопротивлений	37
К. М. Поливанов — О коэффициенте полезного действия передачи энергии через четырехполосник	42
Г. А. Чайнов — О зависимости коэффициентов отдачи мощности двух произвольно выбранных точек электрической цепи	45
И. И. Ратгауз и В. А. Белоус — Бесконтактные зарядные устройства	48
Л. И. Двоскин — Техничко-экономические сравнения открытых и закрытых распределительных устройств 110 и 35 кВ	53
ИЗ ОПЫТА РАБОТ	
Д. С. Лившиц — Расчетные нагрузки электросетей	60
ИЗ ИСТОРИИ РУССКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	
Г. А. Богуславский — А. С. Попов и адмирал С. О. Макаров	69
СТАНДАРТЫ И НОРМЫ	
У. М. Литваков — Электротехнические стандарты	72
ДИСКУССИИ	
Еще к вопросу об электромагнитных единицах	76
Правила устройства электротехнических установок	78
ХРОНИКА	
Конференция читателей журнала „Электричество“ в Свердловске	81
Обсуждение книги по электротермии в Ленинградском и Московском отделениях ВНИТОЭ	82
М. О. Доливо-Добровольский	84
Профессор Л. М. Пиотровский	85
Профессор Н. Д. Цорупа	85
Профессор Ю. С. Чечет	86
БИБЛИОГРАФИЯ	
А. А. Янко-Триницкий — Книга К. А. Круга „Переходные процессы в линейных электрических цепях“	87
П. Л. Калантаров и Я. Л. Рузин — Книга Г. И. Атабекова „Релейная защита высоковольтных сетей“	89
Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике (издания 1949 г.)	90
Указатель материалов, помещенных в журнале „Электричество“ в 1949 г.	91
Вклейка — Репродукция картины Ф. С. Шурпина „Утро нашей Родины“.	

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. Глазунов**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик **В. Ф. Миткевич**, канд. техн. наук **И. А. Сыромятников**, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**

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

Адрес для телеграмм: Москва Электричество

Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 641

# Историческая победа Ленинско-Сталинского учения об электрификации

Академик Г. М. КРЖИЖАНОВСКИЙ

Учение Ленина—Сталина об электрификации, как материально-технической основе социализма, является громадным завоеванием мировой прогрессивной науки.

Электрификация всей страны является базой для создания самых передовых производительных сил и движения к решающим высотам коммунизма. В замечательной формулировке этого положения В. И. Лениным на VIII Всероссийском Съезде Советов, обсуждавшем план электрификации нашей страны, сказано:

«...если Россия покроется густой сетью электрических станций и мощных технических сооружений, то наше коммунистическое хозяйственное строительство станет образцом для грядущей социалистической Европы и Азии»<sup>1</sup>.

В наши дни мы с особой ясностью видим, насколько пророческими были эти слова.

Гигантский политический, культурный и хозяйственный рост, достигнутый нашей Родиной под гениальным руководством великого Сталина, явился превосходной иллюстрацией существа ленинско-сталинского учения об электрификации.

За годы сталинских пятилеток мы видели, как планомерная электрификация охватывала все отрасли народного хозяйства, культуры и быта; шаг за шагом завоевывались основные позиции для широкого строительства районных электростанций на базе местных видов топлива, для научно продуманного подхода к строительству гидроэлектростанций с учетом комплексного решения задач энергетики, транспорта, орошения и пр. На наших глазах все эти элементы энергетического прогресса вплотную подводили к новым величественным задачам преобразования самой природы нашей страны, к созданию районных энергетических систем на новых основах. В период сталинских пятилеток было создано своеобразное учение об Единой высоковольтной сети страны, которое должно было помочь равномерному и рациональному размещению энергетического хозяйства и производительных сил в стране как с учетом подъема национальных районов, так и с учетом разнообразных отраслей энергетики и т. д.

Известно, что одним из отправных пунктов движения в этом направлении являлось составление Государственного плана электрификации России (ГОЭЛРО), который Ленин называл второй программой партии, а Сталин — мастерским наброском действительно единого и действительно

государственного хозяйственного плана. Политическая заостренность советского плана электрификации особо ярко подчеркнута в ленинском лозунге:

*«Коммунизм есть советская власть плюс электрификация всей страны»*<sup>2</sup>.

Развивая это высказывание Ленина, товарищ Сталин писал:

«...что одной Советской власти недостаточно для продвижения к коммунизму, что для продвижения к коммунизму Советская власть должна электрифицировать страну, переводя всё народное хозяйство на крупное производство, что Советская власть готова идти по этому пути, для того, чтобы прийти к коммунизму»<sup>3</sup>.

Руководя на фронтах разгромом белогвардейцев и интервентов, товарищ Сталин, в известном письме к Ленину, разработал целую программу практических мер по осуществлению плана ГОЭЛРО. Призывая начать немедленно практический приступ к делу, товарищ Сталин предлагал громадную долю ресурсов страны сосредоточить на этих работах. Он писал:

«...интересам этого приступа подчинить по крайней мере 1/3 нашей работы (2/3 уйдет на «текущие» нужды) по ввозу материалов и людей, восстановлению предприятий, распределению рабочей силы, доставке продовольствия, организации баз снабжения и самого снабжения и пр.»<sup>4</sup>.

Далее, товарищ Сталин предусмотрел в письме все мероприятия, начиная с обеспечения работ кадрами и кончая заданиями печати по всемерной популяризации электрификации России.

Почти три десятилетия прошло с тех пор, когда товарищем Сталиным было написано это замечательное письмо, но строки его и до наших дней полны исторической значимости, наглядно показывающей величайшее мастерство автора этого письма в борьбе за соединение теории с практикой для успешной организации и реализации великой стройки.

Исторические планы индустриализации советской страны осуществлялись под руководством товарища Сталина в ожесточенных боях против оппортунистов, врагов ленинско-сталинской электрификации.

На XIV Съезде партии товарищ Сталин, в политическом отчете ЦК, подводя первые итоги героической борьбы советского народа за созда-

<sup>2</sup> Ленин. Соч., т. XXV, стр. 491, изд. 2-е.

<sup>3</sup> Сталин. Соч., т. XI, стр. 311.

<sup>4</sup> Сталин. Соч., т. V, стр. 50—51.

<sup>1</sup> Ленин. Соч., т. XXVI, стр. 48, изд. 2-е.

ние материально-технической базы коммунизма, говорил: «Особо нужно отметить вопрос об электрификации. Планом ГОЭЛРО в 1921 году намечена была постройка в течение 10—15 лет 30 электростанций мощностью в 1 500 тыс. киловатт и стоимостью в 800 млн. золотых рублей. До Октябрьской революции мощность электростанций составляла 402 тыс. киловатт. Нами построены до настоящего времени станции мощностью в 152,35 тыс. киловатт и намечено к пуску в 1926 году 326 тыс. киловатт. Если развитие пойдет таким темпом, то в 10 лет, т. е. примерно к 1932 году (минимально намеченный срок), план электрификации СССР будет осуществлен»<sup>5</sup>.

Это предвидение товарища Сталина блестяще оправдалось. По основным показателям план электрификации был выполнен в 1931 г. В максимально же намеченный срок, т. е. через 15 лет (1936 г.), он был перевыполнен почти в три раза. Таким образом электрификация нашего социалистического хозяйства приобрела в сталинских пятилетках невиданное ускорение своего роста.

Сталинское учение о неразрывной связи самого существа плановых наметок с живой силой сознательных тружеников, взявших за их осуществление, приобрело мировую известность и с особой силой сказалось в воплощении в жизнь заданий послевоенной сталинской пятилетки. Производство электроэнергии увеличилось в 1950 г. до 82 млрд. *квтчас*, а мощность электростанций возрастет до 22,4 млн. *квт*. Прирост новых мощностей в каждом году послевоенной пятилетки более чем в полтора раза превышает всю 10—15-летнюю программу ГОЭЛРО. Масштабы нашей электрификации вышли на первое место на европейском континенте и по своим решающим качественным признакам резервы прогресса ленинско-сталинской электрификации явно превосходят резервы любой страны мира.

В 1928 г. товарищ Сталин указывал:

«...под электрификацией страны Ленин понимает не изолированное построение отдельных электростанций, а постепенный „перевод хозяйства страны, в том числе и земледелия, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства“, связанного так или иначе, прямо или косвенно, с делом электрификации»<sup>6</sup>.

Это указание товарища Сталина нашло свое живое воплощение и в нынешнем громадном, можно сказать, всенародном движении по электрификации нашего сельского хозяйства, а также и в огромном росте электрификации промышленности. Наш советский электропривод не только овладел всеми новыми позициями поточного производства, но ведет своеобразную атаку на самую конструкцию машин. Быть может, мы еще недооцениваем того вранения электродвигателей в самое тело машины, которое осуществляется на наших глазах в различных областях машиностроения, ликвидируя прежнее разделение машинного агрегата на двигательный аппарат, передачу и исполнительный механизм. Нашей автоматиза-

ции и телемеханизации предстоит, в условиях планового социалистического хозяйства, продвижение вперед темпами, не имеющими примера в капиталистических странах.

Хотя армия электродвигателей завоевывает поле индустриального труда еще неравномерным охватом отдельных индустриальных подразделений, однако на всех решающих участках достигнуты знаменательные результаты. Прокатный стан Запорожья при высокой мощности двигателей главных приводов и огромном количестве электродвигателей во вспомогательных механизмах управляется автоматически четырьмя операторами.

Электротехнология во всех ее разветвлениях по линии электрометаллургии, электрохимии, электросварки и т. д., на наших глазах охватывается все более и более невиданным для капиталистических стран ускорительным процессом роста.

В 1950 г. Советский Союз по протяженности электрических железных дорог будет впереди всех стран мира.

На XVIII Съезде ВКП(б) товарищ Сталин говорил:

«У нас нет уже больше, или почти нет больше старых заводов с их отсталой техникой и старых крестьянских хозяйств с их допотопным оборудованием. Основу нашей промышленности и земледелия составляет теперь новая, современная техника. Можно сказать без преувеличения, что с точки зрения техники производства, с точки зрения насыщенности промышленности и земледелия новой техникой, наша страна является наиболее передовой в сравнении с любой другой страной, где старое оборудование висит на ногах у производства и тормозит дело внедрения новой техники»<sup>7</sup>.

Невиданными в истории техники темпами СССР построены гигантские промышленные и энергетические предприятия. Особую потенциальную значимость имеет та грандиозная мобилизация наших индустриальных возможностей, которая была проделана, по непосредственным указаниям товарища Сталина, восточным комплексом нашей энергетики и нашей индустрии — на Урале и за Уральским хребтом. Еще более поразительными являются сдвиги по линии нашего сельского хозяйства.

В 1940 г. сельское хозяйство имело в своем распоряжении: 530 000 тракторов, 182 000 комбайнов, 228 000 грузовых автомобилей и сотни тысяч других сложных и простых машин. И вот, в одно только 1949 г. сельское хозяйство получило 150 000 тракторов, 29 000 комбайнов, свыше 1 600 000 прицепных орудий и других сельскохозяйственных машин. Суммарный прирост мощности сельского хозяйства в настоящем году составит не менее 3 млн. л. с.

При рассмотрении этих изумительных темпов роста энерговооруженности нашего колхозно-сельского хозяйства невольно вспоминается старая Россия, горестные заметки Глеба Успенского

<sup>5</sup> Сталин. Соч., т. 7, стр. 308—309.

<sup>6</sup> Сталин. Соч., т. 11, стр. 254.

<sup>7</sup> Сталин. „Вопросы ленинизма“, стр. 575, изд. 11-

пресловутой четверти лошади на каждый крестьянский двор.

Планомерно проводимая электрификация сельского хозяйства играет решающую роль в ликвидации противоположностей между городом и деревней. На это указывал товарищ Сталин еще в 1925 г., обращаясь к студентам Свердловского университета:

«Необходимо, наконец, проведение плана электрификации, как средство сближения деревни с городом и уничтожения противоположности между ними»<sup>8</sup>.

Электрификация приносит деревне не только свет, радио, телефон и кино, электричество используется для молотбы, очистки зерна, силосования кормов, дойки коров, водоснабжения и т. д. Высокий уровень электрификации страны позволяет перейти теперь к новому этапу, который характеризуется электрификацией основных процессов сельскохозяйственного производства. По электрификации полеводства наша Родина занимает первое место в мире. На помощь трактору идет новая машина в виде электротрактора. Электротрактор является средством ликвидации разрыва между стационарной и мобильной энергетикой; так как в свободное от полевых работ время он может быть использован как передвижной электропривод для стационарных машин. Электротрактора начали работать в 1948 г. в ряде областей Советского Союза. В 1949 г. ими вспахано 30 тыс. га.

Электрификация становится материально-технической базой колхозного производства, так как уже в 1950 г. каждый четвертый колхоз будет располагать электроэнергией. За годы послевоенной пятилетки будут электрифицированы все совхозы и МТС, а также более 70 тыс. колхозов. Мощность только сельских электростанций в 1950 г. будет в два с лишним раза больше мощности всех электростанций царской России.

Дальнейшая электрификация сельского хозяйства тесно связана с подъемом всей культуры социалистического земледелия, с применением передовой агробиологии, сочетающей учение Мичурина о перелелке природы растений, с комплексом агрономических мероприятий Докучаева—Костычева—Вильямса. Достижения советской агробиологической науки являются основой Сталинского плана переделки природы, нашедшего свое первое отражение в известном постановлении о плане полесаживания лесонасаждений, внедрении травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР. Трудно переоценить удельный вес электрификации и новейшей машинной техники МТС в этом грандиозном Сталинском плане преобразования природы. Достаточно отметить, что развитие наших районных крупных южных и юго-восточных энергосистем, правильное использование всего каскада гидроэлектростанций Волги могли бы оказать огром-

ную помощь в этом великом деле борьбы человека, научной мысли его коллектива, со стихиями природы.

На заре нашей электрификации Ленин отдавал себе ясный отчет, что... «современная передовая техника настоятельно требует *электрификации всей страны — и ряда соседних стран — по одному плану...*»<sup>9</sup>.

Мудрая внешняя политика Советского правительства и то значение, которое имеет самый факт победоносного движения могущественного Советского государства к коммунизму, оказали неоценимую услугу и показали пример многим странам Европы и Азии в их освободительной борьбе против ига империализма. Экономика социализма строится уже на огромной части земного шара.

9 февраля 1946 г. товарищ Сталин указал уровни основного промышленного производства, к которым должен стремиться советский народ, в период ближайших пятилеток: чугуна 50 млн. т, стали 60 млн. т, угля — 500 млн. т, нефти — 60 млн. т. Эти перспективы увлекают весь советский народ и служат для него живым источником творческой энергии. Подсчеты показывают, что сталинским цифрам основной промышленной продукции к концу указанного периода должна соответствовать выработка электроэнергии, более чем в 50 раз превышающая оптимальную программу ГОЭЛРО. Если к этому добавить, что в программе развития народного хозяйства СССР предусмотрена широкая электрификация железнодорожного транспорта, то одни эти сопоставления ярко характеризуют величественные задания, стоящие в области плановой энергетики в ближайшие пятилетия.

Чем больше мы — электротехники и энергетики Советского Союза — изучаем теорию и практику воплощения в жизнь заданий ленинско-сталинской электрификации, тем больше мы убеждаемся в изумительной целеустремленности и дальновидности этих заданий.

Ленинско-сталинское учение об электрификации носит глубокий партийный характер и служит делу коммунизма. В преддверии коммунизма мир раскололся на два полярных лагеря — с одной стороны, всепобеждающие силы прогресса и мира во главе с Союзом Советских Социалистических Республик, с другой — лагерь совершенно оголтелой реакции и агрессии. В этих условиях патристическая борьба за большевистские принципы в науке в рядах советских энергетиков и за овладение ленинско-сталинской теорией приобретает решающее значение.

Кремлевские звезды привлекают сердца и мысли всего прогрессивного человечества. Каждый день приносит нам новые и новые доказательства мирового значения трудов корифеев науки Ленина и Сталина. Товарищ Сталин ведет нас к коммунизму. К передовой Советской стране и к ее вождем обращены взоры народов мира.

<sup>8</sup> Сталин, Соч., т. 7, стр. 157.

<sup>9</sup> Ленин, Соч., т. XXVII, стр. 106, изд. 2-е.



# Малогабаритный электронный микроскоп

Кандидат техн. наук Н. Г. СУШКИН, инж. П. В. ЗАЙЦЕВ  
и инж. О. Н. РЫБАКОВ

Москва

Электронный микроскоп представляет собой прибор, позволяющий получать увеличенное изображение исследуемого объекта, используя вместо света пучок быстрых электронов. Основное преимущество электронного микроскопа по сравнению со световым состоит в значительном увеличении разрешающей способности прибора. Под разрешающей способностью понимают величину, обратную наименьшему расстоянию между двумя точками или линиями, которые еще различимы. Наименьшее расстояние, разрешаемое глазом человека, определяется в 0,1—0,2 мм. Разрешающая способность светового микроскопа благодаря высоким качествам объектива ограничивается только дифракционными явлениями и определяется длиной волны света, применяемого для освещения объекта. При применении видимого света наименьшее разрешаемое расстояние для светового микроскопа составляет около 0,2 мкм.

Полезным увеличением микроскопа называется такое, при котором наименьшее разрешимое расстояние микроскопа становится равным наименьшему разрешимому невооруженным глазом расстоянию, т. е. 0,2 мм.

$$M \cdot d = 0,2 \text{ мм},$$

где  $M$  — полезное увеличение,

$d$  — наименьшее разрешимое расстояние микроскопа.

Если прибор будет давать увеличение больше полезного, то изображение будет казаться нерезким, никаких новых деталей на нем обнаружить по сравнению с изображением, имеющим полезное увеличение, нельзя.

Из сказанного вытекает, что световой микроскоп не следует использовать для увеличения более чем в 1 000—2 000 раз.

Для того чтобы рассматривать детали размером меньше 0,2 мкм, необходимо применять волны, значительно более короткие, чем волны видимой части спектра и ближайшей ультрафиолетовой части. Применение пучка быстрых электронов дает принципиальную возможность получить значительно меньшие разрешимые расстояния. Так, например, для электронов, имеющих скорость 50 000 в, длина волны равна 0,000005 мкм. Однако, реальное наименьшее разрешимое расстояние для промышленного типа электронного микроскопа равно 0,002 мкм. Тем не менее, и это значение на два порядка ниже, чем у светового микроскопа.

*Даны технические предпосылки и описание конструкции нового отечественного малогабаритного электронного микроскопа с магнитной фокусировкой.*

Следовательно, и полезное увеличение электронного микроскопа на два порядка больше светового и

равно 100 000 раз. Но отсюда совершенно не следует, что необходимо строить электронные микроскопы с таким колоссальным увеличением. Можно в электронном микроскопе получить изображение с значительно меньшим увеличением, а затем его еще раз увеличить обычным фотографическим путем. При этом разрешающая способность может быть сохранена, если правильно подобрать электронное и световое увеличения. Величина последнего определяется качеством применяемого фотографического материала. Обычные фотопластины позволяют увеличение без потери разрешающей способности изображения не менее чем в 4—5 раз. Следовательно, если в электронном микроскопе получить изображение с увеличением в 25 000 раз и затем фотографическим путем его увеличить еще в 4 раза, то получится изображение с общим увеличением в 100 000 раз, не уступающее по своим качествам изображению, полученному в электронном микроскопе непосредственно с увеличением в 100 000 раз.

Из технических соображений при работе с электронным микроскопом выгоднее получать в самом приборе возможно меньшие увеличения с последующим увеличением фотографическим путем. Чем меньше увеличение, тем больше яркость изображения при той же нагрузке образца электронным пучком. Яркость изображения при неизменной плотности тока на образце будет падать пропорционально квадрату увеличения. Малая яркость затрудняет наводку на фокус и требует продолжительной экспозиции при фотографировании. Увеличение плотности электронного тока для повышения яркости нежелательно, так как при этом образец нагревается и деформируется. Кроме того, при больших увеличениях мы значительно проигрываем в поле зрения. Проще снять при небольшом увеличении какой-нибудь участок объекта, а затем на негативе выбрать наиболее интересное место и его увеличить или целиком увеличить весь негатив, получив при этом снимок больших размеров. Например, при размере пластинки микроскопа ЭМ-100 6,5 × 9 см и фотографировании объекта с увеличением в 20 000 раз можно за счет пятикратного оптического увеличения негативного изображения, полученного в микроскопе, дове-

общее увеличение до 100 000 раз, т. е. получить отпечаток размером  $30 \times 40$  см. Для того чтобы обследовать такой же участок при том же увеличении, полученном непосредственно в микроскопе, потребовалось бы произвести 25 снимков. Обычно промышленные образцы электронных микроскопов дают максимальное увеличение в 20—30 000 раз. Но практически и это увеличение во многих случаях оказывается излишним. Прежде всего разрешающая способность в 0,002 мкм достижима только в хорошо отрегулированном приборе, при особо благоприятных условиях. При массовой работе на микроскопе его наименьшее разрешимое расстояние редко бывает менее 0,005 мкм. Кроме того, разрешающая способность определяется не только оптикой микроскопа, но зависит также от характера объекта. Так, например, органические препараты, помещенные на коллоидную подложку, не дают разрешения более 0,01 мкм. Для этих препаратов полезное увеличение составляет только 10 000 раз.

Статистика снимков, произведенных в лабораториях Института министерства электропромышленности, ГОИ, МЭИ, а также и за границей, показала, что проводимые исследования в большинстве случаев не требовали увеличений более 10—12 000 раз. Только в единичных случаях появлялась необходимость прибегать к предельным увеличениям. Переход в исследовательской работе от увеличений световым микроскопом в 1 000 раз к предельным увеличениям того же объекта электронным микроскопом мало вероятен. Для исследователя требуется изучение изображения объекта с промежуточными увеличениями, порядка 10 000 раз. Возникла необходимость в создании электронного микроскопа, дающего «средние» увеличения, но значительно более простого, чем универсальные электронные верхмикроскопы.

Для удовлетворения этой потребности Институт министерства электропромышленности сконструировал малогабаритный электронный микроскоп со следующими параметрами:

анодное напряжение 35—50 кВ, электронное увеличение, получаемое непосредственно в микроскопе, 1 000—16 000 раз, анодный ток 20—40 мкА.

Высокая разрешающая способность микроскопа позволяет дальнейшее увеличение еще в 4—5 раз в зависимости от применяемого фотоматериала.

Размер фотопластины  $45 \times 60$  мм или фотопленки  $24 \times 36$  мм.

При применении пленки, не нарушая вакуума микроскопе, можно произвести до 25 снимков.

Микроскоп представляет стенд, размерами с нормальный письменный стол, на котором вертикально установлена колонна микроскопа (рис. 1). Перед колонной расположен пульт управления. Верхней части тумбочек стенда помещаются два больших шкафика для хранения патрончиков объекта, фотокассет и других деталей микроскопа. В стенде помещается вся схема питания микроскопа и вакуумная система. Вне стенда вынесены: феррорезонансный стабилизатор напряжения, форвакуумный насос. Форвакуумный ротацион-

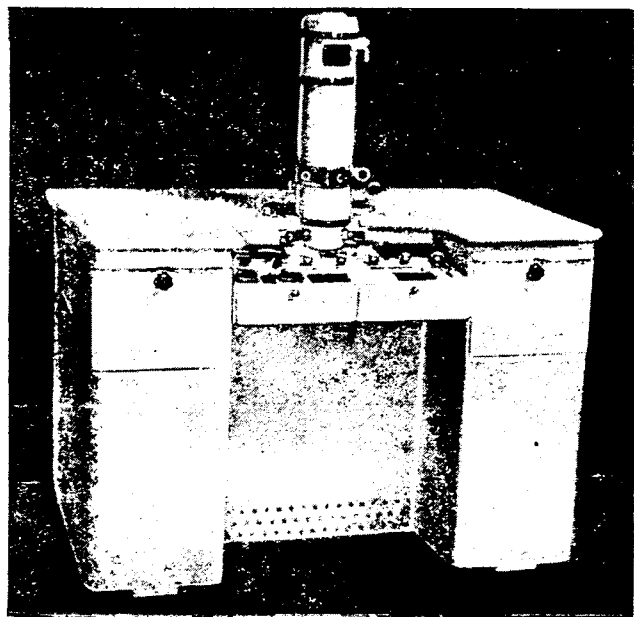


Рис. 1. Общий вид малогабаритного микроскопа МЭМ-50

ный насос устанавливается в отдельном ящике на амортизирующей подставке и соединяется с микроскопом гибким резиновым шлангом, этим изолируется колонна микроскопа от механических вибраций, сопутствующих работе насоса.

Феррорезонансный стабилизатор создает переменное магнитное поле, могущее ухудшить качество изображения, поэтому он устанавливается на некотором расстоянии от микроскопа.

**Колонна микроскопа.** Колонна микроскопа (рис. 2 и 3) состоит из четырех основных узлов: пушки, конденсорной линзы, фокусирующего устройства вместе с камерой объекта и фотокамеры. Сочленение отдельных узлов между собой осуществляется четырехзаходным винтовым затвором. Вакуумным уплотнением служит резиновая прокладка. Для соединения двух узлов и получения надежного уплотнения достаточно повернуть гайку замка на четверть оборота. При этом сборка и разборка колонны микроскопа занимает всего лишь несколько минут.

Пушка микроскопа находится внизу, фотокамера — наверху. Такое расположение оказалось рациональным для малогабаритного микроскопа. Флуоресцирующий экран находится непосредственно на уровне глаз экспериментатора. Орган управления пушкой микроскопа, электронным лучом и передвижением объекта при этом оказываются как раз на уровне рук, что облегчает работу с микроскопом при массовых исследованиях. Кроме того, частички, падающие с объекта во время исследования, не попадают на апертурную диафрагму. Диафрагма меньше загрязняется и реже требует чистки. Пушка микроскопа при таком положении колонны оказывается под крышкой стенда, что облегчает присоединение колонны к высоковольтному питающему устройству и позволяет производить откачку микроскопа также через пушку. При перепаде давления, который имеет место в колонне микро-



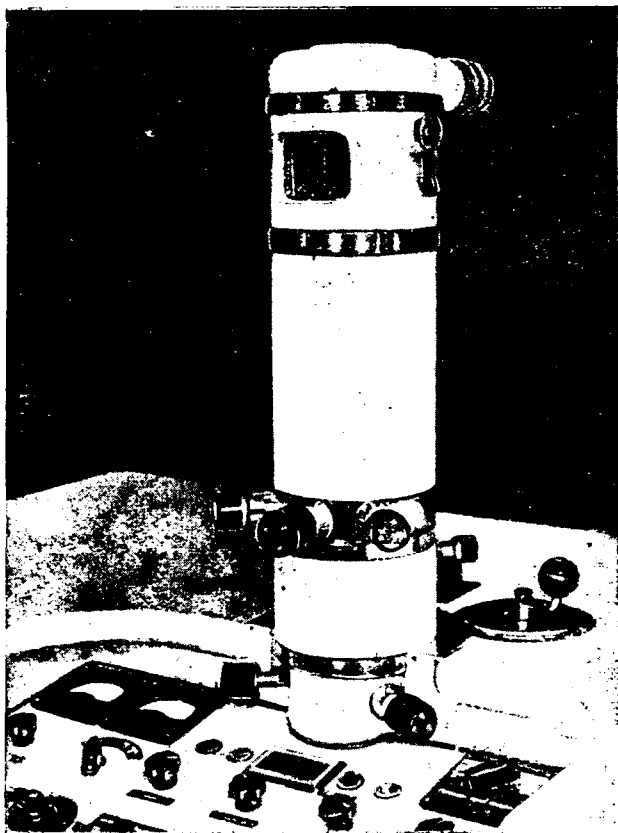


Рис. 2. Колонна МЭМ-50.

скопа, в пушке получается сравнительно более высокий вакуум, чем в остальных частях колонны.

**Пушка.** Конструкция пушки также значительно отличается от всех имеющихся в других системах микроскопов. В микроскопах всегда заземлена анодная часть, катод и фокусирующий электрод находятся под высоким потенциалом относительно земли. Обычно в электронных микроскопах катодную часть выводят наружу, присоединяя к ней кабель высокого напряжения. Такая система требует громоздкого экранирующего устройства и, вместе с тем, не всегда полностью гарантирует от несчастных случаев. Кроме того, фарфоровый или стеклянный изолятор слабо защищает от возможного рентгеновского излучения, следовательно, требуется дополнительная свинцовая защита. В описываемом микроскопе применена экранированная пушка, которая представляет собой металлический толстостенный стакан, внутри которого помещаются катод, фокусирующий электрод и анод. Ввод высокого напряжения производится с помощью бронированного высоковольтного кабеля непосредственно внутрь пушки; такая система делает ее совершенно безопасной как в отношении высокого напряжения, так и рентгеновского излучения. Кроме того, сама пушка получилась очень компактной.

Катод микроскопа представляет собой V-образную вольфрамовую проволочку, укрепленную в массивном держателе, точно центрированном относительно фокусирующего электрода. Для смены катода необходимо снять верхнюю часть

колонны в месте соединения пушки с конденсорной линзой, вынуть анод и фокусирующий электрод и заменить старый катод на новый. Вся операция смены катода, включая разборку и сборку колонны, занимает не более 5 мин.

**Конденсорная линза.** Для малогабаритного микроскопа возможно применять «осветительное» устройство и без конденсорной линзы, что уменьшило бы высоту колонны микроскопа на 8 см. Однако, применение конденсорной линзы позволяет работать при меньших анодных токах. Кроме того, микроскоп становится более удобным.

Конденсорная линза представляет собой обычную панцирную линзу. Две ручки позволяют юстировать конденсорную линзу относительно колонны микроскопа.

**Фокусирующее устройство.** Фокусирующее устройство состоит из двух линз — объективной и проекционной. Полюсные наконечники связаны общим стержнем, что позволило повысить точность сборки полюсных наконечников и этим увеличить разрешающую способность микроскопа.

Для смены или чистки полюсных наконечников необходимо снять фотокамеру и ключом вынуть блок полюсных наконечников. Набор проекционных наконечников позволяет получать электронное увеличение от 1 000 до 16 000 раз.

Камера объекта, являющаяся в конструктивном отношении одним целым с корпусом объективной линзы, содержит столик объекта, который может перемещаться в плоскости, перпендикулярной оптической оси микроскопа. Применение дифференциальных винтов и возвратных пружин позволяет плавно передвигать образец по площади  $0,5 \text{ мм}^2$ .

Образец, подлежащий исследованию, наносится принятым в электронной микроскопии способом на сетку или диафрагму. Сетка (или диафрагма) устанавливается на патрончик объекта и прижимается колпачком. Патрончик вставляется в держатель, который через отверстие в стенке камеры объекта вводится по особым направляющим в стол объекта, при этом патрончик автоматически вводится в рабочее пространство полюсных наконечников. Отверстие объекта закрывается втулкой с резиновым уплотнением. Операция смены объекта занимает вместе с откачкой около 3,5 мин.

**Фотокамера.** Изображение наблюдается на флуоресцирующем экране, помещенном на верхней крышке фотокамеры. В этом случае изображение могут наблюдать несколько человек. Для фотографирования в фотокамеру вставляется кассета с пластинкой или адаптер с пленкой; при этом кассета закрывает доступ электронам к верхнему экрану. Чтобы можно было производить наблюдения и при вставленной кассете, имеется второй флуоресцирующий экран, расположенный перед кассетой. Этот экран виден через переднее окошко в фотокамере с помощью зеркала, расположенного внутри камеры. Кассета вмещает одну пластинку размером  $45 \times 60 \text{ мм}$ . Пленочный адаптер вмещает заряд кинопленки на 25 снимков размером  $24 \times 36 \text{ мм}$ .

Передвижение пленки производится без нару-

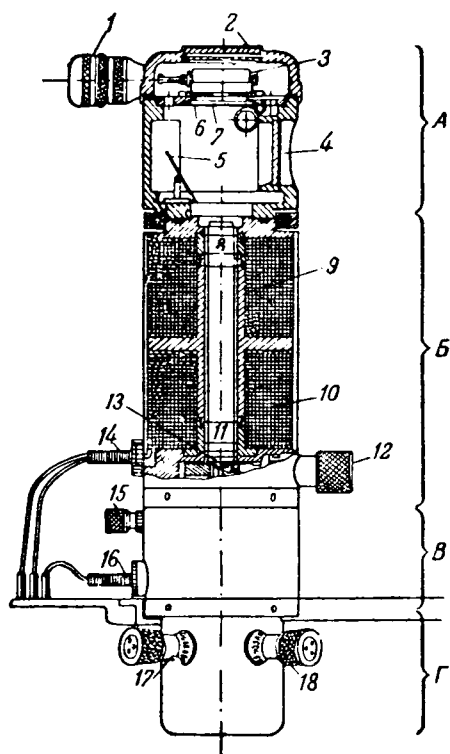


Рис. 3. Схематический разрез колонны МЭМ-50.

А — фотокамера (1 — ручка передвижения фотопленки; 2 — окошко для наблюдения изображения на верхнем флуоресцирующем экране; 3 — фотоаппарат; 4 — боковое окошко для наблюдения изображения; 5 — зеркало; 6 — флуоресцирующий экран; 7 — экспозиционная ширма). Б — фокусирующее устройство и камера объекта (8 — проекционная линза; 9 — обмотка проекционной линзы; 10 — обмотка объективной линзы; 11 — объективный полюсный наконечник; 12 — пробка из объекта; 13 — патрончик объекта и механизма объектодержателя; 14 — выводы питания линз микроскопа). В — конденсорная линза (15 — ручка управления конденсорной линзой; 16 — выводы обмотки конденсорной линзы). Г — пушка микроскопа (17 и 18 — ручки управления пушкой микроскопа).

шения вакуума, специальной рукояткой, выведенной сбоку крышки фотокамеры. Для перемещения пленки на один кадр необходимо повернуть рукоятку на один оборот. На рукоятке помещается счетчик, автоматически отсчитывающий число заснятых кадров.

Экспонирование пластинки осуществляется поворачиванием ручки экспозиции, помещенной сбоку фотокамеры. При повороте ручки на 45° флуоресцирующий экран опускается и плотно закрывает собой смотровое окошко фотокамеры; при этом фотопластинка остается закрытой специальным экспозиционным экраном. При дальнейшем повороте ручки еще на 45° экспозиционный экран открывается и пластинка облучается электронами. Такое устройство предохраняет от засвечивания фотопластинки посторонним светом через смотровое окно и рассеянным светом от флуоресцирующего экрана. Время экспозиции зависит от применяемого фотоматериала и лежит в пределах от 0,5 до 5 сек.

**Вакуумная система.** Откачивающая система микроскопа состоит из одного ротационного форвакуумного насоса и двух диффузионных насосов. Переключение вакуумной системы производится краном, ручка которого выведена на верхнюю крышку стола микроскопа. Кран имеет четыре положения. В первом — микроскоп со-

единен с атмосферой, во втором — с форвакуумным насосом, в третьем — с высоковакуумным и в четвертом — микроскоп отключается от вакуумной системы.

Вакуум контролируется разрядной трубкой, напряжение на которую подается от трансформатора. Трубка включена в вакуумную систему пушки микроскопа и помещается под окошком в пульте микроскопа. Для проверки вакуума нажимается кнопка «вакуум». Исчезновение свечения («черный вакуум») свидетельствует о достижении вакуума, пригодного для работы микроскопа.

Откачка колонны микроскопа от атмосферы до высокого вакуума происходит в течение 3 мин. С фотоматериалом откачка происходит дольше за счет обезгаживания фотоэмульсии. Время обезгаживания зависит от сорта эмульсии и количества фотоматериала и занимает от 15 до 30 мин. Обезгаженная фотопленка при последующем, кратковременном (10—20 мин.) пребывании на воздухе вторично почти не газит. Откачка микроскопа с обезгаженной пленкой требует того же времени, что и без пленки. Поэтому рекомендуется обезгаживать пленку на отдельной вакуумной установке, а потом вносить в микроскоп.

**Схема питания.** Электрическая схема микроскопа<sup>1</sup> состоит из блока питания пушки и блока питания линз микроскопа.

Блок питания пушки задает высокое напряжение между катодом и анодом, напряжение накала катода и напряжение на фокусирующий электрод. Высокое напряжение подается от выпрямителя на селеновых вентиллях или на кенотронах и регулируется ступенями — 35, 40, 45 и 50 кВ. Необходимая стабилизация обеспечивается специальным электронным стабилизатором. Питание нити накала производится переменным током от понижающего трансформатора 220/5 В, вторичная обмотка которого изолирована относительно первичной и земли на полное анодное напряжение.

Блок питания линз задает регулируемое напряжение на объективную, конденсорную и проекционную линзы. Напряжение подается от выпрямителя с применением стабилизации тока.

Кроме отдельных электронных стабилизаторов все выпрямители питаются от общего феррорезонансного стабилизатора, присоединенного к сети 220 В. Микроскоп удовлетворительно работает при изменении напряжения в сети  $\pm 10\%$ .

Все органы управления схемой питания микроскопа сосредоточены на пульте управления.

**Применение микроскопа.** Микроскоп может быть применен во всех областях, где исследователю требуются полезные увеличения порядка нескольких десятков тысяч раз. В первую очередь это: биология, металлография, порошковая металлургия, химия, материаловедение и т. д.

[1] 7. 1949].

<sup>1</sup> Схема питания разработана Ю. Б. Золоторенко под руководством Г. Ф. Захарова.



<sup>1</sup> Без специальной полосы, см. ниже.

дальнее напряжение. Предположим сначала, что вторичные зажимы  $AN$  — холостые. Индуктивность  $L_1$  включена последовательно с ферромагнитной индуктивностью  $L_m$ . В результате в точке  $P$  напряжение несинусоидально и в нем появляется, в частности, третья гармоника. Подберем емкость  $C'$  так, чтобы эта емкость была в резонансе на третью гармонику с самоиндукцией вторичного рассеяния  $L_2$ . Тогда напряжение  $E_2$  на зажимах  $AN$  в отношении основной гармоники изменится мало, но на эту основную гармонику наложится третья гармоника, возросшая по амплитуде за счет резонанса.

Если мы хотим иметь на емкости напряжение третьей гармоники, равное некоторому значению  $E_{III}$ , то ток третьей гармоники через емкость должен быть:

$$i_{III} = E_{III} \cdot 3\omega C'. \quad (1)$$

В точке  $P$  напряжение третьей гармоники отсутствует, так как система  $L_2 - C'$  не представляет сопротивления для третьей гармоники и „закорачивает“ ее. Поэтому в самоиндукции  $L_1$  отсутствует ток третьей гармоники. Следовательно, ток  $i_{III}$  является током третьей гармоники только самоиндукции  $L_m$ .

Так как  $L_1$  относительно невелико, то в первом приближении можно пренебречь гармониками пятой, седьмой и выше, считая напряжение на  $L_m$  синусоидальным. Следовательно, ток  $i_{III}$  есть третья гармоника тока ферромагнитной самоиндукции  $L_m$  при синусоидальном напряжении на ней. При достаточном насыщении этот ток составляет около 60% от основной гармоники тока:

$$i_{III} = 0,6 i_1 = 0,6 \frac{E_1}{\omega L_{m1}}. \quad (2)$$

Сопоставляя с (1), находим, что третья гармоника напряжения на емкости

$$E_{III} = \frac{0,6}{\omega L_{m1} \cdot 3\omega C'} E_1.$$

Из условия резонанса на третью гармонику:

$$3\omega C' = \frac{1}{3\omega L_2}.$$

Следовательно,

$$\frac{E_{III}}{E_1} = \frac{0,6}{\omega L_{m1} \cdot \frac{1}{3\omega L_2}} = 1,8 \frac{L_2}{L_{m1}}. \quad (3)$$

Индуктивность суммарного рассеяния  $(L_1 + L_2)$  задана режимом горения лампы (когда активный ток лампы течет параллельно емкости  $C$ ). Ток холостого хода определяется суммой  $L_1 + L_{m1}$ . Нам важно увеличить отношение  $L_2 : L_{m1}$ . Так как  $(L_1 + L_2)$  задано, то с этой точки зрения целесообразно увеличивать отношение  $L_2 : L_1$ . С другой стороны, можно уменьшать  $L_{m1}$ , но до предела, обусловленного ростом тока холостого хода (тока намагничивания). В итоге отношение  $L_2 : L_{m1}$  может быть поднято до значений 0,25 ÷ 0,35. При режиме зажигания (которому соответствует рис. 1) ток намагничивания

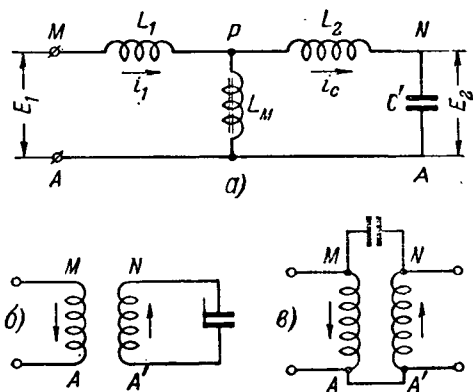


Рис. 1. Схема замещения.

получается довольно большим, но он затем падает в режиме горения вследствие перераспределения потоков со снижением индукции в железе.

В момент пика первая и третья гармоники напряжения  $E_2$  практически складываются арифметически. Так как правая часть равенства (3) численно составляет  $1,8 \times (0,25 \div 0,35) = 0,5 \div 0,6$ , то возрастание пикового напряжения на зажимах  $AN$ , происходящее от приключения емкости, будет порядка 50—60% к напряжению  $E_1$  и 65—75% по отношению к самому напряжению  $E_2$  (имеем в виду напряжения, приведенные к коэффициенту трансформации, равному единице).

Емкость  $C'$  подобрана в резонанс на третью гармонику, поэтому величина ее в 9 раз меньше, чем была бы для емкости, подобранной на основную гармонику.

Если мы соединим точки реальных обмоток  $A$  и  $A'$  (рис. 1, б), то в нашем рассуждении ничего не изменится. Если мы, кроме того, перенесем конец емкости с точки  $(A - A')$  в точку  $M$ , то на емкости лишь несколько возрастет основная гармоника (причем благодаря большому коэффициенту трансформации возрастет незначительно). В то же время мы получим автотрансформаторное включение (рис. 1, в), на которое, следовательно, распространяются наши выводы.

Данная теория — приближенная. Помимо сделанных допущений, нельзя считать  $L_1$  и  $L_2$  в точности линейными. В действительности возрастание пика напряжения  $E_2$  больше, чем указано, а именно достигает 75—100% в зависимости от точности резонанса. Это увеличение напряжения от приключения малой емкости позволяет уменьшить коэффициент трансформации вдвое, что снижает вольтамперную мощность («мощность модели») более чем вдвое (при уменьшении размеров увеличивается удельный вес естественного рассеяния с поверхностей ярем).

**Конструкция аппарата и эксплуатационные характеристики.** Конструктивная схема автотрансформатора показана на рис. 2. Имеются две обмотки  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , расположенные на разных сердечниках. Два крайних сердечника шунтируют магнитный поток через регулируемый зазор. Емкость приключена не параллельно самой лампе  $L$ , а к отводу, отступающему несколько витков. Это сделано для подгонки конденсатора к стан

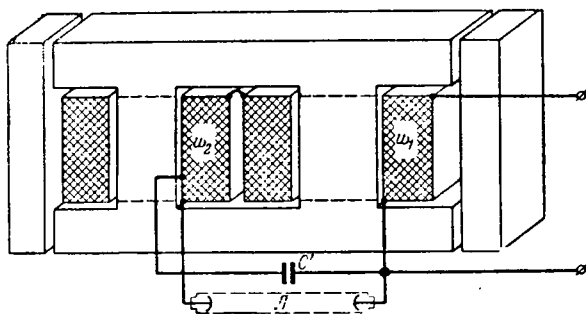


Рис. 2. Схема конструкции.

дартному значению емкости и для устранения вредного влияния емкости на электроды.

Приведенные ниже экспериментальные данные соответствуют расположению аппарата в рабочем кожухе.

На рис. 3 показана резонансная кривая в функции емкости. По оси абсцисс — значение емкости, по оси ординат — напряжение на зажимах вынужтой лампы. К первичным зажимам приложено синусоидальное напряжение 120 в. Трастованное выше резонансное повышение наблюдается при емкости  $C \approx 0,5$  мкф. При этом кривая пиковых значений напряжения доходит до 880 в. Резонанс на основную гармонику (весьма тупой) намечается при емкости около 15 мкф.

На рис. 4 представлены осциллограммы напряжения на зажимах вынужтой лампы при разных значениях емкости. Значение  $C = 0,5$  мкф соответствует резонансу. Видна резко выраженная третья гармоника.

Приведем некоторые эксплуатационные характеристики. На рис. 5 даны амплитуды напряжения на лампе до зажигания при разных значениях емкостей и питающих напряжений. Из этого графика можно сделать вывод, что при значениях емкости  $0,5$  мкф  $\pm 10\%$  и в диапазоне питающего напряжения 90 в — 130 в обеспечено надежное зажигание.

Упомянутый выше уровень 600 в гарантируется в частотном диапазоне 49—51 гц (при диапазонах  $E$  и  $C$ , показанных на рис. 5). В отдельных случаях предъявляется требование диапа-

зона 48—51 гц. Наинизшее пиковое напряжение на лампе при этом (соответствующее: 48 гц, напряжению питания 90 в, емкости 0,45 мкф) — 570 в. Для большей надежности в этих случаях мы рекомендуем нанесение проводящей полоски на стекле ламп, при которой амплитуда минимального напряжения гарантированного зажигания опускается до 500 в.

На самой емкости (на отводе) пиковое напряжение не выше 700 в во всех диапазонах.

На рис. 6 показаны кривые перегрева при горении для случая, когда аппарат не залит компаундом. При заливке компаундом перегрев уменьшится на 20—30%. Это даст возможность в дальнейшем еще уменьшить габарит.

На рис. 7 дана зависимость тока лампы от напряжения сети. Заметим, что последняя кривая значительно более благоприятна, чем при обычном стартерном накальном зажигании, где горение ниже 105 в питания недопустимо вследствие малости тока.

Нужно отметить, что при закорачивании лампы ток возрастет очень мало (влияние рассеяния) и, например, даже пробой конденсатора не опасен для обмотки.

#### Элементы расчета.

Если вторичные зажимы нашего автотрансформатора (зажимы, подключаемые к лампе) нагрузить кажущимся сопротивлением  $z$ , то, пренебрегая током намагничивания, имеем соотношения:

$$E_1 \frac{\omega_1 + \omega_2}{\omega_1} = e_2 \left( 1 + \frac{j\omega L_{s2}}{z} \right), \quad (4)$$

$$L_{s2} = \frac{1,25 Q_s \omega_2^2}{\delta} \cdot 10^{-8}, \quad (4a)$$

$E_1$  — питающее первичное напряжение;

$e_2 = E_2$  — вторичное напряжение;

$Q_s$  — площадь сечения потока в зазоре;

$\delta$  — суммарный зазор;

$\sigma$  — поправка на ярмовое рассеяние ( $\sigma > 1$ ).

Для режима горения нужно в качестве  $z$  подставлять эквивалентное омическое сопротивление лампы. Роль обычного дросселя, последовательно включенного с лампой, играет индуктивность  $L_{s2}$ .

Предварительный математический расчет может быть лишь приближенным, так как по токи рассеяния при явлениях насыщения и

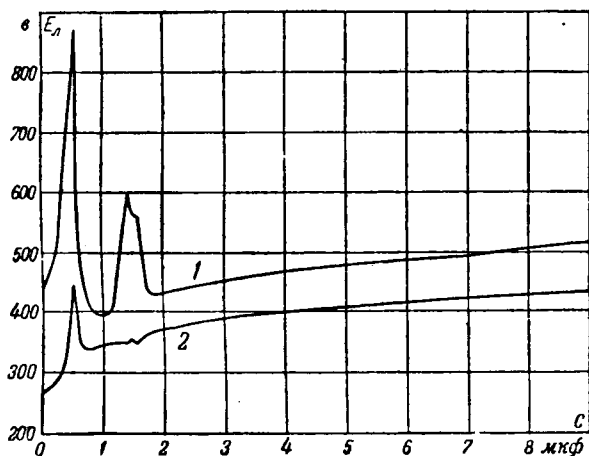


Рис. 3. Зависимость вторичного напряжения от емкости: 1 — пиковые значения; 2 — средние значения.

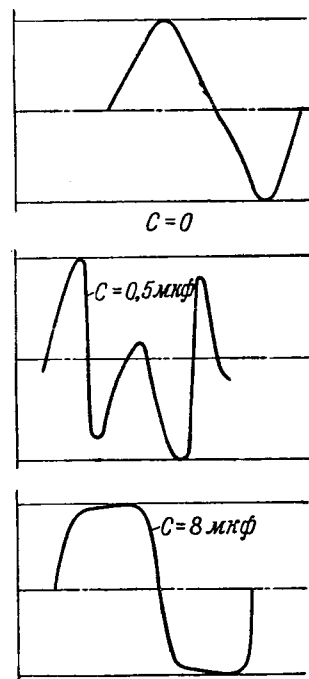


Рис. 4. Осциллограммы вторичного напряжения при разных значениях емкости.

1 — при  $C = 0$ ; 2 — при  $C = 0,5$  мкф; 3 — при  $C = 8$  мкф.

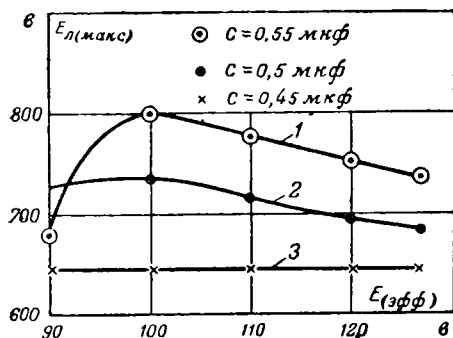


Рис. 5. Кривые напряжения на лампе до зажигания. Частота 50 гц.

1 — при  $C = 0,55$  мкф; 2 — при  $C = 0,5$  мкф; 3 — при  $C = 0,45$  мкф.

поддаются математическому учету. Кроме того, лампа сама по себе обладает резко нелинейной характеристикой.

В формуле (4) второй член в скобках много больше единицы и, кроме того, векторно складывается с единицей под прямым углом. Так как  $e_2:z = i_L$  — току лампы, то самоиндукция рассеяния:

$$L_{e2} \approx E_1 \frac{\omega_1 + \omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{1}{\omega L_L} = 120 \frac{2500}{900} \frac{1}{0,314} = 3,5 \text{ гн.}$$

Зазор согласно (4а)

$$\delta' = \frac{1,25 \cdot 10^{-8} \cdot 1600^2 \cdot 1,8 \cdot 2,8 \cdot 1,1}{3,5} = 0,05 \text{ см.}$$

Здесь  $\delta'$  — зазор одного стыка, а  $1,8 \times 2,8 \text{ см}^2$  — сечение одного стыка.

Расчет магнитных сопротивлений показывает, что при таком зазоре удельный вес ферромагнитного сопротивления потоку рассеяния еще невелик и  $L_{e2}$  относительно линейно. Поэтому сечение зазора  $1,8 \times 2,8$ , как взято, является подходящим.

Максимальная индукция в сердечнике с обмоткой  $\omega_1$ , приключенной к сети:

$$B_{900} = \frac{127}{2,22 \cdot 10^{-6} \cdot 900 \cdot 1,8 \cdot 2,8 \cdot 0,93} = 12600 \text{ гс.}$$

Наибольшее (резонансное) напряжение при зажигании на обмотке, имеющей  $\omega_2 = 1600$

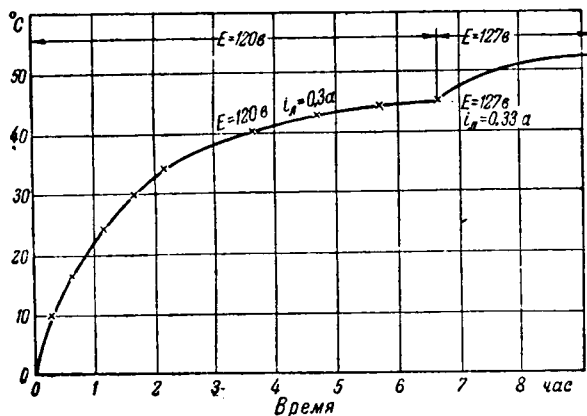


Рис. 6. Кривая перегрева.

витков, измеренное детекторным вольтметром;  $e_2 = 443 \text{ в}_{cp}$  и приблизительно индукция в соответствующем сердечнике:

$$B_{1600} = \frac{443}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 1600 \cdot 1,5 \cdot 2,8 \cdot 0,43} = 13500 \text{ гс.}$$

Это вычисление не точно, так как имеем несколько «нулей» напряжения в течение периода. Точное значение пиковой индукции в сердечнике с обмоткой 1600 витков при зажигании, измеренное с помощью интегратора и пикового вольтметра, 15300 гс.

Расчет остальных элементов не отличается от обычного расчета малых трансформаторов.

**Система «холодного зажигания» и взрывобезопасность.** При обычной стартерной накальной системе взрывы происходят по следующей причине: если незажженная лампа разбита, а затем включена, то накальная нить, соприкасаясь с кислородом, перегорает и при перегорании дает опасную искру.

Были произведены попытки сделать накал безопасным, не устраняя его. Предложена была система, идея которой заключается в том, что нить может накаливаться только в вакууме, а при атмосферном давлении ток накала исчезает. Для этого каждая нить накала разбита на два участка, между которыми имеется искровой промежуток. При зажигании к нему прилагается эффективное напряжение 200 ÷ 250 в и он пробивается. Это влечет протекание тока накала. Через некоторое время ионно-биметаллическое реле размыкает электроды, как при обычном «стартерном» зажигании. В отличие от обычного «стартера» реле многоконтактное; оно же переводит лампу с питания от 250 в (тонкая обмотка) на питание от 110 в (нормальная обмотка).

Недостатками этой системы являются ее сложность, ненадежность, необходимость в реле и нестандартных лампах, большое количество пружин. При разбивании лампы промежуток может замкнуться от сотрясения, что влечет взрыв. Отказ реле в размыкании контактов означает порчу обмотки. Лампа не может выдерживать режима горения при питании напряжением ниже 105 в, так как зависимость тока от напряжения много хуже, чем в нашей системе. Преимуществом же, как кажется с первого взгляда, является отсутствие холодного зажигания.

Цело в том, что иногда в результате старения лампы при холодном зажигании может возникнуть явление оплавления электродов, что вызывало опасения с точки зрения взрывобезопасности.

Мы испытывали на старение обычные лампы, включенные по нашей схеме, подвергая их периодическому зажиганию (горение 30 сек., выключенное состояние 60 сек.). Примерно после 1000 включений появляется потемнение около электродов. Через 3000—4000 включений лампа или совсем гаснет, или иногда начинает гореть тлеющим разрядом (дуга уже не загорается). При горении тлеющим разрядом напряжение на лампе повышается до 100—120 в. Благодаря большой величине рассеяния трансформатора ток при этом почти не изменяется и остается близким к 0,3 а.

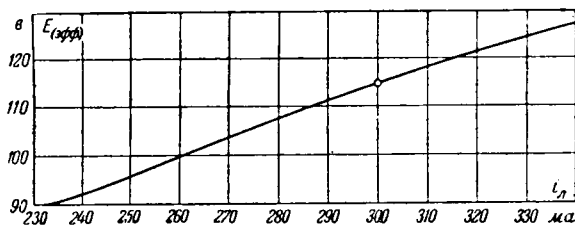


Рис. 7. Зависимость тока лампы от напряжения сети.

Таким образом, мощность, выделяемая в лампе, порядка 30 вт. Однако, явления оплавления при этом не наблюдается. Напряжение, повидимому, распределяется равномерно по столбу и выделение энергии не концентрируется около электродов. Через некоторое количество выключений лампа, горящая тлеющим разрядом, гаснет совсем.

Только один раз удалось вызвать явление оплавления. Нужно сказать, что схема может иметь также и применение, не связанное с взрывобезопасностью, а именно как средство использования ламп с разорванным накалом, но ненарушенным вакуумом (90% поврежденных ламп относятся к этому типу). Одна из испорченных ламп с разорванным накалом, испытываемая в нашей схеме, после большого количества выключений начала гореть тлеющим разрядом. При поднятии питающего напряжения до 130 в ток вырос до 0,35 а. Напряжение на лампе было при этом около 120 в. Через некоторое время начались толчки напряжения. Нить начала сильно накаляться и укорачиваться. Все явление длилось около 10 сек. Стекло около электрода сильно разогрелось, со слабым звуком треснуло и лампа погасла. По вскрытии обнаружены следы оплавления никелевых проволок, поддерживающих нить.

Бряд ли с одной лампой из тысячи может случиться это явление. Вероятность же того, что лампа будет разбита в течение тех 10 сек., когда это явление протекает, порядка  $10^{-6}$ . Вероятность неблагоприятного совпадения обстоятельств порядка  $10^{-6}$  на одну лампу.

Представление о том, что в упомянутой выше системе с искровым промежутком отсутствует холодное зажигание, основано на недоразумении. В этой системе амплитуда напряжения, зажигающего промежутка, доходит до  $250 \cdot 1,41 = 350$  в и это напряжение ложится на малый искровой зазор. Напряженность поля около электродов такая же, как в нашем случае, а именно та, которая необходима для вырывания электронов, и явление оплавления так же вероятно. Более того, имеются факторы, увеличивающие эту вероятность. Во-первых в соседстве с промежутком имеется накалившая нить. Это еще более повышает температуру и способствует оплавлению. Во-вторых нужно учесть энергетические условия.

В обеих рассматриваемых системах мы имеем схему: индуктивность  $L$ , последовательная с

эффективным сопротивлением дуги  $R_L$ . Мощность, выделяемая в сопротивлении дуги (принимаемом постоянным за период):

$$P_L = \frac{e_L}{x_L} \sqrt{E^2 - e_L^2},$$

где  $e_L$  — напряжение на лампе (дуге);

$E$  — приложенное напряжение;

$$x_L = \omega L.$$

Максимум мощности имеет место при  $e_L = E/\sqrt{2}$  и равен:

$$(P_L)_{\max} = \frac{E^2}{2x_L}.$$

В нашем случае

$$x_L = 115 \cdot \frac{\omega'_2}{\omega_1} \cdot \frac{1}{0,3} = 1075 \text{ ом}.$$

Для системы с промежутком (ток накала 0,5 а)

$$x_L = \frac{225}{0,5} = 450 \text{ ом}.$$

Максимумы мощности соответственно равны:  $\frac{350^2}{2 \cdot 1075} = 57$  вт для нашей системы и  $\frac{250^2}{2 \cdot 450} = 70$  вт для системы с промежутком. Таким образом, возможность нарастания мощности для последней системы вероятнее.

Надо сказать, что в эксплуатации предположено параллельно лампам включать тепловое реле напряжения с выдержкой времени, чтобы повышенное напряжение длительно не могло держаться на лампе ни при каких условиях. Такое реле совершенно исключает явление оплавления, так как последнему всегда предшествует относительно длительный подъем напряжения<sup>3</sup>.

Подходя к вопросу в самом общем смысле, всегда можно выдвинуть предположение, что состарившаяся лампа в отношении взрывобезопасности отлична от новой. Поэтому независимо от системы формально нужно испытывать во взрывной камере также и лампы, в определенной степени «состаренные». Например, можно испытывать лампы, подвергавшиеся 1 500 выключениям (когда появляется потемнение). При этом явление оплавления еще исключено полностью. В то же время представители специального надзора в шахтах обязаны заменять потемневшие лампы.

Необходимы дальнейшие исследования по вопросу об оплавлении и о старении ламп. Весьма вероятно, что для безнакальной системы можно выработать специальные, более устойчивые электроды.

#### Литература

1. Ю. М. Рибас. Новое в конструировании взрывобезопасных светильников. Сборник МАКНИИ, № 16, стр. 54, 1947.

[19. 7. 1949]

<sup>3</sup> По последним данным явление оплавления вообще признано безопасным.

# Влияние неравномерного воздушного зазора на характеристики и эксплуатационную надежность асинхронных электродвигателей

Кандидат техн. наук Н. А. КИКЛЕВИЧ

Донецкий научно-исследовательский угольный институт

Степень неравномерности воздушного зазора определяется отношением  $\frac{\epsilon}{\delta_n}$ , где  $\epsilon$  — эксцентриситет,  $\delta_n$  — нормальный односторонний воздушный зазор. В настоящее время допускается  $\frac{\epsilon}{\delta_n} \geq 0,1$ .

Одностороннее магнитное притяжение несколько увеличивает эксцентриситет. Если при статическом воздействии магнитного притяжения он равен  $\epsilon + \Delta\epsilon$ , то при динамическом воздействии в момент включения двигателя эксцентриситет возрастает до величины, близкой к  $\epsilon + 2 \cdot \Delta\epsilon$ . Расчеты показывают, что для рудничных электродвигателей МА-191/3М, МА-173-1/4 и 2/4 и МА-140 величина  $\Delta\epsilon$  достигает 0,5  $\epsilon$ .

Таким образом, для этих типов двигателей пределом  $\frac{\epsilon}{\delta_n}$  во время работы следует считать 0,15.

Произведенная ДОНУГИ проверка показала, что у новых рудничных электродвигателей эксцентриситет в ряде случаев значительно превышает установленное значение (табл. 1).

На рис. 1 представлены результаты проверки степени неравномерности воздушного зазора у 35 электродвигателей серии МА-140, выпущенных из ремонта в одном из электроремонтных цехов комбината «Сталинуголь». Только 3% (1 двигатель) удовлетворили существующим требованиям.

Повышенный эксцентриситет значительно увеличивает одностороннее магнитное притяжение, пропорциональное ему.

Работа двигателей с повышенной неравномерностью воздушного зазора в угольной промышленности, где надзор за состоянием оборудования затруднен, приводит к крайне нежелательным последствиям. Срок службы подшипников качения сокращается, и к моменту очередной подмены

Выясняется характер и степень влияния эксцентриситета на кривую  $M=f(n)$  и на эксплуатационную надежность электродвигателей. Приводятся данные о величине эксцентриситета у новых и у работающих рудничных взрывобезопасных электродвигателей. Предлагаются мероприятия, необходимые для уменьшения эксцентриситета.

они нередко имеют радиальный износ, достигающий 0,2—0,5 мм. Часто происходит задевание ротора за статор. 30—40% всех аварий по двигателям МА-191/3М вызваны заде-

ванием. Одностороннее магнитное притяжение нередко повышает напряжение в теле вала до величины, близкой к пределу пропорциональности, а создаваемые им знакопеременные напряжения способствуют поломкам роторных валов. Недопустимая в эксплуатации подработка подшипников качения приводит к нарушению действия уплотнителей.

Таблица 1

Тип электродвигателя	Заводской номер двигателя	Год выпуска	Максимальная величина эксцентриситета $\frac{\epsilon}{\delta_n}$	Завод-изготовитель
МА-173-1/4	453994	1947	0,31	ХЭМЗ <sup>1</sup>
МА-173-2/4ф	454443	1947	0,23	»
МА-143-2/4	—	1943	0,25	»
МА-142-1/6	422155	1947	0,34	»
МА-191-3М	881	1947	0,54	Донецкий электромеханический завод
МА-143-1/4	209386	1948	0,60	ХЭМЗ <sup>2</sup>
МА-143-1/4	234696	1948	0,40	»
МА-144-1/4	290—811	1948	0,15	Завод «Красный Октябрь»
МА-144-1/4	259—811	1948	0,15	»

<sup>1</sup> Зазоры измерялись шупами.

<sup>2</sup> Зазоры измерялись прибором ДОНУГИ [л. 1] во время работы двигателей.

Некоторое увеличение эксцентриситета после ремонтов может иметь место в любой конструкции. Представляет поэтому общий интерес выяснить характер и степень влияния искажения магнитного поля при неравномерном воздушном зазоре на нагревание и на пусковую характеристику  $M=f(n)$  асинхронного двигателя.



Нам известны две работы [Л. 2,3] по расчету магнитных полей в неравномерном воздушном зазоре асинхронного двигателя. В первой автор ограничился упрощенным решением и не учел влияния реакции ротора. Во второй применен весьма громоздкий математический аппарат. Автор пришел к явно абсурдным выводам, а именно, что при  $\frac{\epsilon}{\delta_n} = 1$  одностороннее магнитное притяжение равно бесконечности, а момент вращения — вдвое больше нормального.

Ниже приведены формулы, проверенные экспериментами и дающие результаты, достаточно близкие к действительности.

При всех выводах оси внутренней расточки статора и наружной поверхности ротора считаются параллельными, насыщение активного железа не учитывается. Приблизительно длина воздушного зазора в любой точке, определяемой координатным углом  $\varphi$  (рис. 2):

$$\delta \approx \delta_n + \epsilon \cos \varphi. \quad (1)$$

Если пренебречь высшими гармониками м. д. с., то магнитная индукция в неравномерном воздушном зазоре определится из общего выражения:

$$B \approx \frac{F}{k_\mu \delta} = \frac{F_m \cos(\omega t - p\varphi)}{k_\mu (\delta_n + \epsilon \cos \varphi)}, \quad (2)$$

где  $F_m$  — амплитуда результирующей м. д. с. главной гармоники;

$p$  — число пар полюсов статорной обмотки;

$k_\mu$  — отношение полных намагничивающих ампервитков к ампервиткам воздушного зазора, подсчитанным с учетом коэффициента воздушного зазора.

Решение уравнения (2) дает:

$$B \approx \frac{F_m}{k_\mu \delta_n \sqrt{1-m^2}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\frac{m}{2}\right)^{|n|} \cos[\omega t - (p+n)\varphi], \quad (3)$$

где  $m = \frac{\epsilon}{\delta_n}$  — относительный эксцентриситет;

$|n|$  — абсолютная величина  $n$ .

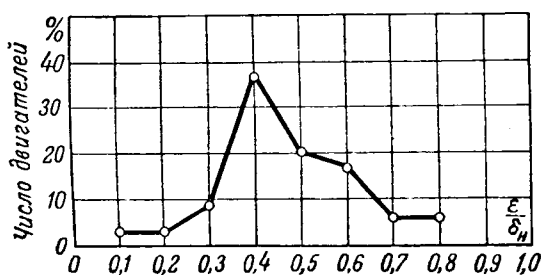


Рис. 1. Распределение находящихся в эксплуатации двигателей серии МА-140 по величине относительного эксцентриситета  $\frac{\epsilon}{\delta_n}$ .

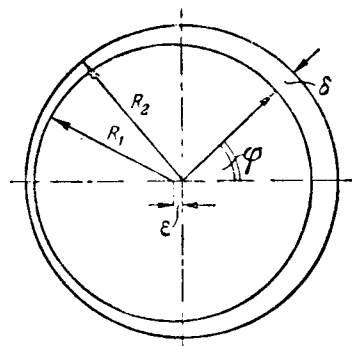


Рис. 2. Неравномерный воздушный зазор.

При  $n=0$  получим главную волну магнитной индукции, при  $n \neq 0$  — ее гармоники, обязанные своим возникновением неравномерности воздушного зазора.

Практически необходимо считаться только с двумя гармониками поля, соответствующими  $n=1$  и  $n=-1$ . Эти гармоники имеют число пар полюсов  $p+1$  и  $p-1$ .

Эксперименты (выполненные с помощью дополнительных обмоток) по определению величины гармоник с числом пар полюсов  $p \pm 1$  показали, что их фактические значения близки к расчетным только до  $\frac{\epsilon}{\delta_n} \approx 0,5$ .

Более точное решение для  $\frac{\epsilon}{\delta_n} > 0,5$  можно получить с помощью функций комплексного переменного, если допустить, что линии магнитной индукции в зазоре совпадают с дугами окружностей, пересекающих границы активного железа статора и ротора под прямыми углами. После решения по этому методу получается:

$$B = \frac{F_m}{k_\mu d R_2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a^{|n|} e^{j[\omega t - (p+n)\varphi]}, \quad (3')$$

где  $a = \frac{g}{R_2}$ ,

$$d = \ln \left[ \frac{R_2 - g}{R_2 - h} \cdot \frac{R_1 - h}{R_1 - g} \right],$$

$g$  и  $h$  — расстояния до симметричных точек  $G$  и  $H$  (рис. 3).

Вещественная часть ряда (3') вполне аналогична ряду (3) и отличается только коэффициентом перед  $\Sigma$  и величиной коэффициентов  $a^{|n|}$  соответствующих  $\left(\frac{m}{2}\right)^{|n|}$  в (3). Сравнение двух последних коэффициентов дано на рис. 4.

Из (3) и (3') можно видеть, что воздействие первой гармоники м. д. с. на неравномерный воздушный зазор создает серию гармонических полей, которые в соответствии с их происхождением будут называться в дальнейшем гармониками воздушного зазора. Все они имеют одинаковую электрическую угловую скорость  $\omega$ . Порядок каждой из этих гармоник равен числу

ее пар полюсов  $p_n = p + n$ , а направление вращения определяется знаком величины  $p + n$  (табл. 2).

Таблица 2

$p \backslash n$	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
1	6	5	4	3	2	1	$\uparrow$	1	2	3	4	5	6	7	8
2	5	4	3	2	1	$\uparrow$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	4	3	2	1	$\uparrow$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	3	2	1	$\uparrow$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	2	1	$\uparrow$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	1	$\uparrow$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Под жирной ступенчатой линией содержатся армонические прямого вращения, создающие вращательный момент в диапазоне скольжений  $s_p$  от 1 до 0, где  $s_p$  — скольжение относительно главной гармоники, расположенной столбце  $n = 0$ . Справа от жирной ступенчатой линии расположены гармоники прямого вращения, создающие двигательный вращательный момент при скольжении

$$s_p \geq 1 - \frac{p}{p+n} = \frac{n}{p+n}. \quad (4)$$

При скольжениях, меньших, чем определяемые (4), машина работает в генераторном режиме относительно этих гармоник.

Слева от жирной ступенчатой линии знаком  $\leftarrow$  показаны так называемые переменные магнитные поля:

$$B \equiv F_{\mu} a^{|n|} \cos \omega t. \quad (5)$$

Эти поля имеют униполярный характер, так как их величина и направление не зависят от угла  $\varphi$ . Поля замыкаются через вал, подшипниковые щиты и станину и индуцируют в них подшипниковые токи с частотой сети и с ампли-

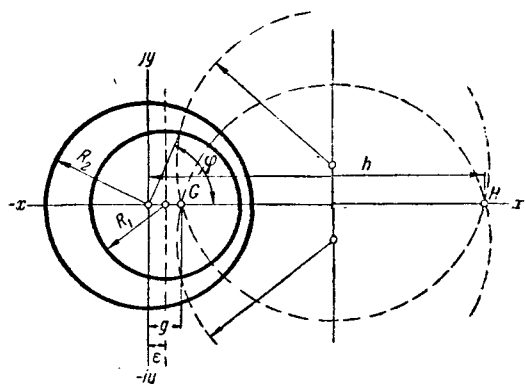


Рис. 3.

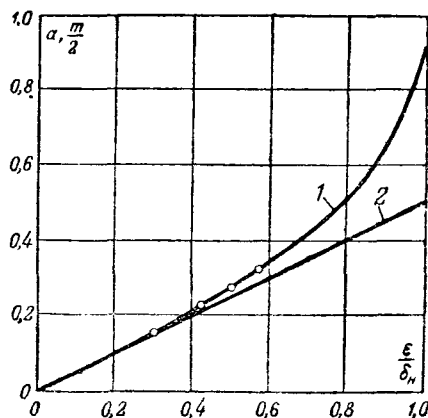


Рис. 4. Коэффициенты  $a$  (1) и  $\frac{m}{2}$  (2) в зависимости от эксцентриситета.

тудой, возрастающей при уменьшении числа пар полюсов  $p$  (что соответствует имеющимся экспериментальным данным по подшипниковым токам).

При изгибе вала, или при смещении оси железа ротора относительно оси вала, гармоники воздушного зазора определяются уравнением

$$B = \frac{F_{\mu}}{k_{\mu} d R_2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a^{|n|} e^{j \left\{ \left[ 1 + \frac{n}{p} (1 - s_p) \right] \omega t - (p+n) \varphi \right\}}, \quad (3'')$$

а переменные поля

$$B \equiv F_{\mu} a^{|n|} \cos (s_p \omega t),$$

т. е. частота их зависит от скольжения<sup>1</sup>:

$$f_n = s_p f_1.$$

При  $s_p = 0$  частота этих полей равна нулю и они, а также создаваемые ими подшипниковые токи, становятся постоянными.

Слева от переменных полей в табл. 2 расположены гармоники воздушного зазора обратного вращения, относительно которых двигатель работает в режиме противовключения во всем диапазоне скольжения  $s_p$  от 1,0 до 0.

$k_{\mu}$  у современных асинхронных электродвигателей изменяется в пределах от 1,4 до 2,0. Поэтому относительная величина амплитуд гармоник порядка  $p \pm 1$  при максимально возможном эксцентриситете  $\epsilon_{\mu} = \delta_n$  лежит в пределах

$$\frac{m}{2k_{\mu}} = \frac{\epsilon_{\mu}}{2k_{\mu} \delta_n} = 0,25 \div 0,36.$$

Опыты показали также, что насыщение не влияет заметным образом на величину гармоник воздушного зазора.

Воздействие на целую фазу обычно применяемых статорных обмоток возможно только со

<sup>1</sup> Именно это явление (а не наличие в роторе токов с частотой  $s_p f_1$ , лежит в основе известного способа определения скольжения с помощью катушки и гальванометра.

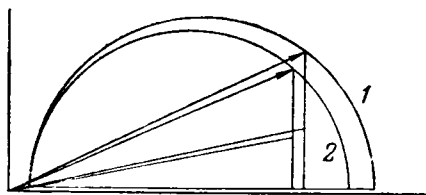


Рис. 5. Круговые диаграммы двигателя 4,5 кВт, 210 в, 1 430 об/мин, с короткозамкнутым ротором.

стороны таких гармоник воздушного зазора, для которых  $|p+n| > p$  и  $\frac{p+n}{p}$  равно целому нечетному числу. Амплитуды этих гармоник ничтожны, поэтому э. д. с. фазы и магнитный поток главной гармоники практически не зависят от величины эксцентриситета.

Величины

$$\frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \quad \text{и} \quad \frac{1}{d},$$

пропорциональные средней магнитной проводимости неравномерного воздушного зазора, увеличиваются с возрастанием эксцентриситета.

Сохранение неизменной величины магнитного потока в этих условиях возможно только при одновременном уменьшении намагничивающей слагающей тока холостого хода. Полный ток холостого хода при увеличении эксцентриситета от  $\epsilon=0$  до  $\epsilon_m=\delta_n$  равномерно уменьшается до 90—95% его номинального значения.

Потери в железе при неравномерном зазоре находятся обычно в пределах 95—105% нормы. Уменьшение потерь наблюдалось у электродвигателей с сильным насыщением активного железа и может быть объяснено ничтожным увеличением магнитной индукции в области минимального зазора и значительным ее уменьшением с противоположной стороны.

Характер влияния гармоник воздушного зазора на кривую моментов  $M=f(n)$  определяется типом роторной обмотки. У двигателей с фазной обмоткой на роторе наблюдается только общее снижение кривой моментов вследствие увеличения двойного рассеяния, являющегося результатом воздействия на обмотки статора и ротора таких гармоник воздушного зазора, для которых  $\frac{p+n}{p}$  равно целому нечетному числу.

Наличие гармоник насыщения затрудняет математический анализ и получение достаточно точных результатов. В табл. 3 приведены экспериментальные данные, характеризующие степень возможного уменьшения пускового момента при  $\frac{\epsilon}{\delta_n} \approx 1$ .

На рис. 5 показаны в масштабе две круговые диаграммы, построенные для двигателя первой строки табл. 3; диаграмма 1 — при равномерном воздушном зазоре, диаграмма 2 — при максимальном эксцентриситете  $\epsilon_m \approx \delta_n$ .

В ряде случаев, главным образом на двигателях с двойной беличьей клеткой, величина

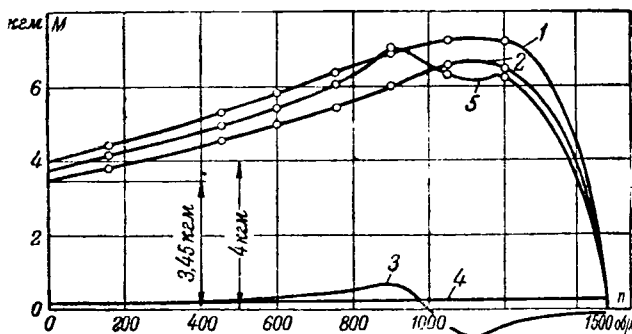


Рис. 6.  $M=f(n)$  для двигателя 4,5 кВт, 210 в, 1 430 об/мин.

1 —  $\frac{\epsilon}{\delta_n} \approx 0$ ; 2 —  $\frac{\epsilon}{\delta_n} \approx 1,0$ , но без учета асинхронных моментов, создаваемых гармониками воздушного зазора; 3, 4 — кривые вращающихся моментов гармоник воздушного зазора  $p+1$  и  $p-1$ ; 5 — сумма кривых 2, 3, 4.

снижения  $I_k$ ,  $P_k$  и  $M_n$  была незначительной и не превышала 3—4%. Однако, и в этих случаях характер изменения величин  $I_k$  и  $P_k$  подтверждал наличие уменьшения пускового момента при увеличении эксцентриситета.

В роторных обмотках в виде беличьей клетки двойное рассеяние создается большим количеством гармоник воздушного зазора. Но, с другой стороны, токи, индуктированные ими в стержнях беличьей клетки, часто заглушают гармоники зазора, что вызывает снижение амплитуды гармоник воздушного зазора до 50—60% расчетных значений.

На форму кривой моментов у двигателей с роторной обмоткой в виде беличьей клетки влияют также асинхронные моменты, создаваемые гармониками воздушного зазора (рис. 6 и 7).

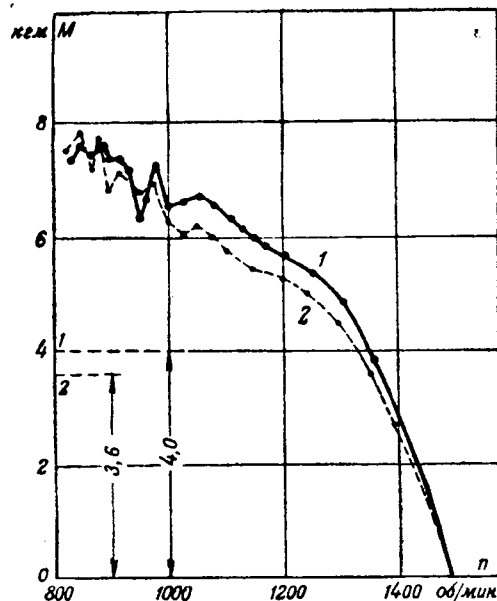


Рис. 7. Экспериментальные кривые  $M=f(n)$  двигателя 4,5 кВт, 210 в, 1 430 об/мин.

1 —  $\frac{\epsilon}{\delta_n} \approx 0,3$ ; 2 —  $\frac{\epsilon}{\delta_n} \approx 0,85$  (пусковой момент при  $\frac{\epsilon}{\delta_n} = 0,85$   $\approx 3,6$ , при  $\frac{\epsilon}{\delta_n} = 0,3$   $M = 4,0$ ).

представлены расчетные и экспериментальные кривые для электродвигателя первой строки табл. 3).

Таблица 3

Характеристика двигателя	Относительный эксцентриситет $\frac{e}{\delta_n}$	Напряжение при сопротивлении обмотки $U, \text{ в}$	Ток $I_k, \text{ а}$	Мощность $P_k, \text{ вт}$	Пусковой момент $M_n$	
					кгм	%
4,5 кВт, 120/210 в . . . . .	0	210	102	15 650	4	100
9/167 а, 1 430 об/мин, короткозамкнутый ротор . . . . .	1,0	210	96,5	13 850	3,45	86,5
7 кВт, 127/220 в . . . . .	0	220	66,5	10 250	2,12	100
42/14 а, 1 450 об/мин, фазный ротор . . . . .	1,0	220	66,5	9 130	1,875	89,0
МА-173-1/4, 14,5 кВт, 80 в, 1 485 об/мин, короткозамкнутый ротор . . . . .	0	380	163	40 660	20	100
	1,0	380	160	38 250	19,3	95,0

На рис. 8 представлена экспериментальная кривая  $M=f(n)$  для двигателя МА-173-1/4, 4,5 кВт, с двойной беличьей клеткой на роторе. Здесь можно видеть только общее снижение всей кривой. Коэффициент мощности, как показали расчеты и эксперименты, при роторе с наружкой практически не зависит от величины эксцентриситета. Следствием неравномерного распределения магнитного поля являются неодинаковые удельные потери в железе. Измерения, проведенные с помощью заложенных в пазы статора термодатчиков, показали, что в предельном случае  $\frac{e}{\delta_n} = \text{от } 0,8 \text{ до } 1,0$  при работе двигателя с полной нагрузкой перегрев обмотки в пазах, прилегающих к наименьшему зазору, превышает допустимый не более чем на 5—6% (лишь в редких случаях на 10%).

**Выводы.** 1. Электродвигатели небольшой мощности в ряде случаев работают с недопустимо высоким эксцентриситетом, достигающим иногда 70—80% величины одностороннего воздушного зазора.

2. Эксцентриситет после ремонтов резко возрастает, что в значительной степени объясняется невысокой износостойкостью серого чугуна, чаще всего применяемого для изготовления капителей и подшипниковых щитов.

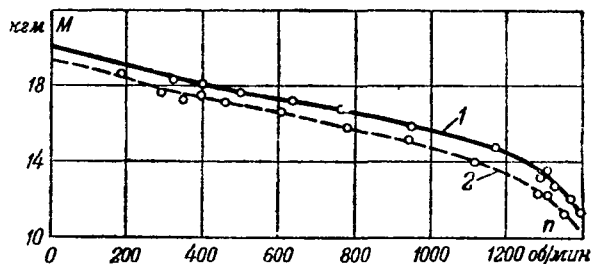


Рис. 8. Экспериментальные кривые  $M=f(n)$  двигателя МА-173-1/4, 14,5 кВт, 1 485 об/мин.

1 —  $\frac{e}{\delta_n} \sim 0$ ; 2 —  $\frac{e}{\delta_n} \sim 0,5$ .

3. Работа с повышенным эксцентриситетом вызывает: а) снижение кривой моментов, достигающее в некоторых случаях 10—13%; б) увеличение местного перегрева, достигающее 5—6%; в) увеличение одностороннего магнитного притяжения до 400—600% расчетных значений.

4. Устранение причин, вызывающих повышенный эксцентриситет в двигателях небольшой мощности, должно пойти, главным образом, по линии улучшения конструкции и технологии с целью дальнейшего повышения эксплуатационной надежности двигателей, и в меньшей мере — путем создания возможности контроля равномерности зазора у новых машин, при ремонтах и в процессе эксплуатации.

Детали двигателей должны быть настолько прочными и устойчивыми в отношении износа, чтобы к концу амортизационного срока службы устанавливающийся во время работы эксцентриситет был (при удовлетворительном состоянии подшипников) не выше некоторой предельной величины, которая должна быть установлена заводами-изготовителями.

5. Расчеты механической прочности вала и подшипников должны производиться с учетом предельно допустимого в эксплуатации эксцентриситета.

#### Литература

1. Н. А. Киклевич. Контроль воздушных зазоров у асинхронных электродвигателей на рудничных установках. Промышленная энергетика, № 9, 1948.
2. F. Heller. Das Luftspaltfeld in Asynchronmaschinen. A. f. E., т. 28, № 8, 1934.
3. H. Buchholz. Die mechanischen Kräfte an den excentrisch rotierenden Läufer. A. f. E., т. 28, № 6, 1934.
4. А. Н. Ларионов. О токах в подшипниках электрических машин и способах устранения их. Электричество, № 9, 1927.

[28.6. 1949]



# Переходные явления при пуске короткозамкнутых электродвигателей

Кандидат с. х. наук Н. А. САЗОНОВ

Москва

Современное развитие электрификации характеризуется широким применением электрических систем переменного тока, в которых мощности генератора и двигателей, питаемых от генератора, близки друг к другу.

Наиболее широкое распространение такие системы получили в практике сельской электрификации. Желание максимально использовать местные энергетические ресурсы и, в частности, гидро-ресурсы мелких рек приводит к массовому строительству сельских электростанций мощностью до 50 кВт. Вместе с тем, внедрение электрической энергии непосредственно в производственные процессы сельского хозяйства ведет к широкому применению электрических короткозамкнутых двигателей мощностью 15—20 кВт. Электрические же тракторы и комбайны требуют электродвигателей мощностью уже 30—40 кВт.

Соизмеримость мощностей генераторов и двигателей имеет место в лесной и торфодобывающей промышленности, в корабельных и самолетных установках, во всех случаях питания электродвигателей от передвижных электростанций и т. п.

В то время как применение короткозамкнутых электродвигателей всюду является наиболее желательным, большой пусковой ток этих двигателей при прямом включении вызывает во всей системе, питаемой от генератора малой мощности, резкое падение напряжения, что делает невозможным или сильно затрудняет разбег двигателя при пуске и одновременно нарушает устойчивость работающих в системе электродвигателей.

Опубликованные работы по переходным явлениям в асинхронных машинах [Л. 1, 2, 3, 7, 8] касаются почти исключительно случаев, когда скорость вращения машин в течение переходного режима остается постоянной. Лишь в работах Е. Я. Казовского [Л. 4], опубликованных в последнее время, рассматриваются переходные

*Показана физическая картина переходных явлений, возникающих при пуске к.-з. двигателей. В наиболее простой и доступной для практического расчета форме даны уравнения для пускового тока и вращающего момента при пуске. Исследовано изменение напряжения на зажимах двигателя при пуске и предложены формулы для расчета падения напряжения. Дан анализ переходных явлений в синхронном генераторе, при пуске двигателя, для случая, когда мощности генератора и двигателя близки друг к другу. Определены условия устойчивости работы двигателей в сети при колебаниях напряжения, обусловленных пуском двигателей. Сделаны выводы о мероприятиях, облегчающих пуск двигателей в сетях малой мощности.*

явления с учетом изменения скорости вращения машины. Опытные исследования переходных явлений, известные из опубликованных работ, были, как правило, выполнены на крупных машинах, и по этому в этих работах не были выявлены особенности поведения в переходных режимах электрических машин малой

мощности. Эти особенности сводятся, по крайней мере, к следующим:

а) активные сопротивления обмоток машин малой мощности, составляя от 10% до 100% от реактивных, играют существенную роль в переходных явлениях;

б) маховые массы вращающихся частей относительно малы, и поэтому машины резко реагируют на изменение вращающего момента;

в) скорости изменения электромагнитных и механических явлений при пуске двигателя близки между собой; например, из диаграммы скорости разбега короткозамкнутого двигателя мощностью 0,25 кВт (рис. 1) следует, что двигатель получает при разбеге столь большое ускорение, что уже при повороте ротора в пространстве на 270° достигает почти синхронной скорости.

В результате теоретического и опытного исследований переходных явлений при пуске короткозамкнутых двигателей и, в частности, применительно к условиям электрической системы малой мощности ниже описывается физическая картина явлений и предлагаются практические методы расчета переходных явлений. В заключение указываются мероприятия, осуществление которых расширит применение асинхронных короткозамкнутых двигателей в практике электрификации от источников малой мощности.

**Физическая картина переходных явлений в двигателе при пуске.** При включении короткозамкнутого двигателя в электрическую сеть в обмотках статора и ротора двигателя возникает переходный ток. Этот переходный ток можно пред-

ставлять состоящим из тока принужденного режима и из тока свободного режима.

Ток принужденного режима зависит от приложенного к двигателю напряжения и от полного сопротивления двигателя. В первый момент пуска, пока двигатель остается еще неподвижным, током принужденного режима будет ток установившегося трехфазного короткого замыкания двигателя. При разбеге ротора ток принужденного режима будет изменяться по мере изменения полного сопротивления двигателя.

Ток принужденного режима в каждой из обмоток двигателя можно разложить на две слагающие: намагничивающий ток и вторичный ток. Сумма намагничивающих токов обмоток дает общий намагничивающий ток. Сумма общего намагничивающего тока и обратной величины приведенного вторичного тока дает первичный ток.

Ток свободного режима, возникнув в момент включения двигателя, и будучи в этот первый момент равным по величине и противоположным по знаку мгновенному значению тока принужденного режима, затем постепенно затухает по аperiодическому закону. Ток свободного режима, возникший в каждой из обмоток двигателя, можно рассматривать, подобно току принужденного режима, состоящим из двух слагающих, соответствующих намагничивающему и вторичному токам. Пока ротор остается неподвижным, токи свободного режима в обмотках статора и ротора имеют характер аperiодических затухающих токов. При вращении ротора характер токов свободного режима становится уже другим.

Так как магнитные поля, возбуждаемые аperiодическими токами свободного режима, неподвижно связаны с соответствующими обмотками двигателя, то при вращении ротора они будут наводить в обмотках статора и ротора токи, имеющие характер переменных затухающих токов. Частота изменения этих токов будет зависеть от скорости вращения ротора; амплитудное значение их будет пропорциональным мгновенному значению соответствующего магнитного поля свободного режима и скорости вращения ротора. Эти добавочные токи вместе с аperiодическими токами свободного режима дают результирующий ток свободного режима при вращении ротора, имеющий характер переменного затухающего тока.

Таким образом, относительно токов свободного режима, возникающих при включении двигателя, можно сказать следующее.

1. При включении двигателя, ротор которого заторможен, возникающий в обмотках статора и ротора ток свободного режима имеет характер аperiодического затухающего тока. Этот ток можно разложить на две слагающие, соответствующие намагничивающей и вторичной составляющим тока принужденного режима.

2. При включении двигателя, ротор которого вращается с постоянной скоростью, возникающий в обмотках статора и ротора ток свободного режима имеет характер переменного затухающего тока. Этот ток можно разложить на две слагающие, соответствующие намагничивающей и вторичной составляющим тока

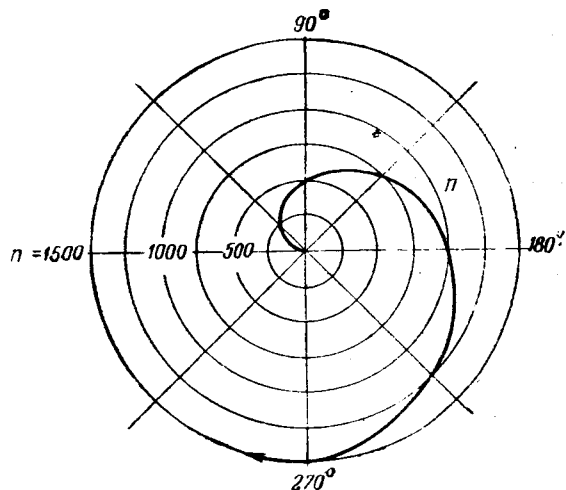


Рис. 1. Диаграмма разбега двигателя 0,25 кВт вхолостую.

принужденного режима. Каждую из двух полученных слагающих можно разложить еще на две слагающие, одна из которых будет представлять собой аperiодический затухающий ток, возникший в момент включения, а другая — переменный затухающий ток, наведенный в обмотке вращающимся (по отношению к данной обмотке) магнитным полем свободного режима противоположной обмотки. Частота этого переменного тока будет зависеть от скорости вращения ротора.

3. При включении двигателя, ротор которого в первый момент неподвижен, а затем разбегається до номинальной скорости, картина токов свободного режима может быть представлена в следующем виде. Возникающий в обмотках статора и ротора в момент включения двигателя ток свободного режима имеет характер аperiодического затухающего тока, пока ротор остается неподвижным. Этот ток, как уже указывалось выше, можно разложить на две слагающие, соответствующие намагничивающей и вторичной составляющим тока принужденного режима.

Вращение ротора при разбеге двигателя вызовет в обмотках статора и ротора возникновение переменных токов, наведенных вращающимися магнитными полями свободного режима, как это имеет место в рассмотренном выше случае включения двигателя, ротор которого вращается с постоянной скоростью.

Эти переменные токи будут иметь следующие особенности. Во-первых, частота их не будет постоянной, а будет меняться по мере изменения скорости вращения ротора. Во-вторых, огибающая амплитуд этих переменных токов не будет иметь характер аperiодической затухающей кривой, как это имело место в предыдущем случае. Амплитуды этих переменных токов, являясь результатом действия, с одной стороны, затухающего магнитного поля свободного режима и, с другой стороны, возрастающей скорости вращения ротора, будут сначала увеличиваться от нуля до максимальной величины, а затем уменьшаться до нуля.

Нетрудно себе представить, что возрастание амплитуд этих переменных токов до максимума будет происходить тем быстрее, а уменьшение (затухание) — тем медленнее, чем быстрее будет разбегаться двигатель. Другими словами, эти переменные токи свободного режима могут оказаться существенными факторами, воздействующими на режим разбега двигателя.

**Уравнение переходного пускового тока.** Исходными соотношениями для вывода уравнения являются известные выражения баланса э. д. с. статора и ротора. Сделаем обычные при исследовании переходных режимов допущения: приложенное напряжение синусоидально; на статоре и роторе имеется по одной системе синусоидально распределенных обмоток; магнитное насыщение учитывается только выбором соответствующего значения индуктивностей; взаимоиндуктивность статора и ротора, имеющая коснусоидальный характер изменения при вращении ротора, принимается постоянной и равной ее кажущемуся значению (среднему значению за один оборот); потери в стали, влияние гистерезиса и вихревых токов не учитываются; рассматривается основная гармоника тока.

Вместо мгновенных значений тока и напряжения, которые в один и тот же момент времени будут различными для отдельных фаз, введем обобщенные векторы токов и напряжений [Л. 3]. Тогда исходные выражения в операторной форме напишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= i_1(r_1 + pL_1) + i_2 pM; \\ 0 &= i_2[r_2 + (p - j\omega_p)L_2] + i_1(p - j\omega_p)M. \end{aligned} \right\} (1)$$

Обозначения приведены в приложении.

Строго математическое решение системы уравнений (1) возможно лишь при условии, когда  $\omega_p$  является постоянной величиной, т. е. для случаев, когда включение двигателя производится при заторможенном роторе или при вращении ротора с постоянной скоростью.

Решение относительно токов в статоре и роторе для обоих случаев можно, пользуясь теоремой разложения, привести к следующему общему виду:

$$i = \frac{Ue^{j(\omega_0 t + \psi)}}{Z} + \frac{Ue^{j\psi}}{Z'} e^{p_1 t} + \frac{Ue^j}{Z''} e^{p_2 t}. \quad (2)$$

Первая слагающая уравнения (2) представляет собой ток принужденного режима. Полное сопротивление току принужденного режима в статоре и выражается уравнением:

$$Z_1 = \frac{L_1 \left[ \frac{1}{T_1 T_2} + \omega_0 \omega_p \sigma - \omega_0^2 \sigma + j\omega_0 \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) - j \frac{\omega_p}{T_1} \right]}{\frac{1}{T_2} + j(\omega_0 - \omega_p)}. \quad (3)$$

Вторая и третья слагающие уравнения (2) представляют собой токи свободного режима,

соответствующие намагничивающей и вторичной составляющим тока принужденного режима:

$$Z'_1 = \frac{L_1 \left[ (p_1 - j\omega_0) \left( 2p_1 \sigma + \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} - j\omega_p \sigma \right) \right]}{p_1 + \frac{1}{T_2} - j\omega_p}, \quad (4)$$

$$Z''_1 = \frac{L_1 \left[ (p_2 - j\omega_0) \left( 2p_2 \sigma + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_1} - j\omega_p \sigma \right) \right]}{p_2 + \frac{1}{T_1} - j\omega_p}. \quad (5)$$

Подобные выражения имеют место и для ротора.

Коэффициенты затухания  $p_1$  и  $p_2$  второй и третьей слагающей тока включения определяются из уравнения:

$$p_{1,2} = - \left( \frac{1}{2\sigma T_1} + \frac{1}{2\sigma T_2} - j \frac{\omega_p}{2} \right) \pm \sqrt{\left( \frac{1}{2\sigma T_1} + \frac{1}{2\sigma T_2} - j \frac{\omega_p}{2} \right)^2 - \frac{1}{\sigma T_1 T_2} + j \frac{\omega_p}{\sigma T_1}}. \quad (6)$$

Другими словами, эти коэффициенты являются комплексными величинами вида  $p = n + jm$ . При этом действительная часть коэффициента определяет скорость затухания, а мнимая часть — частоту изменения тока свободного режима.

Действительные и мнимые части коэффициентов  $p$  для каждой из слагающих тока свободного режима будут меняться в зависимости от скорости вращения ротора  $\omega_p$ .

Введя упрощение, что  $\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{T}$ , можно видеть, что пока

$$\frac{\omega_p^2}{4} < \frac{1}{T^2} \left( \frac{1-\sigma}{\sigma^2} \right),$$

действительная часть коэффициента первой слагающей тока свободного режима, которая соответствует намагничивающей составляющей тока принужденного режима, будет увеличиваться, а для второй слагающей — уменьшаться.

Мнимая часть корней при этом остается для обеих слагающих одинаковой и равной половине скорости вращения ротора.

При дальнейшем увеличении скорости вращения ротора, когда

$$\frac{\omega_p^2}{4} > \frac{1}{T^2} \left( \frac{1-\sigma}{\sigma^2} \right),$$

действительные части корней становятся для обеих слагающих одинаковыми и равными  $-\frac{1}{\sigma T}$ .

В то же время мнимая часть коэффициента первой слагающей тока свободного режима, т. е. частота изменения тока при возрастании  $\omega_p$ , будет увеличиваться, а для второй слагающей — уменьшаться.

Для случая, когда

$$\frac{\omega_p^2}{4} = \frac{1}{T^2} \left( \frac{1-\delta}{\sigma^2} \right),$$

коэффициенты  $p_1$  и  $p_2$  равны между собой.

Чтобы получить уравнения для случая, когда двигатель включается при заторможенном роторе, достаточно подставить в полученные уравнения (4), (5) и (6)  $\omega_p = 0$ . В этом случае вторая и третья слагающие уравнения (2) будут представлять собой аperiodические затухающие токи, начальные значения которых равны и противоположны по знаку намагничивающей и вторичной составляющим тока установившегося короткого замыкания двигателя.

Коэффициенты  $p_1$  и  $p_2$  в этом случае будут действительными величинами и при упрощении, когда  $r_1 = r_2 = r$  и  $L_1 = L_2 = L$ , становятся равными:

$$p_1 = -\frac{r}{L+M} \quad \text{и} \quad p_2 = -\frac{r}{L-M}. \quad (6')$$

Вывести уравнение для пускового тока при разбеге двигателя, пользуясь исходными уравнениями (1) и обычными методами, не представляется возможным. Как показал Е. Я. Казовский [Л. 4], при выводе уравнения переходного тока с учетом изменения скорости вращения, численное решение задачи может быть несколько упрощено применением для комплексного аргумента интегралов Френеля. Однако, и в этом случае получается весьма сложное выражение для переходного тока.

Пуск двигателя складывается как бы из двух процессов, хотя и тесно связанных между собой, но имеющих существенное различие, а именно: из включения двигателя при неподвижном роторе, когда имеют место только электромагнитные явления, и из разбега ротора, когда электромагнитные явления становятся связанными с механической скоростью ротора.

Пользуясь изображенной выше, физической картиной переходных явлений и приведенными аналитическими выражениями для токов переходного режима, найдем более простое уравнение для пускового тока. Не будучи выведенным строго математически и имея тем самым приближенный характер, уравнение все же может быть приемлемым для практических расчетов.

При разбеге ротора ток принужденного режима будет меняться от тока установившегося короткого замыкания до тока холостого хода, если двигатель не нагружен.

Закономерность изменения тока принужденного режима при разбеге ротора в зависимости от скорости вращения ротора дается первой слагающей уравнения (2), которая, таким образом, будет общей и для уравнения пускового тока.

Подставляя в уравнение (3) различные значения  $\omega_p$  (от  $\omega_p = 0$  до  $\omega_p = \omega_0$ ), получим полные сопротивления для тока принужденного режима и разбега двигателя в зависимости от скорости вращения ротора. Располагая зависи-

мостью  $\omega_p = f(t)$  или задавшись этой зависимостью, можно определить изменение тока принужденного режима в течение пуска как функцию времени.

Токи свободного режима, возникшие в обмотках двигателя при включении, будут иметь аperiodический затухающий характер, пока ротор неподвижен. Начальные значения этих токов и коэффициенты их затухания определяются уравнениями (4), (5) и (6) при подстановке в них  $\omega_p = 0$ .

При вращении ротора возникают добавочные переменные токи, наведенные в обмотках вращающимися магнитными полями свободного режима, и вместе с ранее возникшими аperiodическими токами они образуют полный ток свободного режима.

Значения токов свободного режима при разбеге двигателя для любой заданной скорости вращения ротора будут отличаться от значений токов свободного режима, возникших в обмотках при включении двигателя с вращающимся ротором. Это различие заключается в следующем. При включении двигателя, ротор которого вращается с постоянной скоростью, начальное значение тока свободного режима определяется величиной тока принужденного режима, соответствующего данной скорости вращения ротора. В случае же разбега двигателя, значение тока свободного режима для той или иной скорости вращения ротора определяется величиной, которой достигает к моменту времени, соответствующему заданной скорости вращения ротора, аperiodический затухающий ток, возникший в момент включения двигателя. Ток же принужденного режима, имеющий место при данной скорости вращения ротора, никакого влияния на ток свободного режима в этом случае не оказывает. При определении тока свободного режима для того или иного момента разбега двигателя, счет времени ведется с момента включения двигателя при неподвижном роторе и поэтому, зная коэффициент затухания и время, прошедшее с момента включения, можно определить искомую величину тока свободного режима, поскольку начальное значение этого тока также известно и соответствует установившемуся току короткого замыкания.

Отсюда следует, что полные сопротивления для токов свободного режима, выраженные уравнениями (4) и (5), которые выведены точно математически для случая включения двигателя при вращающемся роторе, можно привести к полным сопротивлениям для токов свободного режима при разбеге двигателя, помножая их в каждом случае, соответствующему заданной скорости вращения ротора, на коэффициент  $k$ . Этот коэффициент является переменным и представляет собой отношение тока принужденного режима при данной скорости вращения ротора к току принужденного режима при установленном к. з. В степенной показателе выражения для тока свободного режима подставляется время, прошедшее с момента включения двигателя до момента достижения двигателем заданной скорости вращения и коэффициент



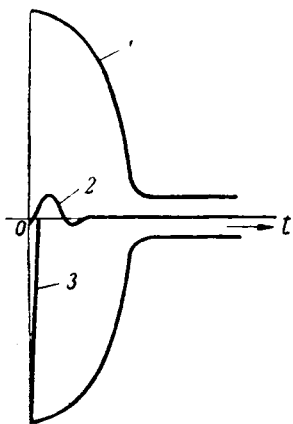


Рис. 2. Отдельные слагающие пускового тока к-з. двигателя.

1 — огибающая тока принужденного режима; 2 — ток свободного режима, затухающий с  $n'$ ; 3 — ток свободного режима, затухающий с  $n''$ .

затухания средний за указанный промежуток времени. Этим обстоятельством также вносится в уравнение некоторый элемент приближенности. Коэффициент  $k$  для намагничивающей слагающей тока принужденного режима будет всегда больше единицы, так как при разбеге двигателя эта слагающая постепенно увеличивается, а для второй слагающей — меньше единицы.

Этот коэффициент легко вычисляется по соотношениям, вытекающим из эквивалентной схемы асинхронного двигателя.

Обозначив полные сопротивления для слагающих пускового тока через  $Z$  и имея в виду, что

$$Z' = Z'k_1 \text{ и } Z'' = Z'k, \quad (7)$$

уравнение для пускового тока будет подобно уравнению (2) и может быть написано в виде:

$$i_{\text{пуск}} = \frac{U}{Z} e^{j(\omega_0 t + \psi)} + \frac{U_0}{Z'} e^{j(m't + \psi)} + \frac{U_0}{Z''} e^{j(m''t + \psi)} + \frac{U_0}{Z''} e^{j(m''t + \psi) + n''t}. \quad (8)$$

В предложенном виде уравнение (8) можно рассматривать как общее для случаев включения двигателя при заторможенном роторе, при вращающемся роторе с постоянной скоростью и для случая разбега двигателя при пуске. Эта же форма записи уравнения позволяет использовать его и в том случае, когда напряжение на зажимах двигателя при переходном режиме не остается постоянным, а меняется во времени по тому или иному закону. Тогда это изменяющееся напряжение войдет в первую слагающую уравнения — ток принужденного режима. Напряжение во второй и третьей слагающей будет равным напряжению в момент включения двигателя в сеть.

В тригонометрической форме уравнение (8) напишется в виде:

$$i = I \sin(\omega_0 t + \psi - \varphi) + I' \sin(m't + \psi - \varphi') e^{n't} + I'' \sin(m''t + \psi - \varphi'') e^{n''t},$$

где

$$I = \frac{U}{Z}, \quad \varphi = \arctg \frac{b}{a}, \text{ если } Z = a + jb. \quad (9)$$

На рис. 2 показаны отдельные слагающие пускового тока, построенные по уравнению (9). Для тока принужденного режима на рисунке показана лишь огибающая амплитудных значений. Суммарная кривая совпадает с осциллограммой действительной кривой пускового тока (рис. 3). Волнистый характер огибающей амплитудных значений пускового тока, заметный в большей или в меньшей степени на всех осциллограммах пускового тока асинхронных к-з. двигателей, объясняется, как показано это автором, наличием дополняющей слагающей тока свободного режима.

**Вращающий момент при пуске.** Вращающий момент, развиваемый двигателем, пропорционален произведению магнитного поля, действующего в воздушном зазоре, и тока в роторе. Для ненасыщенной машины магнитное поле, действующее в воздушном зазоре, пропорционально намагничивающему току. Уравнение для последнего при пуске имеет следующий вид:

$$i_\mu = I_\mu \sin(\omega_0 t + \psi - \varphi_\mu) + I'_\mu \sin(m't + \psi - \varphi'_\mu) e^{n't}. \quad (10)$$

Тогда вращающий момент при пуске выразится уравнением, состоящим из шести слагающих:

$$\begin{aligned} M_C = F = I_2 I_\mu \sin(\varphi_\mu - \varphi_2) + \\ + I_2 I'_\mu \sin[(\omega_0 - m')t + \varphi'_\mu - \varphi_2] e^{n't} + \\ + I'_2 I_\mu \sin[(m' - \omega_0)t + \varphi_\mu - \varphi'_2] e^{n't} + \\ + I'_2 I'_\mu \sin(\varphi'_\mu - \varphi'_2) e^{2n't} + \\ + I'_2 I_\mu \sin[(m'' - \omega_0)t + \varphi_\mu - \varphi'_2] e^{n''t} + \\ + I'_2 I'_\mu \sin[(m'' - m')t + \varphi'_\mu - \varphi'_2] e^{(n' + n'')t} \end{aligned} \quad (11)$$

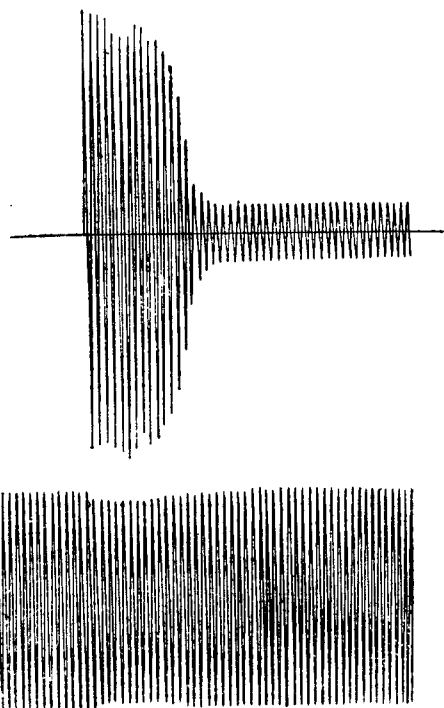


Рис. 3. Осциллограмма пускового тока к-з. двигателя

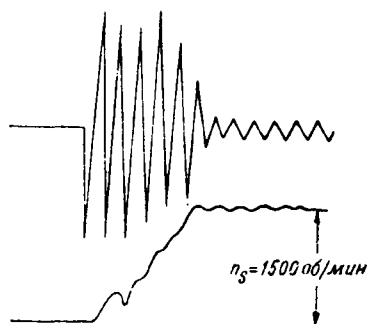


Рис. 4. Колебания скорости ротора около синхронной скорости. Вверху — пусковой ток двигателя, внизу — разбег двигателя.

Каждая из слагающих этого уравнения имеет определенный физический смысл.

Первая слагающая представляет собой уравнение кривой вращающего момента двигателя в принужденном режиме. Все остальные слагающие дают вращающий момент, дополнительно возникающий при пуске, благодаря наличию токов свободного режима. Из анализа отдельных слагающих можно заключить, что при известных условиях (быстрый разбег двигателя и медленное затухание токов свободного режима) в момент, когда двигатель при разбеге достигнет синхронного числа оборотов в минуту, 3, 4, 5 и 6 слагающие уравнения могут не равняться нулю и создавать в этот момент времени положительный вращающий момент, который заставит ротор перейти за синхронную скорость вращения. Это обстоятельство вызовет затухающие колебания скорости ротора около синхронного значения (рис. 4).

Кривая полного вращающего момента двигателя при пуске (рис. 5), построенная по уравнению (11), дает наглядное представление о действительных значениях вращающего момента, имеющих место при пуске, которые значительно отличаются от обычно принимаемых. Так, максимальное мгновенное значение вращающего момента, возникающее в начальный период пуска, в 5—6 раз превышает начальный вращающий момент, обычно принимаемый в расчет. Это важное обстоятельство следует учитывать при механическом расчете вала двигателя, передаточных устройств от двигателя к рабочей машине и т. п.

Резко выраженный зубчатый характер кривой вращающего момента при пуске вызывает соответствующие колебания скорости ротора при разбеге, заметные на тахограмме разбега двигателя (рис. 6).

Пользуясь выведенным выше уравнением пускового тока, может быть получено и уравнение для потребляемой из сети мощности двигателя при пуске.

**Изменение напряжения на зажимах двигателя при пуске.** Изменение напряжения на зажимах двигателя, возникающее всякий раз при пуске двигателя, влияет на величину пускового тока, величину вращающего момента, на продолжительность пуска, на режим работы и устойчивость подключенных к сети асинхронных двигателей.

Если полное сопротивление внешней цепи  $z_c$  и пусковой ток двигателя  $I_1$ , то

$$\Delta \dot{U} = \dot{U}_0 - \dot{U}_1 = I_1 z_c, \quad (12)$$

где  $\dot{U}_0$  — начальное напряжение на зажимах двигателя;

$\dot{U}_1$  — напряжение на зажимах двигателя в продолжение пуска.

Зная уравнение для пускового тока, можно получить кривую изменения напряжения на зажимах двигателя в течение пуска двигателя:

$$U_1 e^{j(\omega_0 t + \phi)} = U_0 \left[ \frac{Z e^{j(\omega_0 t + \phi)} - z_c \left( \frac{Z}{Z} e^{j(m't + \phi) + n't} + \frac{Z}{Z} e^{j(m''t + \phi) + n''t} \right)}{Z + z_c} \right]. \quad (13)$$

Величину максимального падения напряжения при пуске для приближенных расчетов можно получить из уравнения (13), если пренебречь затухающими слагающими пускового тока, а слагающую тока принужденного режима взять равной току установившегося к. з.

Тогда

$$\Delta U_m \% = \frac{|z_c|}{|z_c| + |z_{1 \text{ к. з.}}|} \cdot 100 \quad (14)$$

или

$$\Delta U_m \% = \frac{P_{\text{к. з. дв}}}{P_{\text{к. з. дв}} + P_{\text{к. з. с}}} \cdot 100, \quad (15)$$

где  $P_{\text{к. з. дв}}$  — мощность короткого замыкания двигателя в ква;

$P_{\text{к. з. с}}$  — мощность короткого замыкания сети в ква.

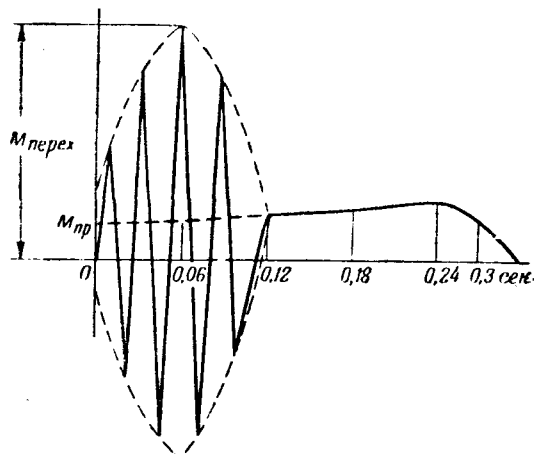


Рис. 5. Изменение вращающего момента при пуске двигателя.

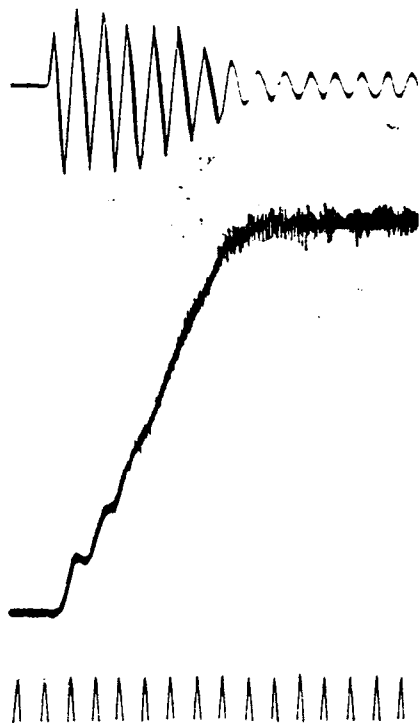


Рис. 6. Тахограмма разбега коротко-замкнутого двигателя.

При пуске двигателя от ненагруженного трансформатора

$$\Delta U_m \% = \frac{P_{к.з. дв}}{P_{к.з. дв} + P_{к.з. тр}} \cdot 100, \quad (16)$$

где

$$P_{к.з. тр} = \frac{P_{ном. тр}}{e_k \%} \cdot 100.$$

Некоторые авторы<sup>1</sup> пользуются формулой в виде:

$$\Delta U_m \% = \frac{P_{к.з. дв}}{P_{к.з. тр}} \cdot 100,$$

которая выведена в предположении, что пусковой ток, определяющий максимальное падение напряжения, является неизменным и соответствующим начальному напряжению на зажимах двигателя.

Пока  $P_{к.з. дв}$  остается малой величиной относительно  $P_{к.з. тр}$ , ошибка в подсчете  $\Delta U_m$  по последней формуле является незначительной и практического значения не имеет. Если же мощности двигателя и трансформатора являются соизмеримыми, то ошибка в подсчете может достигнуть 40 и более процентов.

Выведенная выше формула (16) применима во всех случаях и дает точный результат.

<sup>1</sup> Н. И. Болховитин. ВЭП, № 4, 1941. К. А. Чефранов. Энергетический бюллетень Мин. нефт. пром., № 5, 1946.

Справочник по электрооборудованию промпредприятий, стр. 230, 1945.

Аналогично сказанному могут быть выведены формулы и для подсчета падения напряжения при пуске двигателя от нагруженного трансформатора, а также для случая, когда должна быть учтена соединительная линия между двигателем и трансформатором и линия со стороны высокого напряжения трансформатора.

**Переходные явления в синхронном генераторе, вызванные пуском двигателя.** Пусковой ток двигателя, протекая по обмотке якоря синхронного генератора, вызывает реакцию якоря. Резкое изменение реакции якоря в первый момент после включения двигателя, вызванное броском пускового тока, влечет за собой возникновение переходных явлений в цепи возбуждения генератора.

Изменение же тока возбуждения вызывает свою очередь изменение напряжения на зажимах генератора и тем самым и на зажимах двигателя пускаемого в ход.

Поэтому картина изменения напряжения при пуске двигателя от синхронного генератора значительно отличается от случая пуска двигателя от трансформатора. Ниже рассматриваются явления, вызванные пуском двигателя.

Вопросы поведения асинхронного двигателя при понижении напряжения на питающем генераторе и, в частности, вопросы самозапуска двигателей подробно рассмотрены в работах И. А. Сыромятникова [Л. 5].

Уравнение для тока возбуждения синхронного генератора в переходный период в этом случае можно найти в виде:

$$I_s = I_{s0} + I_{1k} \sin(\psi - \varphi_{1k}) e^{-\frac{t}{\tau_s}} + I'_1 \sin(\omega_0 - m') t e^{n't} + I''_1 \sin(\omega_0 - m'') t e^{n''t}, \quad (17)$$

где  $I_{s0} = \frac{E_s}{r_s}$  — ток принужденного режима в цепи возбуждения;

$\tau_s$  — постоянная времени цепи возбуждения генератора.

Вторая слагающая уравнения — ток свободного режима в цепи возбуждения, плавно затухающий во времени.

Третья и четвертая слагающие — добавочные токи, имеющие характер переменных токов и наводимые в цепи возбуждения вращающимися магнитными полями от токов свободного режима, затухающих с  $n'$  и  $n''$ . Наглядной иллюстрацией к уравнению переходного тока в цепи возбуждения синхронного генератора является осциллограмма этого тока, снятая на синхронном генераторе при пуске от него двигателя (рис. 7). Для случая, когда генератор работает вхолостую, не имеет автоматического регулирования напряжения, а напряжение возбудителя генератора неизменно и генератор вращается с постоянной скоростью, напряжение на зажимах генератора при пуске двигателя можно выразить следующим уравнением:

$$U_1 = U_0 + U_s - U_d, \quad (18)$$

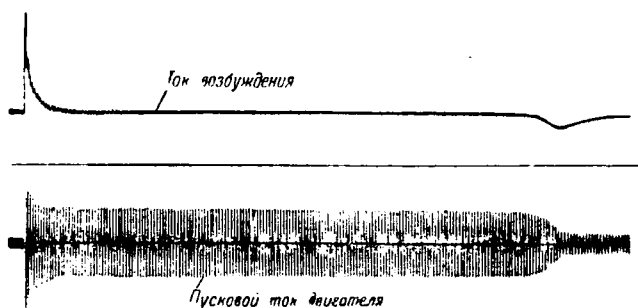


Рис. 7. Осциллограмма изменения тока возбуждения в синхронном генераторе при пуске двигателя.

где  $U_0$  — напряжение холостого хода генератора;

$U_e$  — дополнительное напряжение от тока возбуждения свободного режима;

$U_d$  — падение напряжения от продольной реакции якоря, вызванной пусковым током двигателя.

Найдя все слагающие, получим полное уравнение для напряжения на зажимах синхронного генератора в переходный период.

Для практических расчетов можно пренебречь слагающими, которые малы по величине и быстро затухают во времени, и тогда уравнение будет иметь следующий вид:

$$U_1 = U_0 \left[ \frac{Z_1}{Z_1 + z_d} + \frac{Z_1 z_d}{(Z_1 + z_d) z_{1к.з}} e^{-\frac{t}{\tau_d}} \right], \quad (19)$$

где  $z_d$  — синхронное сопротивление генератора.

Сравнивая два уравнения (13) и (19), можно заключить, что при пуске двигателя от трансформатора максимальное падение напряжения наступает тотчас же после включения двигателя, а при пуске двигателя от синхронного генератора напряжение уменьшается постепенно и тем медленнее, чем больше постоянная времени цепи возбуждения генератора. Это же уравнение можно вывести, исходя из теории синхронной машины, рассматривая включение двигателя как внезапную нагрузку генератора.

Для подсчета падения напряжения получим:

$$\Delta U\% = \frac{z_d z_{1к.з} - Z_1 z_d e^{-\frac{t}{\tau_d}}}{(Z_1 + z_d) z_{1к.з}} \cdot 100. \quad (20)$$

Для приближенного подсчета максимального падения напряжения

$$\Delta U_{\text{м}}\% = \frac{P_{\text{дв. к.з}}}{P_{\text{дв. к.з}} + P_{\text{ген. к.з}}} \cdot 100, \quad (21)$$

где  $P_{\text{ген. к.з}}$  — мощность короткого замыкания генератора в  $\text{kva}$ .

Соответственно этому можно получить уравнения и для случая нагруженного генератора. Осциллограммы изменения напряжения синхронного генератора при пуске двигателя, снятые автором, подтвердили правильность выведенных уравнений.

Изменение пусковых характеристик двигателя при соизмеримости мощностей сети и двигателя. Значительное падение напряжения, возникающее

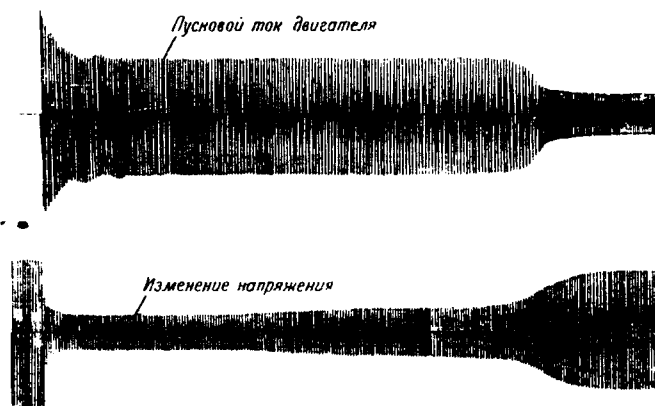


Рис. 8. Осциллограмма изменения напряжения на зажимах двигателя при пуске его от синхронного генератора соизмеримой мощности.

при пуске двигателя от источника сравнимой мощности (рис. 8), резко изменяет все пусковые характеристики двигателя: пусковой ток, вращающий момент, пусковую мощность и продолжительность разбега двигателя. На рис. 9 показано изменение напряжения на зажимах двигателя в 10  $\text{kвт}$  при пуске его от синхронного генератора мощностью 25  $\text{kva}$  и вызванное этим изменение пускового тока и вращающего момента. Внезапная нагрузка на генератор может вызвать при определенных условиях снижение скорости вращения генератора и тем самым снижение частоты тока, питающего пускаемый двигатель. Уравнения, приведенные выше для пускового тока, позволяют учесть и изменение частоты, если будет задана закономерность изменения скорости вращения генератора.

**Устойчивость работы асинхронных двигателей в сети при пуске двигателя.** Нагруженные асинхронные двигатели, работающие в сети, весьма чувствительны к изменению напряжения на их зажимах. Поэтому падение напряжения, вызванное пуском двигателя при определенных условиях, может нарушить устойчивость работающих в сети двигателей.

Однако, величина падения напряжения сама по себе еще не имеет решающего значения для устойчивости двигателя. Одна и та же величина падения напряжения, нарушая устойчивость двигателя при длительном действии, остается безопасной при кратковременном своем действии. Для определения минимального напряжения в сети, длительно допустимого по условиям сохранения устойчивости работающих двигателей, может служить следующая формула:

$$U_{\text{мин}} > U_0 \sqrt{\frac{k_p}{\alpha}},$$

где  $U_0$  — номинальное напряжение в сети;

$k_p$  — степень загрузки двигателя по моменту;

$\alpha$  — перегрузочная способность двигателя по моменту. Например, при  $k_p = 1$  и  $\alpha = 2$ :  $U_{\text{мин}} > 0,7 U_0$ .

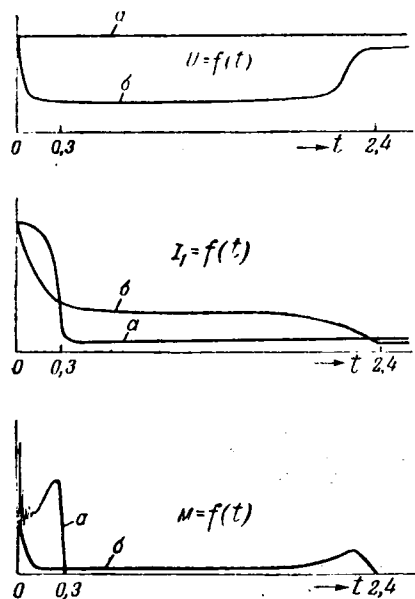


Рис. 9. Изменение напряжения на зажимах, пусковой ток и вращающий момент при пуске двигателя.

*a* — мощный источник; *б* — синхронный генератор соизмеримой мощности.

Если падение напряжения в сети, вызванное пуском двигателя, будет настолько значительным, что вращающий момент работающего от сети двигателя снизится до величины, меньшей статического момента нагрузки на валу двигателя, то двигатель начнет затормаживаться. При длительном действии падения напряжения двигатель перейдет на работу с большим скольжением или остановится, если максимальный вращающий момент двигателя при данном пониженном напряжении окажется меньшим постоянного статического момента нагрузки. В последнем случае будет иметь место нарушение устойчивости работы двигателя.

Если же падение напряжения является настолько кратковременным, что, вызвав торможение двигателя, оно затем исчезает раньше, чем двигатель остановится, то двигатель вновь разбегается до номинальной скорости и тем самым сохраняет устойчивость в работе.

В случае, когда прямая постоянного статического момента нагрузки пересекает кривую номинального вращающего момента двигателя в двух точках, как это показано на рис. 10, сохранение устойчивости работы двигателя при кратковременном падении напряжения будет возможным лишь при условии, что длительность падения напряжения будет меньшей, чем время, в течение которого двигатель при торможении дойдет до скольжения  $s_k$ .

Продолжительность торможения двигателя от номинального скольжения  $s_n$  до скольжения  $s_k$  будет:

$$t_{n-k} = T_0 \int_{s_n}^{s_k} \frac{ds}{1 - \frac{M'}{M_{cm}}} \quad (22)$$

где  $T_0 = \frac{GD^2 n_s}{375 M_{ном}}$  — постоянная времени разбега двигателя;  
 $GD^2$  — маховой момент двигателя;  
 $n_s$  — синхронная скорость двигателя;  $M_{cm} = M_{ном}$ ;  
 $M'$  — вращающий момент при пониженном напряжении.

Нетрудно также показать, что отношение скольжения  $s_k$  к номинальному будет равно:

$$\frac{s_k}{s_n} = \frac{1 + \sqrt{1 + x^2}}{1 - \sqrt{1 - x^2}} \quad (23)$$

Выразив зависимость вращающего момента  $M'$  от скольжения через известное соотношение и подставив в уравнение (23) полученные выше значения, можно найти как величину скольжения  $s_k$ , так и допустимую длительность падения напряжения из условия сохранения устойчивости работающего двигателя.

Восстановление напряжения, после того как двигатель начал затормаживаться, но еще не достиг критического скольжения, вызовет повторный пусковой ток, величина которого, будучи значительной, может вызвать в сети новое падение напряжения. Однако при этом следует иметь в виду, что восстановление напряжения в данном случае происходит постепенно и поэтому повторный пусковой ток будет меньшим обычного.

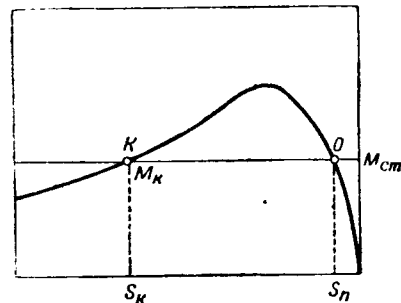


Рис. 10. Кривая  $M_{дв} = f(s)$ , пересекающая  $M_{cm}$ .

Для двигателей мощностью от 1 до 15 кВт при постоянном статическом моменте нагрузки равному номинальному вращающему моменту, в скольжении  $s_k$ , лежащем в пределах 30—40%, по условиям сохранения устойчивости длительности падения напряжения на 20% лежит в пределах 0,5 ÷ 1,5 сек., а на 50% — в пределах 0,05—0,2 сек. Устойчивость более крупных и быстроходных двигателей выше, по сравнению с двигателями меньшей мощности и более тихоходных, при одних и тех же условиях падения напряжения в сети.

Условия, облегчающие прямой пуск двигателей в сети сравнимой мощности. К числу мероприятий, облегчающих пуск двигателей в сети сравнимой мощности, следует отнести: выбор двигателя с наименьшим пусковым током; увеличение о. к. з. синхронных генераторов и применение компаундирования и автоматического регулирования напряжения у синхронных генераторов.

питающих двигатели сравнимой мощности; повышение махового момента агрегата—генератор—первичный двигатель.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## Обозначения

$\dot{U}$  — обобщенный вектор напряжения, приложенного к зажимам двигателя. Для трехфазной системы

$$\dot{U} = Ue^{j\omega_0 t} = \frac{2}{3}(u_a + au_b + a^2u_c),$$

где  $u_a$ ,  $u_b$  и  $u_c$  — мгновенные значения фазных напряжений,

$a = e^{j\frac{2}{3}\pi}$  — оператор трехфазной системы;

$\dot{i}$  — обобщенный вектор переходного тока в обмотке статора или ротора двигателя.

Для трехфазной системы

$$\dot{i} = Ie^{j(\omega_0 t + \varphi)} = \frac{2}{3}(i_a + ai_b + a^2i_c),$$

где

$i_a$ ,  $i_b$  и  $i_c$  — мгновенные значения фазных токов;

$r_1$  и  $r_2$  — активные сопротивления фаз обмотки статора и ротора;

$L_1$  и  $L_2$  — кажущиеся индуктивности от всех фаз статора и ротора;

$M$  — кажущаяся взаимоиндуктивность между статором и ротором;

$\omega_0$  — электрическая угловая скорость, заданная сетью;

$\omega_p$  — механическая угловая скорость ротора, выраженная в единицах электрической угловой скорости;

$p$  — оператор;

$t$  — время;

$\psi$  — фаза включения напряжения;

$Z$  и  $Z$  — полные сопротивления для отдельных слагающих тока переходного режима.

$$T_1 = \frac{L_1}{r_1}; \quad T_2 = \frac{L_2}{r_2}; \quad \sigma = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 L_2};$$

$p_1$  и  $p_2$  — коэффициенты затухания токов свободного режима;

$n$  и  $m$  — действительная и мнимая части коэффициентов  $p$ ;

$k$  — переменное отношение тока принужденного режима при  $\omega_p = 0$  к току принужденного режима при переменном значении  $\omega_p$ ;

$I_\mu$  — амплитудное значение намагничивающего тока;

$M_{ном}$  — постоянный статический момент на валу двигателя.

## Литература

1. К. А. Круг. Переходные процессы в линейных электрических цепях. Изд. ГЭИ, 1948.

2. К. И. Шенфер. Асинхронные машины. Изд. ГЭИ, 1931.

3. Р. М. Кантор. Анализ переходных процессов в асинхронных машинах. Бюллетень ВЭИ, № 2, 1933.

4. Е. Я. Казовский. Обобщенное рассмотрение переходных режимов в асинхронных и синхронных машинах. Сборник Электросила, № 2—3, 1943. Переходные процессы в асинхронных машинах при включении и набросе нагрузки. ВЭП, № 2, 1949.

5. И. А. Сыромятников. Восстановление напряжения на собственном расходе при питании от хаус-генератора. Электрические станции, № 1, 1935. Восстановление напряжения на собственном расходе при питании от сети. Электрические станции, № 2, 1935. Выбор мощности трансформатора собственного расхода по условиям самозапуска приключенных моторов. Электрические станции, № 10, 1937.

6. Н. А. Сазонов. Работа асинхронных двигателей с к.-з. ротором в сельскохозяйственной электросети малой мощности. Вестник сел.-хоз. наук. Выпуск: Механизация и электрификация № 1 и 3, 1941. Расчет мощности к.-з. асинхронных двигателей, допустимой по условиям пуска к включению в сельскохозяйственную сеть. Справочник по электрификации сельского хозяйства. Сельхозгиз, 1949.

7. Р. Рюденберг. Явления неустановившегося режима в электрических установках. ГОНТИ, 1926.

8. Н. Ку-ви. Анализ переходных явлений в машинах переменного тока. AIEE, т. 48, 1929.

[27.6 1949]



# Влияние мощной ртутно-выпрямительной нагрузки на устойчивость системы

И. А. ФЕДОРОВА

Средне-азиатский политехнический институт

Приемники энергии могут оказывать существенное влияние на статическую и динамическую устойчивость питающей их системы. Степень этого влияния зависит от статических и динамических характеристик приемников.

Возможны случаи, когда, в отступление от общего правила, ртутные выпрямители, работающие на противо-э. д. с., составляют преобладающий род нагрузки, как это имеет место в одной из систем Советского Союза. В таких случаях должны быть учтены их специфические характеристики при анализе устойчивости системы. Можно считать, что ртутный выпрямитель, работающий на пассивную цепь (без противо-э. д. с.), имеет характеристику, свойственную постоянному полному сопротивлению. Его активная и реактивная мощности изменяются пропорционально квадрату первичного напряжения, т. е. регулирующий эффект (по статической устойчивости) в относительных единицах равен двум. Однако, в случае работы ртутного выпрямителя на противо-э. д. с., как это обычно имеет место на практике, он оказывает более высокий регулирующий эффект. Снятые опытным путем и пересчитанные в относительных единицах характеристики активной и реактивной мощности ртутных выпрямителей, работающих на противо-э. д. с., значительно отличаются от характеристик, свойственных постоянному — полному сопротивлению. На рисунке<sup>1</sup> представлены оба вида характеристик. Характеристики нагрузки, выражаемой постоянным полным сопротивлением, более пологи, чем характеристики как активной, так и реактивной мощностей ртутных выпрямителей при работе их на противо-э. д. с. Для точки, соответствующей номинальному напряжению, регулирующий эффект

Статическая и динамическая устойчивость системы в значительной мере зависит от статических и динамических характеристик приемников. Оказывается, что системы с преобладанием ртутно-выпрямительной нагрузки, работающей на противо-э. д. с., находятся в отношении устойчивости в более благоприятных условиях, чем системы с преобладанием асинхронной или реактивной нагрузки. Регулирующий эффект ртутно-выпрямительной нагрузки в относительных единицах по активной мощности составляет 4, а по реактивной мощности 5. Это положение подтверждается результатами ряда расчетов устойчивости системы указанного вида и опытом эксплуатации ее.

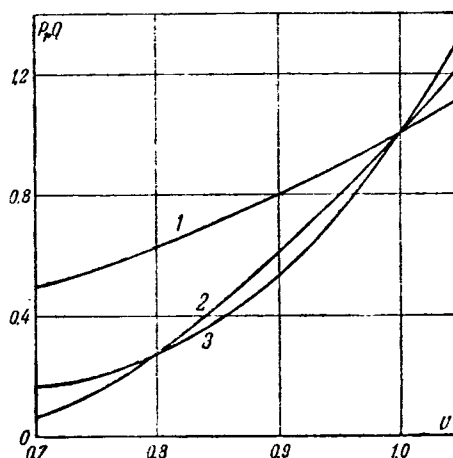
ртутных выпрямителей в относительных единицах по активной мощности составляет 4, а по реактивной мощности 5.

Влияние регулирующего эффекта по реактивной мощности ртутно-выпрямительной нагрузки не очень велико, так как величина этой реактивной мощности относительно мала. Определяющим

является регулирующий эффект по активной мощности.

Как и следовало ожидать, результаты ряда расчетов статической устойчивости систем с наличием мощной ртутно-выпрямительной нагрузки показывают существенное влияние ее регулирующего эффекта. Так, для одной и той же системы был произведен расчет статической устойчивости послеаварийного режима для двух случаев:

1) при замещении нагрузки системы двигателем и осветительной; соотношение активны



Статические характеристики.

1 — постоянного полного сопротивления; 2 — активной (P); 3 — реактивной (Q) мощностей ртутного выпрямителя, работающего на противо-э. д. с. Кривые построены в относительных единицах.

<sup>1</sup> Подобные характеристики были сняты еще в 1942 г. под руководством Х. Ф. Фазылова. Количественно они сильно зависят от изменения коэффициента трансформации питающего трансформатора.

составляющих нагрузок было принято соответственно 3:1;

2) при замещении нагрузки системы ртутно-выпрямительной, двигательной и осветительной; соотношение активных составляющих нагрузок соответственно 1:3:1.

В первом случае коэффициент статической устойчивости оказался равным 0,853, во втором <sup>2</sup>— 1,08. Таким образом, разница получилась уже ощутимой при сравнительно небольшом проценте ртутно-выпрямительной нагрузки. Экспериментальные статические характеристики ртутно-выпрямительной нагрузки были использованы также и в расчетах динамической устойчивости, в предположении, что это не вносило большой ошибки в расчеты.

Результаты расчетов динамической устойчивости данной системы для обоих случаев, выполненные на основе допущения тождества динамических и статических характеристик, говорят о еще более существенном влиянии ртутно-выпрямительной нагрузки — предельное время отключения аварии в случае 1)  $t_n = 0,15''$ , а в случае 2)  $t_n = 0,215''$ .

Расчет динамической устойчивости этой же системы при замещении всей нагрузки постоянным полным сопротивлением дал значение предельного времени отключения аварии  $t_n = 0,25''$ . Из сопоставления результатов следует, что учет поведения только двигательной нагрузки резко снижает предельное время отключения аварии, а дополнительный учет ртутно-выпрямительной нагрузки благодаря большой величине положи-

тельного регулирующего эффекта ее, приближает  $t_{n2}$  к  $t_{n3}$ . Еще более показательны результаты расчета динамической устойчивости системы с фактически имеющим место преобладанием ртутно-выпрямительной нагрузки при соотношении активных составляющих ртутно-выпрямительной, двигательной и осветительной нагрузок: 1,6:1,3:1. В этом случае оказалось  $t_n = 0,69''$ , тогда как при замещении всей нагрузки постоянным полным сопротивлением  $t_n = 0,4''$ . Изложенное указывает, что при преобладании в системе ртутно-выпрямительной нагрузки влияние высокого регулирующего эффекта очень существенно.

Что касается законности отождествления статической и динамической характеристик ртутного выпрямителя, то этот вопрос требует дополнительного изучения. Из теоретических исследований, выполненных в Энергетическом институте Академии наук УзССР и относящихся к инвертерам, следует, что такое отождествление неприемлемо, если в цепи постоянного тока преобразователя имеется значительная индуктивность. В таком случае, несмотря на быстроту коммутационного процесса, преобразователь только постепенно приспосабливается к мгновенным изменениям, происшедшим в сети переменного тока, и по отношению к таким изменениям не может считаться безинерционным.

В заключение автор считает своим долгом отметить, что член-корреспондент Академии наук УзССР проф. Н. Н. Щедрин взял на себя труд просмотреть статью и сделал при этом ряд ценных указаний.

[1.7.1949]



## Расчет электростатической составляющей индуцированных перенапряжений

Кандидат техн. наук Д. В. РАЗЕВИГ и инж. А. С. РОЗЕНФЕЛЬД

Московский энергетический институт им. Молотова

Создание удовлетворительной методики расчета индуцированных перенапряжений до последнего времени затруднялось отсутствием ясного представления о механизме разряда молнии. Большие успехи, достигнутые в настоящее время в области изучения молнии, позволяют создать более современную методику расчета индуцированных перенапряжений. Уже в 1944 г. в СССР была сделана попытка создания такой методики [Л. 1]; рассматривалась электростатическая составляющая индуцированного напряжения, источником возникновения которой является разрушение обратным разрядом электростатического поля лидерного канала. Однако, применявшаяся

Излагается методика расчета электростатической составляющей индуцированных перенапряжений на воздушных линиях электропередачи, пригодная для анализа случаев прямого удара молнии в опору линии или в трос.

методика не позволяет рассчитывать индуцированное напряжение при прямом ударе молнии в опору или трос линии электропередачи.

Вместе с тем, именно этот случай индукции представляется наиболее важным с практической точки зрения. Действительно, при ударе молнии в землю на проводах линии возникают только индуцированные напряжения, величина которых для линий напряжением 110 кВ и выше обычно не представляет опасности. При ударе же в опору или трос индуцированные напряжения накладываются на напряжения, созданные прямым ударом, и это может существенно снизить расчетную величину защитного уровня линии.



Ниже излагается разработанная в 1947—1948 гг. на кафедре Техники высоких напряжений МЭИ под руководством Л. И. Сиротинского методика расчета индуктированных перенапряжений, которая пригодна и для удара молнии в землю и для прямого удара молнии в линию.

Для проверки основных положений этой методики было предпринято совместно с ВЭИ экспериментальное исследование индуктированных напряжений на модели линии. Результаты этого исследования будут изложены в отдельной статье.

#### Расчетная схема развития разряда молнии.

**Первая стадия разряда.** Разряд молнии начинается прорастанием к земле так называемого лидерного разряда. Канал лидерного разряда представляет собой ионизированный столб воздуха, имеющий довольно большую проводимость. Верхним концом лидерный канал соединен с облаком, вследствие чего в лидерный канал стекает часть зарядов облака и располагается вдоль его длины. Линейная плотность заряда в канале определяется, очевидно, емкостью данного участка канала относительно земли и его потенциалом. Емкость нижних участков канала больше, чем верхних, потенциал же, наоборот, меньше. Это обстоятельство объясняет экспериментально доказанный факт, что распределение зарядов вдоль лидерного канала в большинстве случаев близко к равномерному. Продвижение лидерного канала к земле происходит с незначительными скоростями, порядка  $0,01 \div 0,001$  скорости света, что позволяет в каждый момент времени считать поле заряженного лидерного канала статическим.

Таким образом, лидерная стадия разряда в расчетной схеме заменяется медленным опусканием равномерно заряженного канала из облака по направлению к земле.

**Вторая стадия разряда.** Второй, заключительной, стадией разряда является главный разряд, который возникает в момент соприкосновения лидерного канала с поверхностью земли и движется по лидерному каналу от земли к облаку с огромными скоростями порядка  $0,1 \div 0,5$  скорости света. Во время обратного разряда происходит нейтрализация зарядов, накопленных в лидерном канале, сопровождаемая протеканием по каналу большого тока, равного

$$I_{\text{м}} = \sigma \cdot v \quad (1)$$

( $\sigma$  — линейная плотность зарядов в канале;  $v$  — скорость обратного разряда).

Согласно экспериментальным исследованиям, короткий импульс тока молнии большой амплитуды соответствует процессу нейтрализации зарядов в лидерном канале, а поэтому его амплитуда и форма зависят исключительно от характера этого процесса. Наличие конечного фронта у тока молнии, т. е. возрастание тока от нуля до максимума с конечной скоростью объясняется различными исследователями по-разному. Совершенно очевидно, однако, что замедленное нарастание тока в начальные моменты времени свидетельствует о замедленной скорости нейтрализации зарядов лидерного канала в течение фронта.

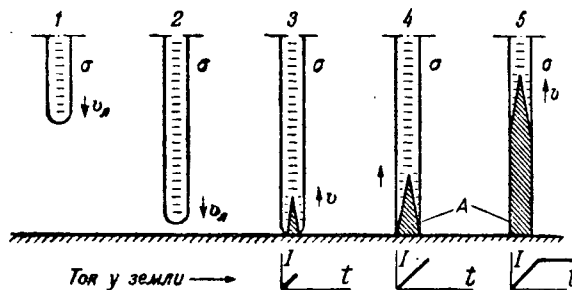
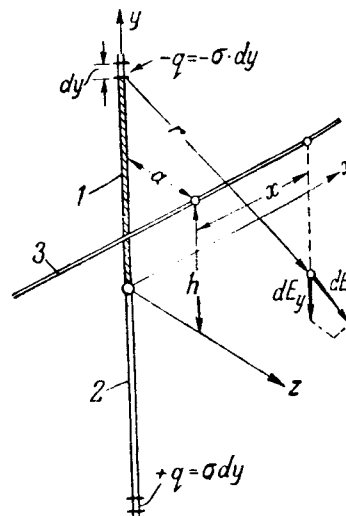


Рис. 1. Расчетная схема развития молнии.

1, 2 — лидерная стадия разряда; 3 — начало обратного разряда, нейтрализующего заряды лидерного канала; 4 — нейтрализация окрестности все поперечное сечение канала у поверхности земли. Ток у земли достиг максимума; 5 — обратный заряд по каналу; А — область канала, где завершилась нейтрализация.

Рис. 2. К расчету напряжения, индуктируемого каналом молнии в произвольной точке линии передачи.



1 — канал молнии; 2 — зеркальное изображение канала; 3 — провод линии электропередачи.

В настоящей работе принято наиболее простое с расчетной точки зрения предположение, что наличие фронта тока молнии обуславливается неодновременной нейтрализацией зарядов, расположенных на оси и на периферии лидерного канала. С этой точки зрения обратный разряд рассматривается как зона нейтрализации, распространяющаяся с конечной скоростью как вверх по каналу, так и от его оси к периферии. Время от начала процесса нейтрализации на оси канала до завершения нейтрализации зарядов на периферии того же горизонтального сечения канала, должно быть, очевидно, равно длине фронта тока молнии. Развитие разряда молнии схематически представляет рис. 1.

**Расчет индуктированного напряжения при ударе молнии в землю.** Во время опускания к земле лидерного разряда на проводах линии электропередачи связываются заряды, сохраняющие потенциал проводов равным нулю. Во время обратного разряда, нейтрализующего поле лидерного канала, эти заряды освобождаются и растекаются в обе стороны от места своего освобождения, образуя волны индуктированного напряжения. Потенциал в произвольной точке  $x$

линии в произвольный момент времени  $t$  согласно обозначениям рис. 2 равен [Л. 1]:

$$U(x,t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{1}{2} \int_0^t \frac{2\cdot v^2 h \cdot d\tau}{\{a^2 + [x + c(t-\tau)]^2 + v^2\tau^2\}^{3/2}} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \int_0^t \frac{2\cdot v^2 h \cdot d\tau}{\{a^2 + [x - c(t-\tau)]^2 + v^2\tau^2\}^{3/2}} \right\} \quad (2)$$

( $c$  — скорость света). Максимальное напряжение индуцируется в ближайшей к месту удара точке ( $x = 0$ ), для которой

$$U(0,t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^t \frac{2\cdot v^2 h \cdot d\tau}{[a^2 + c^2(t-\tau)^2 + v^2\tau^2]^{3/2}} \quad (3)$$

**Случай прямоугольной формы волны тока молнии.** Прямоугольная волна тока молнии соответствует одновременной нейтрализации зарядов каждого поперечного сечения канала, т. е. постоянству во времени нейтразуемой плотности зарядов. Величина  $a$  выносится за знак интеграла, и интегрирование производится легко:

$$U(0,t) = \frac{ch^2\beta^2}{2\epsilon_0 a \left[ 1 + \beta^2 + \frac{v^2 t^2}{a^2} \right]} \left[ \sqrt{1 + \frac{c^2 t^2}{a^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{v^2 t^2}{c^2}}} \right] \quad (4)$$

(здесь  $\beta = \frac{v}{c}$ ). Время наступления максимума напряжения равно:

$$t_m = \frac{a}{v} \sqrt{1 - \beta^2}, \quad (5)$$

а амплитуда индуцированного напряжения в точке  $x = 0$ :

$$U(0)_{\max} = \frac{30 I_m h}{a} \left( 1 - \frac{\beta}{\sqrt{2 - \beta^2}} \right). \quad (6)$$

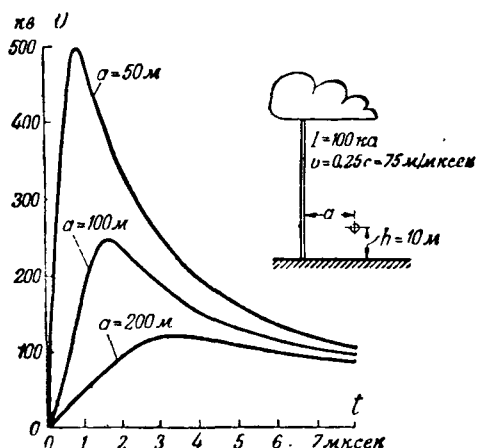


Рис. 3. Форма волны индуцированного напряжения в точке линии, ближайшей к месту удара.

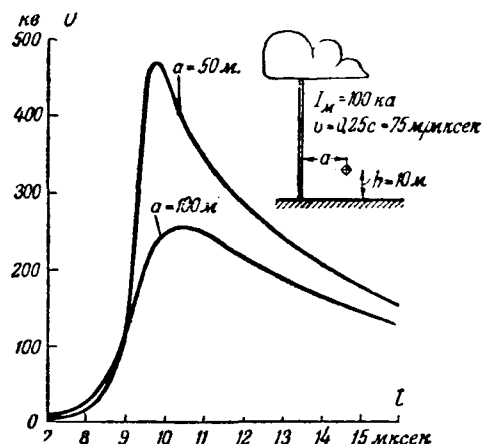


Рис. 4. Форма волны индуцированного напряжения в точке линии, отстоящей на  $x = 3$  км от места удара. Время отсчитывается от начала главного разряда.

На рис. 3 показана форма волны индуцированного напряжения в точке  $x = 0$  для  $I_m = 100$  кА,  $h = 10$  м,  $\beta = 0,25$  и различных расстояний от линии до места удара.

Для того чтобы получить выражение для бегущей волны индуцированного напряжения, т. е. напряжения в произвольной точке  $x$  линии, в функции времени, было проинтегрировано с некоторыми упрощениями уравнение (2). Приближенное разложение полученного решения в ряд дает:

$$U(x,t) = \frac{30 I_m h \beta}{a (1 + \beta^2)} \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2} + \frac{(x - ct)^2}{a^2} + \frac{(x - ct) - \beta h}{a \sqrt{1 + \beta^2}}}} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2} + \frac{(x + ct)^2}{a^2} - \frac{(x + ct) + \beta h}{a \sqrt{1 + \beta^2}}}} \right\}. \quad (7)$$

Формула (7) справедлива только для больших  $x$  (несколько километров) и представляет собой сумму двух волн напряжения, бегущих в разные стороны. Максимум волны наступает при

$$t_m = \frac{x}{c} + \frac{a}{v} \sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2}} \quad (8)$$

и равен:

$$U_{\max} = \frac{30 I_m h}{a \sqrt{1 + \beta^2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2} - \frac{h}{a}}}. \quad (9)$$

На рис. 4 приведена форма бегущей волны для  $I_m = 100$  кА,  $h = 10$  м,  $a = 50$  и  $100$  м,  $\beta = 0,25$ .

Сравнение формул (9) и (6) показывает, что амплитуда напряжения, индуцированного в точке линии, ближайшей к месту удара, превышает амплитуду бегущей волны не более чем на 20%. В большинстве же случаев разница столь ничтожна, что амплитуду бегущей волны можно считать по более простой формуле (6).

Случай косоугольной формы фронта волны тока молнии. Согласно принятому нами представлению об образовании фронта тока молнии наличие изменения величины тока на фронте связано с изменением во времени нейтрализуемой плотности заряда.

Поскольку ток молнии на фронте подчиняется уравнению

$$i_{\phi} = kt \quad (10)$$

и справедливо уравнение (1), в течение фронта тока молнии нейтрализуемая плотность зарядов

$$\sigma(t) = \frac{k}{v} t. \quad (11)$$

Поскольку индуктированное напряжение для прямоугольной формы тока, т. е. для постоянной  $\sigma$ , пропорционален  $\sigma$ , решение для переменной  $\sigma(t)$  можно получить, применяя к уравнению (4), рассматриваемому, как решение для единичной волны, теорему Дюамеля. Произведя интегрирование в пределах от  $\tau_{\phi}$  (длина фронта тока молнии) до  $t$ , получим выражение для напряжения, справедливое для  $t > \tau_{\phi}$ . Получающаяся формула довольно громоздка и мало пригодна для практических расчетов. На рис. 5 построены волны индуктированных напряжений в точке, ближайшей к месту удара, для прямоугольной волны тока молнии и волны с косоугольным фронтом при различных отношениях  $\frac{a}{h}$ .

Как видно, длина фронта индуктированного напряжения для волны тока молнии с косоугольным фронтом равна приблизительно

$$\tau_u = \tau_{\phi} + t_m, \quad (12)$$

где  $t_m$  определяется по формуле (5),

При расстояниях от места удара до линии  $a \geq 5h$ , т. е. практически во всех случаях удара в землю, наличие фронта тока молнии не оказывает влияния на амплитуду индуктированного напряжения. Таким образом, для расчета индуктированных напряжений при ударе в землю можно амплитуду определять по формуле (6), а длину фронта по формуле (12).

Расчет индуктированного напряжения при прямом ударе молнии в линию с тросами. При прямом ударе молнии в возвышающийся над земной поверхностью объект принятая нами простая схема развития разряда молнии несколько искажается наличием встречного стримера, двигающегося с вершины пораженного объекта навстречу опускающемуся лидерному каналу. Наличие встречного стримера отдаляет наименее точку заряженного лидерного канала от земли и, следовательно, уменьшает напряженность электрического поля вблизи земли и на проводах линии. Кроме того, вдоль встречного стримера располагаются заряды, по знаку обратные зарядам лидерного канала, которые частично экранируют провода.

Длина встречного стримера зависит от полярности разряда молнии, плотности зарядов в лидерном канале и высоты объекта. Точный расчет этой длины затруднителен; вместе с тем, расчет индуктированного на проводах напряжения при прямом ударе в трос невозможен без ее знания.

Ориентировочно длину встречного стримера можно определить следующим образом. Если представить лидерный канал в виде медленно опускающегося металлического стержня, то окончательный разряд на данный объект па земной поверхности произойдет тогда, когда средний градиент между концом стержня (головкой канала) и вершиной объекта достигнет величины среднего пробивного градиента для данного промежутка. К сожалению, средние пробивные градиенты для промежутков порядка сотни метров неизвестны, однако имеющиеся лабораторные данные для промежутков  $1 \div 20$  м показывают, что в таких пределах средний градиент почти не меняется и равен  $5 \div 6$  кВ/см. Это позволяет произвести приближенную экстраполяцию этого градиента на более длинные промежутки.

Из лабораторного эксперимента следует также, что в промежутке игла — игла на плоскости встречный стример составляет около  $\frac{1}{3}$  длины промежутка при положительной полярности верхнего электрода и около  $\frac{2}{3}$  при отрицательной.

Таким образом, согласно принятой нами методике длина встречного стримера в зависимости от полярности разряда молнии определяется, как  $\frac{1}{3}$  или  $\frac{2}{3}$  расстояния между головкой лидера и молниеотводом, при котором средний градиент на этом расстоянии составляет 5 кВ/см.

Поскольку длина встречного стримера всегда значительно больше высоты линии, можно искать средний градиент между головкой лидерного канала и землей, равный потенциалу головки, деленному на ее высоту относительно земли. Простые выкладки дают эту величину:

$$E_{cp} = \frac{\sigma}{4\pi\epsilon_0 h_1} \ln \frac{4h_1}{d}, \quad (1)$$

где  $h_1$  — высота головки лидера;

$d$  — диаметр лидерного канала.

Данных о диаметре канала молнии имеет чрезвычайно мало. Шонланд [Л. 2] замерил диаметры 11 импульсов разряда молнии и получил

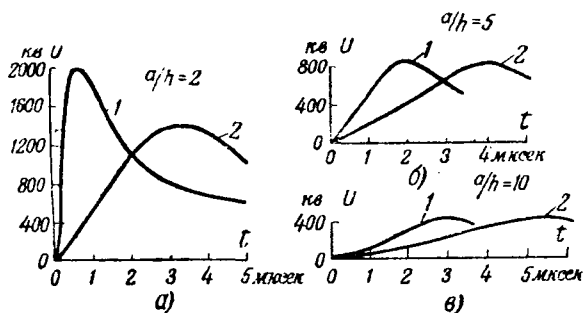


Рис. 5. Влияние фронта тока молнии на индуктированное напряжение при ударе молнии в землю на различных расстояниях от линии.  $I_m = 10$  кА,  $\tau_{\phi} = 3$  мксек.

1 — без учета фронта тока молнии; 2 — с учетом фронта.

среднем цифру 16 см. Он определял диаметр канала по диаметру его светящейся части, очевидно, совпадающей с интересующей нас сильно ионизированной областью лидерного канала. Вместе с тем, очевидно, что диаметр канала должен зависеть от тока молнии. Принимая прямую пропорциональность между диаметром и током молнии и считая, что измеренный средний диаметр соответствует среднему току молнии (20 кА) и средней скорости обратного разряда (30 м/мксек), получим следующую зависимость между зарядом и диаметром:

$$d = \alpha z, \quad (14)$$

где

$$\alpha = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{см}^2}{\text{к}}.$$

Введение (14) в (13) позволяет найти зависимость между высотой лидера над землей ( $h_1 = h_{кр}$ ), при которой средний градиент возрастает до пробивного, и плотностью зарядов в лидерном канале

$$h_{кр} = 150 \sigma, \quad (15)$$

где  $h_{кр}$  — измерено в метрах, а  $\sigma$  — в кулонах на километр; длина встречного стримера или наименьшая высота головки лидера над землей равна  $h'_0 = 50 \sigma$  при положительной полярности молнии и  $h'_0 = 100 \sigma$  при отрицательной.

Учет экранирующего действия встречного стримера довольно кропотлив и приводит к выводу, что это действие эквивалентно фиктивному отодвижению головки лидерного канала от земли в среднем на 14%.

Таким образом, расчетная наименьшая высота лидерной головки над землей равна:

$$h_0 = 57 \sigma \quad (16)$$

при положительной полярности разряда и

$$h_0 = 114 \sigma \quad (17)$$

при отрицательной.

После установления длины встречного стримера расчет индуктированного напряжения при прямом ударе в трос мало чем отличается от рассмотренного нами выше случая удара в землю. Напряжение в точке провода, находящейся непосредственно под каналом молнии, находится из уравнения

$$U(0, t) = \frac{\sigma v^2 h}{2\pi \epsilon_0} \int_{t_1}^t \frac{\tau d\tau}{[v^2 \tau^2 + c^2(t - \tau)^2]^{3/2}}, \quad (18)$$

где  $t_1$  — фиктивное время, за которое обратный заряд продвинулся бы от земли до головки лидерного канала.

При прямоугольной волне тока молнии индуктирование приводит к выражению

$$U(0, t) = \frac{60 I_m h}{v t} \cdot \frac{t - t_1}{\sqrt{(t - t_1)^2 + \beta^2 t_1^2}}, \quad (19)$$

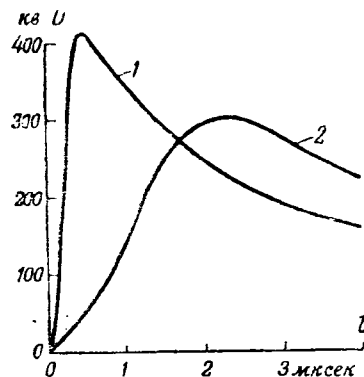


Рис. 6. Форма волны индуктированного напряжения при ударе молнии в трос. Высота подвеса проводов 10 м, амплитуда тока молнии  $I_m = 100$  кА;  $v = 75$  м/мксек. 1 — прямоугольная волна тока молнии; 2 — волна тока молнии имеет косоугольный фронт. Длина фронта  $\tau_\phi = 2$  мксек.

которое при

$$t_m = t_1 [1 + \beta^{3/2}] \quad (20)$$

имеет максимум:

$$U_{\max} = \frac{60 I_m h}{h_0} \frac{1}{[1 + \beta^{3/2}]^{4/3}}. \quad (21)$$

Формулы иллюстрируются графиками рис. 6.

Для волны с косоугольным фронтом математический анализ дает следующую формулу для максимального напряжения в точке, ближайшей к месту удара:

$$U_{\max} = \frac{60 k h}{v} \left\{ \ln \left[ \frac{\tau_\phi}{t_1 \beta} + \sqrt{1 + \frac{\tau_\phi^2}{t_1^2 \beta^2}} \right] + \frac{1}{\sqrt{1 + \beta^2}} \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{\frac{\beta^2 - \tau_\phi/t_1}{1 + \tau_\phi/t_1} + \sqrt{1 + \beta^2} \cdot \sqrt{\frac{\tau_\phi^2/t_1^2 + \beta^2}{(1 + \tau_\phi/t_1)^2}}}{\beta [\beta + \sqrt{1 + \beta^2}]} \right\}. \quad (22)$$

Влияние фронта тока молнии при прямом ударе наглядно видно на рис. 6; фронт волны

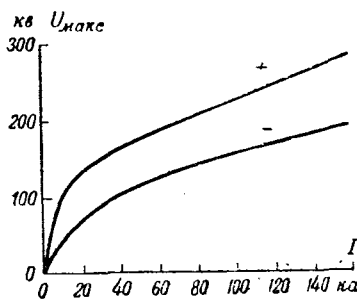


Рис. 7. Зависимость амплитуды индуктированного напряжения при прямом ударе в трос от амплитуды тока молнии. Крутизна тока молнии  $k = 20$  кА/мксек;  $h = 10$  м.

+ — разряд молнии положительной полярности; — — разряд молнии отрицательной полярности.

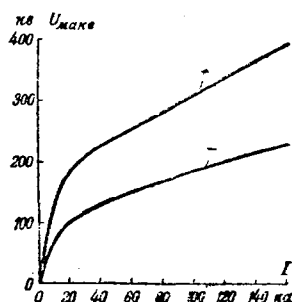


Рис. 8. Зависимость амплитуды индуктированного напряжения при прямом ударе в трос от амплитуды тока молнии. Крутизна тока молнии  $k = 50$  кА/мксек;  $h = 10$  м.

+ — разряд молнии положительной полярности; — — разряд молнии отрицательной полярности.

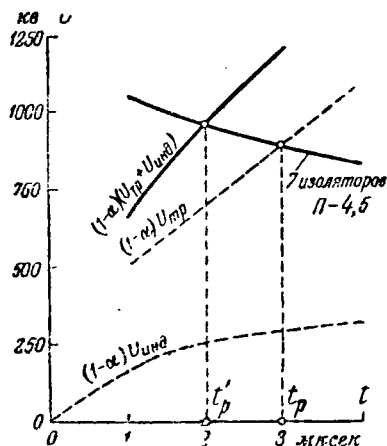


Рис. 9. Расчет грозоупорности линии 110 кВ на металлических опорах типа ПМ-103 с учетом индуктированного напряжения при отрицательной полярности разряда молнии. Индуктивность опоры  $L_{от} = 12 \text{ мкГн}$ , индуктивность тросов  $L_2 = 100 \text{ мкГн}$ , коэффициент связи  $\alpha = 0,35$ , сопротивление заземления  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ . Напряжение на тросе

$U_{mp}$  определялось по упрощенной формуле [Л. 1].

индуктированного напряжения при прямом ударе равен:

$$\tau_u = \tau_\phi + t_1, \quad (23)$$

т. е. он больше фронта тока молнии.

В силу малой пригодности формулы (22) для практических расчетов на рис. 7 и 8 построены графики зависимости амплитуды индуктированного напряжения от амплитуды тока молнии для двух различных крутизны тока (20 и 50 кА/мксек) при высоте подвеса проводов линии передачи  $h = 10 \text{ м}$ . Поскольку  $h$  входит в формулу (22) в качестве множителя, амплитуда индуктированного напряжения для любой другой высоты линии находится простым пересчетом. Графики рис. 7 и 8 построены без учета экранирующего действия тросов. При ударе в опору под влиянием тросов индуктированное на проводах напряжение снижается пропорционально  $(1 - \alpha)$ , где  $\alpha$  — коэффициент связи между проводом и тросами.

Таким образом, амплитуда индуктированного напряжения при прямом ударе довольно велика

и его следует учитывать при расчете грозоупорности линии. При этом влияние индуктированного напряжения будет тем больше, чем выше опоры линии.

Для примера на рис. 9 приведен расчетный график для определения защитного уровня линии 110 кВ на металлических опорах типа ПМ-103, с учетом индуктированного напряжения. Расчет велся для верхнего провода опоры, находящегося в наиболее неблагоприятных условиях. Как видно, для высоких металлических опор при небольшой величине сопротивления заземления опоры поправка, вносимая индуктированным напряжением, весьма существенна и может превышать 30%.

**Выводы.** 1. Достоинством изложенной методики расчета индуктированных перенапряжений является учет влияния фронта тока молнии и рассмотрение случая индукции напряжения при прямом ударе.

2. Амплитуду индуктированного напряжения при ударе молнии в землю можно определять по опубликованной ранее формуле (6), а фронт — по формуле (12).

3. Волна, бегущая от места удара, отличается от величины, определенной по формуле (6), не более чем на 20%. Более точная величина может подсчитана по формуле (9).

4. При прямом ударе молнии в опору на трос индуктированное напряжение может достигать 300 кВ и более. Учет индуктированного напряжения при прямом ударе молнии снижает расчетный защитный уровень линии на 15–40%. Поправка тем больше, чем выше опора и чем меньше сопротивление заземления.

5. Недостатком изложенного метода является ограничение вопроса расчетом только электростатической составляющей индуктированного напряжения. Для полного решения вопроса следует учесть и электромагнитную составляющую.

#### Литература

1. Л. И. Сиротинский. Техника высоких напряжений, вып. III. Госэнергоиздат, 1945.
2. Schonland. Diameter of the Lightning Channel. Phil. Mag., т. 23, № 153, 1937.

# Расчет нелинейных активных сопротивлений

Кандидат с.-х. наук, доц. И. А. БУДЗКО

ВИЭСХ-МИМЭСХ

За последние годы все большее распространение получают устройства, использующие нелинейные сопротивления в качестве основных элементов [Л. 1]. Поэтому методы расчета их представляют теоретический и практический интерес.

Ниже рассматриваются методы расчета нелинейных активных сопротивлений двух наиболее распространенных типов на примере карборундовых сопротивлений и ламп накаливания.

В рассмотрение введены следующие ограничения:

1. Напряжение сети, к которой присоединяется нелинейное сопротивление, предполагается синусоидальным.

2. Исследуется только установившийся режим. Карборундовые сопротивления. Эти сопротивления изготавливаются из материалов, главной частью которых является карборунд (карбид кремния SiC). Они получили широкое распространение в разрядниках для защиты от перенапряжений под названием вилитовых и тиритовых и начинают применяться во многих других электрических аппаратах.

Зависимости между током, напряжением и сопротивлением карборундовых сопротивлений хорошо аппроксимируются уравнением

$$U = CI^\gamma$$

производными уравнениями

$$RI^\beta = C; \quad I = KU^\gamma,$$

$$\beta = 1 - \alpha; \quad \gamma = \frac{1}{\alpha}; \quad K = \frac{1}{C^\gamma}.$$

Несложное выражение характеристики карборундовых сопротивлений упрощает математическое исследование их работы на переменном токе. Нахождение формы кривой проходящего через них тока при синусоидальном напряжении.

$$u = U_m \sin \omega t.$$

Приводятся методы расчета нелинейных активных сопротивлений двух основных типов. Практически безинерционные сопротивления рассматриваются на примере карборундовых сопротивлений, а обладающие тепловой инерцией — на примере лампы накаливания с металлической нитью. Выводятся формулы, определяющие характеристики электрической цепи с нелинейными активными сопротивлениями в стационарных режимах при синусоидальном напряжении.

Тогда

$$i = f(u) = KU_m^\gamma \sin^\gamma \omega t,$$

причем это уравнение справедливо только для  $u > 0$ .

Важным отличием карборундовых сопротивлений от активных сопротивлений, нелинейность которых определяется температурой, является практическая безинерционность их действия. Форма кривой тока, проходящего через них, при синусоидальном напряжении одинакова при различных промышленных частотах и в большей или меньшей степени отличается от синусоиды.

Разлагая кривую тока в ряд вида

$$i = I_{m1} \sin \omega t + I_{m3} \sin 3\omega t + I_{m5} \sin 5\omega t + \dots$$

и учитывая, что она симметрична относительно оси, параллельной оси ординат и делящей пополам расстояние между двумя пересечениями кривой с осью абсцисс, имеем:

$$\begin{aligned} I_{m_n} &= \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(u) \sin n\omega t \cdot d(\omega t) = \\ &= \frac{4KU_m^\gamma}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^\gamma \omega t \cdot \sin n\omega t \cdot d(\omega t). \end{aligned}$$

Амплитуда первой гармоники

$$I_{m1} = \frac{4KU_m^\gamma}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{\gamma+1} \omega t \cdot d(\omega t).$$

Этот интеграл решается с помощью гамма-функций [Л. 2, 5] с учетом того, что

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^n x \cdot dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}+1\right)},$$

где  $n > (-1)$ . Кроме того,

$$\Gamma(n+1) = n \cdot \Gamma(n),$$

если  $n > 0$ . Для целого  $n$

$$\Gamma(n+1) = n!$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} I_{m_1} &= \frac{4KU_m^\gamma}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{\gamma+1} \omega t \cdot d(\omega t) = \\ &= \frac{2KU_m^\gamma \cdot \Gamma\left(\frac{\gamma+2}{2}\right)}{\sqrt{\pi} \cdot \Gamma\left(\frac{\gamma+3}{2}\right)}. \end{aligned}$$

Пользуясь соответствующими таблицами, легко определить амплитуду первой гармоники тока для данных постоянных материала  $K$  и  $\gamma$  и приложенного напряжения.

Амплитуды высших гармонических могут быть найдены из выражения

$$\frac{I_{m_n}}{I_{m_{n-2}}} = \frac{\gamma - (n-2)}{\gamma + n}.$$

Эффективное значение тока

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} [f(u)]^2 d(\omega t)} = \\ &= KU_m^\gamma \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{2\gamma} \omega t \cdot d(\omega t)} = \\ &= KU_m^\gamma \sqrt{\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)}{\Gamma(\gamma+1)}}. \end{aligned}$$

Коэффициент амплитуды кривой тока

$$k_m = \frac{I_m}{I} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)}{\Gamma(\gamma+1)}}}.$$

Среднее значение тока

$$\begin{aligned} I_{cp} &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} f(u) d(\omega t) = \\ &= \frac{2KU_m^\gamma}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^\gamma \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{KU_m^\gamma}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\gamma}{2}+1\right)}. \end{aligned}$$

Коэффициент формы кривой

$$k = \frac{\sqrt{\pi} \sqrt{\frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)}{\Gamma(\gamma+1)}}}{\frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\gamma}{2}+1\right)}}.$$

Мгновенная мощность в сопротивлении

$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot KU_m^\gamma \sin^\gamma \omega t = KU_m^{\gamma+1} \sin^{\gamma+1} \omega t.$$

Средняя мощность тока в сопротивлении за четверть периода

$$\begin{aligned} P &= KU_m^{\gamma+1} \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{\gamma+1} \omega t \cdot d(\omega t) = \\ &= I_{m_1} \frac{U_m}{2} = UI_1, \end{aligned}$$

т. е., как это и должно быть при синусоидальном приложенном напряжении, только первая гармоника тока создает активную мощность.

Кажущаяся мощность, очевидно, равна:

$$S = UI.$$

Коэффициент мощности цепи, содержащей нелинейное активное сопротивление:

$$\begin{aligned} \cos \varphi = \frac{UI_1}{UI} &= \frac{U_2 \cdot \sqrt{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{\gamma+1} \omega t \cdot d(\omega t)}{\sqrt{\pi} \cdot \sqrt{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{2\gamma} \omega t \cdot d(\omega t)}} = \\ &= \frac{1,06 \frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\gamma+3}{2}\right)}}{\sqrt{\frac{\Gamma\left(\frac{\gamma+1}{2}\right)}{\Gamma(\gamma+1)}}}. \end{aligned}$$

Угол  $\varphi$  является условным углом сдвига фаз, который имел бы место между напряжением и синусоидальным током, с эффективным значением и активной мощностью равными соответствующим величинам данного несинусоидального тока.

Проведенное автором сравнение расчетных и опытных данных показывает вполне удовлетворительное совпадение результатов (расхождение 1 ÷ 3%), что позволяет рекомендовать приведенные формулы для расчета нелинейных карборундовых сопротивлений без инерционного действия. Следует также указать, что уравнения вольтамперной характеристики аналогичные карборундовым сопротивлениям имеют многие нелинейные активные сопротивле-

ния [Л. 3], в том числе неоновые лампы, двух-электродные электронные лампы, купроксные выпрямители и мн. др. К ним также приложимы изложенные методы расчета.

При использовании карборундовых сопротивлений необходимо иметь в виду, что их характеристики очень сильно зависят от температуры. Следовательно, нужно обеспечивать такие условия, чтобы сопротивления не находились постоянно включенными в цепь или чтобы нагрузка на них была крайне незначительна и не вызвала заметного повышения температуры.

**Лампы накаливания.** Обычная электрическая лампа накаливания с металлической нитью является примером активного сопротивления первого рода с резко выраженной нелинейностью. Нелинейность вольтамперной характеристики лампы накаливания происходит вследствие зависимости удельного сопротивления материала ее нити от температуры. У проводников, работающих при невысоких температурах, удельное сопротивление изменяется сравнительно слабо. Нить лампы накаливания работает при очень высоких температурах и поэтому изменение сопротивления ее весьма значительно. Приведенная на рис. 1 кривая  $R = f(U)$  [Л. 4], где величины выражены в процентах от номинальных значений, показывает, что сопротивление лампы накаливания с вольфрамовой нитью от холодного до рабочего состояния увеличивается в 11,5 раза.

Вследствие резкого изменения сопротивления вольтамперная характеристика (рис. 2) лампы накаливания с вольфрамовой нитью значительно отклоняется от прямой линии. Эта характеристика может быть довольно точно выражена уравнением

$$\lg \frac{I}{I_0} = A \left( \lg \frac{U}{U_0} \right)^2 + B \lg \frac{U}{U_0}.$$

Уравнение для вольтамперной характеристики лампы накаливания может быть выражено в явном виде:

$$\ln I = C (\ln U)^2 + D \ln U + E,$$

где

$$C = 2,3A;$$

$$D = B - 2A \lg U_0;$$

$$E = 0,43 [A (\lg U_0)^2 + \lg I_0 - B \lg U_0].$$

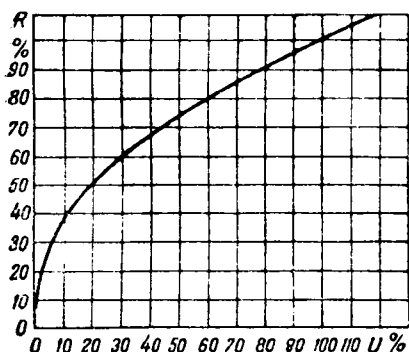


Рис. 1. Зависимость сопротивления лампы накаливания с вольфрамовой нитью от напряжения.

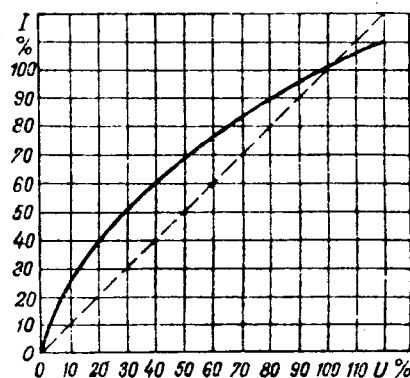


Рис. 2. Вольтамперная характеристика лампы накаливания с вольфрамовой нитью.

При изменениях напряжения, не превышающих  $\pm 10\%$  от номинального, достаточную точность дает уравнение

$$\frac{I}{I_0} = \left( \frac{U}{U_0} \right)^m.$$

Сопротивление лампы накаливания является переменной величиной, поэтому можно ожидать, что кривая проходящего через нее переменного тока при синусоидальном приложенном напряжении будет отличаться по форме от синусоиды. Для идеального случая, когда теплоемкость вольфрамовой нити равна нулю, графическим построением можно найти форму кривой тока. На рис. 3 это сделано для лампы 60 вт, 220 в. Как и всегда, при нелинейном сопротивлении первого рода кривая тока имеет большее приближение к прямоугольнику, чем синусоида. Коэффициент формы кривой составляет в данном случае

$$k = \frac{I}{I_{cp}} = 1,07;$$

коэффициент амплитуды

$$k_m = \frac{I_m}{I} = 1,27$$

вместо 1,11 и соответственно 1,41 у синусоиды. Разложение кривой тока на высшие гармонические (рис. 3) позволяет выразить ее следующим рядом:

$$i = 1,10 \cdot I_m \sin \omega t + 0,14 \cdot I_m \sin 3\omega t + 0,06 \cdot I_m \sin 5\omega t.$$

Высшие гармонические седьмого и более высоких порядков крайне малы и ими можно пренебречь.

В действительности, при стандартной частоте 50 гц искажение формы кривой тока лампы накаливания практически отсутствует. Это объясняется тем, что нить лампы обладает конечной теплоемкостью.

Уравнение мгновенного теплового баланса нити лампы накаливания имеет вид:

$$\frac{u^2}{r} = p + mc \frac{dT}{dt},$$



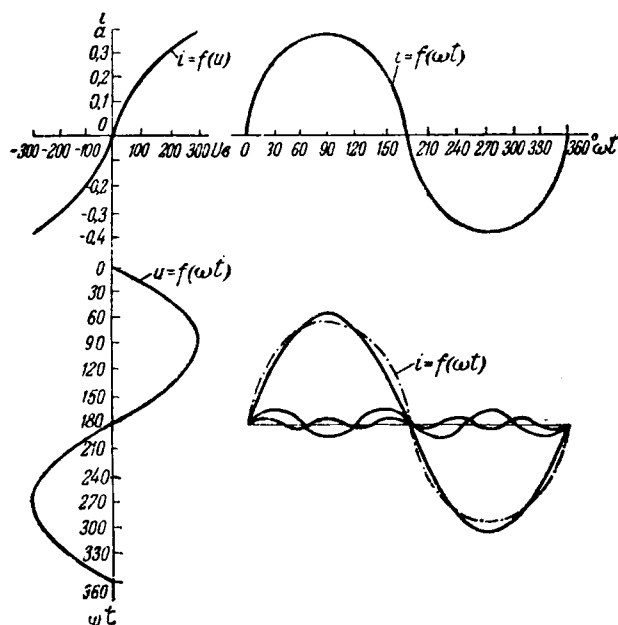


Рис. 3. Кривая тока лампы с вольфрамовой нитью (с теплоемкостью, равной нулю) при синусоидальном напряжении.

где  $u$ ,  $r$  и  $p$  — мгновенные значения напряжения, сопротивления нити и отводимого с поверхности нити количества тепла;

$m$  — масса нити;  $c$  — удельная теплоемкость материала нити;

$\Delta T$  — отклонение температуры нити от ее среднего значения;

$t$  — время.

Зависимость сопротивления и излучаемой мощности от температуры может быть выражена уравнением

$$H = H_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^n,$$

где  $H_0$  — значение соответствующего параметра при средней температуре  $T_0$ .

Так как отклонение температуры  $\Delta T$  от среднего ее значения  $T_0$  невелико, предыдущее уравнение можно переписать в виде:

$$H = H_0 \left( 1 + n \frac{\Delta T}{T_0} \right).$$

Преобразуем уравнение теплового баланса нити в

$$r m c \frac{d\Delta T}{dt} = u^2 - r p$$

и предположим в левой части  $r = r_0$ , так как отклонения  $r$  от  $r_0$  при частоте 50 гц невелики. Тогда

$$r_0 m c \frac{d\Delta T}{dt} = U_m^2 \sin^2 \omega t - P_0 r_0 \left[ 1 + (n_p + n_r) \frac{\Delta T}{T_0} \right].$$

Решение этого дифференциального уравнения:

$$\Delta T = \Delta_0 T \cos(2\omega t - \psi),$$

где

$$\Delta_0 T = \frac{1}{V \left( \frac{n_p + n_r}{T_0} \right)^2 + \left( \frac{2cm\omega}{P_0} \right)^2}.$$

Отсюда следует, что отклонение температуры нити лампы  $\Delta T$  изменяется по синусоиде с частотой, в два раза превышающей частоту приложенного напряжения, и с амплитудой  $\Delta_0 T$ .

В стандартных лампах максимальное значение  $\Delta_0 T$  при  $f = 50$  гц много меньше  $100^\circ \text{C}$ , а в этом случае первое слагаемое под знаком радикала в выражении  $\Delta_0 T$  приблизительно в 10 раз меньше второго, и им можно пренебречь. Тогда

$$\Delta_0 T = \frac{P_0}{2cm\omega} = \frac{P_0}{4\pi fcm} < 100^\circ \text{C}.$$

В свою очередь

$$\begin{aligned} r &= r_0 \left( 1 + n_r \frac{\Delta T}{T_0} \right) = r_0 \left[ 1 + n_r \frac{\Delta_0 T \cos(2\omega t - \psi)}{T_0} \right] = \\ &= r_0 \left[ 1 + n_r \frac{P_0 \cos(2\omega t - \psi)}{2\pi fcm T_0} \right]. \end{aligned}$$

Таким образом, сопротивление лампы накаливания с вольфрамовой нитью при питании ее синусоидальным напряжением изменяется по периодической кривой, состоящей из постоянной составляющей  $r_0$  и переменного члена в виде синусоиды с частотой, в два раза превышающей частоту приложенного напряжения.

Принимая для иллюстрации максимальную величину переменного члена равной 15% от  $r_0$ , можно представить кривую тока при синусоидальном напряжении в виде кривых рис. 4 и 5. В первом случае  $\psi = 180^\circ$  и кривая тока симметрична относительно оси абсцисс, а во втором  $\psi = 150^\circ$  и кривая несимметрична, сдвинутым максимумом.

Кривая тока выражается для рис. 4 рядом

$$i = 1,08 \cdot I_m \sin \omega t + 0,08 \cdot I_m \sin 3\omega t + 0,005 I_m \sin 5\omega t,$$

а для рис. 5

$$i = 1,04 \cdot I_m \sin(\omega t + 2^\circ) + 0,078 \cdot I_m \sin(3\omega t - 27^\circ) + 0,005 I_m \sin(5\omega t - 90^\circ).$$

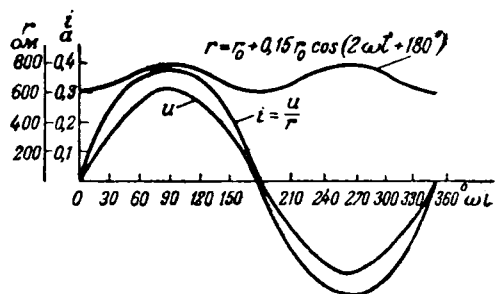


Рис. 4. Работа лампы накаливания при частоте 6 гц ( $\psi = 180^\circ$ ).

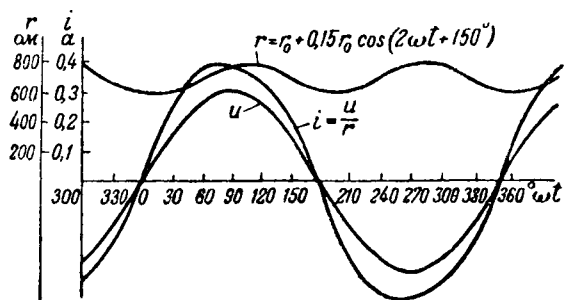


Рис. 5. Работа лампы накаливания при частоте 6 гц ( $\psi = 150^\circ$ ).

Из уравнения, выражающего зависимость сопротивления от температуры и частоты, следует<sup>1</sup>, что для лампы 60 вт (при  $m = 0,013$  г;  $c = 0,205$  вт сек/°;  $n_s = 1,2$ ;  $T = 2500^\circ$  С) изменение сопротивления по кривой, изображенной на рис. 4 и 5, может иметь место при частоте порядка 5–7 гц. При частоте 50 гц отклонения сопротивления нити от среднего значения порядка всего 1,7% и искажение формы кривой тока практически отсутствует. Исследование осциллограмм тока лампы накаливания 60 вт, 220 в при синусоидальном напряжении 50 гц показывает, что величина высших гармонических лежит за пределами точности опыта.

Для ламп больших мощностей, т. е. с большей массой и, следовательно, большей теплоемкостью нити изменения сопротивления нити в течение периода переменного тока еще меньше. Поэтому при частоте 50 гц в установившемся режиме ток в лампе накаливания можно считать одинаковым по форме с напряжением.

<sup>1</sup> Нужно иметь в виду, что вследствие принятых допущений это уравнение достаточно точно только для малых изменений сопротивления нити лампы во времени, т. е. для частот, близких к 50 гц, и для более высоких частот.

При понижении частоты тока эффект изменения сопротивления становится все значительнее и при частотах ниже 10 гц изменение сопротивления нити лампы составляет десятки процентов.

Таким образом, обычная лампа накаливания является резко выраженным нелинейным сопротивлением, характеристики которого типичны для других активных сопротивлений с нелинейностью, определяемой их температурой. Даже при весьма небольшой теплоемкости нити сопротивление лампы при постоянном напряжении и стандартной частоте остается практически неизменным. Это тем более справедливо для сопротивлений с большей теплоемкостью.

Вследствие этого при расчете установившегося режима цепи переменного тока с частотой 50 гц нелинейные сопротивления такого типа могут рассматриваться как линейные.

При переменном токе частотой менее 5–10 гц изменение температуры нити лампы накаливания и сопротивления ее в течение одного периода составляют весьма заметную величину порядка десятков процентов.

Наличие тепловой инерции является важной особенностью активных нелинейных сопротивлений с зависимой от температуры характеристикой, отличающей их от других нелинейных сопротивлений как активных, так и реактивных.

#### Литература

1. А. Г. Захарин, И. А. Будзко. Нелинейные цепи и вопросы автоматики. Электричество, № 16, 1937.
2. Г. Б. Двайт. Таблицы интегралов и другие математические формулы. Госиздат, стр. 196, 1948.
3. М. А. Топчибашев. Результаты исследования вольтамперных характеристик некоторых нелинейных сопротивлений. А. и Т., т. 10, № 1, 1949.
4. А. П. Иванов. Электрические источники света, ч. 1. Госэнергоиздат, 1938.
5. Расчет цепей, содержащих тирит (реферат). Электричество, № 10, 1935.

[15. 8. 1949]



# О коэффициенте полезного действия передачи энергии через четырехполюсник

Доктор техн. наук, проф. К. М. ПОЛИВАНОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Подставляя из общих уравнений четырехполюсника

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{aligned}$$

Рассматриваются условия максимума к. п. д. передачи энергии через симметричный или несимметричный четырехполюсник. Все выводы основываются на анализе уравнений четырехполюсника с коэффициентами  $A, B, C, D$ . Показывается, что максимальное значение к. п. д. всегда соответствует равенству потерь холостого хода и короткого замыкания.

Поэтому, дифференцируя  $\frac{1}{\eta_{12}}$  один раз по  $|Z_2|$  и другой раз по  $\varphi_2$  и приравнявая производные нулю, непосредственно находим условия

значения  $\dot{U}_1$  и  $\dot{I}_1^*$  (буквы со звездочками обозначают сопряженные величины) в выражение мощности

$$P_1 = \operatorname{Re}(\dot{U}_1 \dot{I}_1^*),$$

получаем:

$$\begin{aligned} P_1 &= \operatorname{Re}(AC^*U_2^2 + BD^*I_2^2 + AD^*\dot{U}_2\dot{I}_2^* + \\ &+ BC^*\dot{U}_2\dot{I}_2^*) = \operatorname{Re}[AC^*U_2^2 + BD^*I_2^2 + \\ &+ (AD^* + BC^*)P_2 + j(AD^* + B^*C)Q_2], \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$P_2 + jQ_2 = |S_2|(\cos \varphi_2 + j \sin \varphi_2) = \dot{U}_2 \dot{I}_2^*. \quad (2)$$

Пользуясь приведенными выражениями для  $P_1$  и  $P_2$ , находим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\eta_{12}} = \frac{P_1}{P_2} &= \operatorname{Re} \left[ \frac{AC^*U_2^2}{U_2I_2 \cos \varphi_2} + \frac{BD^*I_2^2}{U_2I_2 \cos \varphi_2} + AD^* + \right. \\ &+ BC^* + j(AD^* + B^*C) \operatorname{tg} \varphi_2 \left. \right] = \operatorname{Re} \left[ \frac{AC^*|Z_2|}{\cos \varphi_2} + \right. \\ &\left. \frac{BD^*}{Z_2^* \cos \varphi_2} + AD^* + BC^* + j(AD^* + B^*C) \operatorname{tg} \varphi_2 \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

В обычных случаях (которые нас только и могут интересовать), когда потери холостого хода и короткого замыкания отличны от нуля, к. п. д. равен нулю в крайних точках при изменении  $|Z|$  от 0 до  $\infty$  и при изменении  $\varphi_2$  от  $-\frac{\pi}{2}$  до  $\frac{\pi}{2}$ .

максимума  $\eta_{12}$ :

$$\frac{\partial(1/\eta_{12})}{\partial |Z_2|} = \operatorname{Re} \left[ \frac{AC^*}{\cos \varphi_2} - \frac{BD^*}{|Z_2|^2 \cos \varphi_2} \right] = 0, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(1/\eta_{12})}{\partial \varphi_2} &= \operatorname{Re} \left[ \frac{\sin \varphi_2}{\cos^2 \varphi_2} \left( AC^*|Z_2| + \frac{BD^*}{|Z_2|} \right) + \right. \\ &\left. + j \frac{AD^* + B^*C}{\cos^2 \varphi_2} \right] = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Следовательно,  $\eta_{12}$  максимально при

$$|Z_2| = \sqrt{\frac{\operatorname{Re}(BD^*)}{\operatorname{Re}(AC^*)}} \quad (6)$$

и

$$\sin \varphi_2 = \frac{\operatorname{Im}(AD^* + B^*C)}{2\sqrt{\operatorname{Re}(BD^*) \operatorname{Re}(AC^*)}}. \quad (7)$$

В последней формуле при выражении знаменателя  $AC^*|Z_2| + BD^*/|Z_2|$  принято во внимание, что значение  $|Z_2|$  определяется равенством (6).

Из (6) и (7) следует, что

$$X_2 = \frac{\operatorname{Im}(AD^* + B^*C)}{2 \operatorname{Re}(AC^*)} \quad (8)$$

и

$$R_2 = \sqrt{\frac{\operatorname{Re}(BD^*)}{\operatorname{Re}(AC^*)} - \left[ \frac{\operatorname{Im}(AD^* + B^*C)}{2 \operatorname{Re}(AC^*)} \right]^2}. \quad (9)$$

О значении  $\eta_{12 \text{ макс}}$  см. ниже уравнение (46).

При передаче мощности в обратном направлении следует исходить из уравнений четырехполюсника, решенных относительно  $\dot{U}_2$  и  $\dot{I}_2$ :

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 A' + \dot{I}_1' B'; \quad \dot{I}_2 = \dot{U}_1 C' + \dot{I}_1' D', \quad (10)$$

где

$$I_2' = -I_2, \quad I_1' = -I_1.$$

Но из основных уравнений легко найти, что

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 D - \dot{I}_1 B \text{ и } -\dot{I}_2 = \dot{U}_1 C - \dot{I}_1 A, \quad (11)$$

откуда

$$A' = D; B' = B; C' = C; D' = A. \quad (12)$$

Производя соответствующую замену для случая питания с конца, находим условия для максимума  $\eta_{21}$ :

$$|Z_1| = \sqrt{\frac{\operatorname{Re}(BA^*)}{\operatorname{Re}(DC^*)}}, \quad (13)$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{\operatorname{Im}(DA^* + B^*C)}{2\sqrt{\operatorname{Re}(BA^*) \operatorname{Re}(DC^*)}}, \quad (14)$$

$$X_1 = \frac{\operatorname{Im}(DA^* + B^*C)}{2\operatorname{Re}(DC^*)}, \quad (15)$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{\operatorname{Re}(BA^*)}{\operatorname{Re}(DC^*)} - \left[ \frac{\operatorname{Im}(DA^* + B^*C)}{2\operatorname{Re}(DC^*)} \right]^2}. \quad (16)$$

О значении  $\eta_{21 \max}$  см. ниже уравнение (46).

Интересно обратить внимание на то, что условие, найденное для модуля  $Z_2$ , эквивалентно условию равенства потерь холостого хода и короткого замыкания (при номинальном токе и номинальном напряжении в конце).

Действительно, из основных уравнений очевидно, что

$$\dot{U}_{1\kappa} = B\dot{I}_2 \text{ и } \dot{I}_{1\kappa} = D\dot{I}_2. \quad (17)$$

Следовательно,

$$P_{1\kappa} = \operatorname{Re}(\dot{U}_{1\kappa}\dot{I}_{1\kappa}^*) = I_2^2 \operatorname{Re}(BD^*). \quad (18)$$

Точно так же

$$\dot{U}_{1\kappa} = A\dot{U}_2 \text{ и } \dot{I}_{1\kappa} = C\dot{U}_2, \quad (19)$$

следовательно,

$$P_{1\kappa} = \operatorname{Re}(\dot{U}_{1\kappa}\dot{I}_{1\kappa}^*) = U_2^2 \operatorname{Re}(AC^*). \quad (20)$$

Принимая во внимание, что

$$|Z_{21}|^2 = \frac{U_2^2}{I_2^2} = \frac{\operatorname{Re}(BD^*)}{\operatorname{Re}(AC^*)}$$

и деля (20) на (18), находим:

$$\frac{P_{1\kappa}}{P_{1\kappa}} = \frac{U_2^2 \operatorname{Re}(AC^*)}{I_2^2 \operatorname{Re}(BD^*)} = |Z_{21}|^2 \frac{1}{|Z_2|^2} = 1, \quad (21)$$

что и требовалось доказать.

Разумеется, то же самое доказательство применимо и для передачи мощности в обратном направлении.

Легко показать, что найденные выше значения  $Z_1$  и  $Z_2$  для условий  $\eta_{\max}$  совпадают с сопряженно-характеристическими сопротивлениями ( $T_1$ ;  $T_2$ ) четырехполюсника, определяемыми следующими условиями: сопряженное значение

входного сопротивления  $Z_{1 \text{ вх}}$  (или  $Z_{2 \text{ вх}}$ ) при нагрузке на сопряженно-характеристическое сопротивление  $T_2$  (или  $T_1$ ) равно сопряженно-характеристическому сопротивлению  $T_1$  (или  $T_2$ ), т. е.

$$Z_{1 \text{ вх}}^* = T_1 \text{ при } Z_2 = T_2 \quad (22)$$

и

$$Z_{2 \text{ вх}}^* = T_2 \text{ при } Z_1 = T_1. \quad (23)$$

Следует обратить особое внимание на то, что в общем случае сопряженно-характеристическое сопротивление ( $T_i$ ) не равно сопряженному значению характеристического или волнового сопротивления ( $W_i$ ):

$$T_i \neq W_i^*. \quad (24)$$

Значение  $T_i$  легко найти тем же методом, который применяется при определении  $W$ .

Данное выше определение может быть выражено следующими уравнениями:

$$Z_{1 \text{ вх}} = T_1^* = \frac{AT_2 + B}{CT_2 + D}, \quad (25)$$

$$Z_{2 \text{ вх}} = T_2^* = \frac{DT_1 + B}{CT_1 + A}. \quad (26)$$

Исключая из этих уравнений  $T_1$ , получаем:

$$T_2^2(CA^* + AC^*) + T_2(DA^* - D^*A + BC^* - B^*C) - (D^*B + DB^*) = 0 \quad (27)$$

или

$$T_2^2 \operatorname{Re}(AC^*) + T_2 j \operatorname{Im}(DA^* + BC^*) - \operatorname{Re}(BD^*) = 0. \quad (28)$$

Отсюда

$$T_2 = j \frac{\operatorname{Im}(AD^* + BC^*)}{2\operatorname{Re}(AC^*)} \pm \sqrt{\frac{\operatorname{Re}(BD^*)}{\operatorname{Re}(AC^*)} - \left[ \frac{\operatorname{Im}(AD^* + BC^*)}{2\operatorname{Re}(AC^*)} \right]^2}. \quad (29)$$

Этот результат и доказывает [см. (8) и (9)], что при  $\eta_{12} = \eta_{12 \max}$

$$Z_2 = T_2. \quad (30)$$

Аналогично находится и для обратной передачи

$$Z_1 = T_1 \quad (31)$$

при  $\eta_{21} = \eta_{21 \max}$ .

Как в случае симметричного, так и в случае несимметричного четырехполюсника

$$\eta_{12 \max} = \eta_{21 \max} = \eta_{\max}.$$

Это легко доказать, пользуясь методом, близким к предложенному Г. А. Чаяновым и развитым им в статье, публикуемой в настоящем

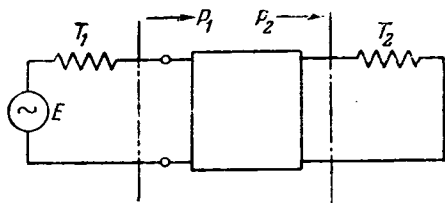


Рис. 1.

номере журнала „Электричество“ (статья Г. А. Чаянова была известна автору ранее ее опубликования). Пользуясь своим методом, Г. А. Чаянов приходит к аналогичным результатам относительно условий максимального к. п. д., однако автору настоящей статьи ход его рассуждений не представляется безупречным.

Для цепи, изображенной на рис. 1, искомое значение к. п. д.

$$\eta_{12} = \frac{P_2}{P_1} \quad (33) \quad \text{и}$$

То, что в рассматриваемой цепи последовательно с генератором включено сопротивление  $T_1$ , не может оказать влияния на значение к. п. д.

Имея в виду, что  $Z_{ax1} = T_1^*$  при нагрузке на  $T_2$  и, следовательно, генератор нагружен на чисто активное сопротивление  $2 \operatorname{Re}(T_1)$ , находим:

$$P_2 = I_2^2 \operatorname{Re}(T_2) \quad (34)$$

и

$$P_1 = \frac{1}{2} P_{\text{ген}} = \frac{1}{2} E \frac{E}{2 \operatorname{Re}(T_1)} = \frac{E^2}{4 \operatorname{Re}(T_1)}, \quad (35)$$

где  $P_{\text{ген}}$  — мощность, отдаваемая генератором.

Следовательно,

$$\eta_{12 \text{ макс}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{4 \operatorname{Re}(T_1) \operatorname{Re}(T_2)}{|Z_{12}|^2}, \quad (36)$$

где  $|Z_{12}| = \frac{E}{I_2}$  (для цепи рис. 1).

Аналогично из рассмотрения цепи рис. 2 находим:

$$\eta_{21 \text{ макс}} = \frac{4 \operatorname{Re}(T_2) \operatorname{Re}(T_1)}{|Z_{21}|^2}, \quad (37)$$

где  $|Z_{21}| = \frac{E}{I_1}$  (для цепи рис. 2).

Но из принципа взаимности очевидно, что

$$Z_{21} = Z_{12}, \quad (38)$$

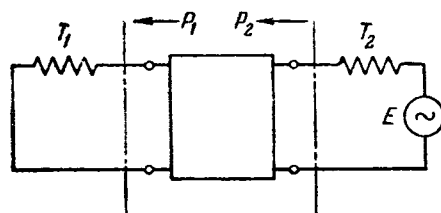


Рис. 2.

чем и доказывается равенство

$$\eta_{12 \text{ макс}} = \eta_{21 \text{ макс}}. \quad (39)$$

Значение  $\eta_{\text{макс}}$  удобно выразить следующим образом.

При передаче мощности от начала к концу

$$P_1 = \frac{U_1^2}{|T_1|} \cos \varphi_{1 \text{ сн}} \quad (40)$$

$$P_2 = I_2^2 |T_2| \cos \varphi_2 = \frac{U_1^2 |T_2|}{|T_2 A + B|^2} \cos \varphi_2. \quad (41)$$

Отсюда

$$\eta_{12 \text{ макс}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{|T_1| |T_2| \cos \varphi_2}{|T_2 A + B|^2 \cos \varphi_{1 \text{ сн}}}. \quad (42)$$

Аналогично при обратной передаче мощности

$$\eta_{21 \text{ макс}} = \frac{|T_1| |T_2| \cos \varphi_1}{|T_1 D + B|^2 \cos \varphi_{2 \text{ сн}}}. \quad (43)$$

Имея в виду, что

$$\cos \varphi_{1 \text{ сн}} = \cos \varphi_1, \quad (44)$$

$$\cos \varphi_{2 \text{ сн}} = \cos \varphi_2$$

(так как  $Z_{1 \text{ сн}} = T_1^*$  и  $Z_{2 \text{ сн}} = T_2^*$ ), находим из (42) и (43):

$$\sqrt{\eta_{12 \text{ макс}} \eta_{21 \text{ макс}}} = \frac{|T_1 T_2|}{|T_2 A + B| |T_1 D + B|}. \quad (45)$$

Но, как было доказано,

$$\eta_{12 \text{ макс}} = \eta_{21 \text{ макс}} = \eta_{\text{макс}}.$$

Следовательно, (45) равно искомому  $\eta_{\text{макс}}$ . После сокращения на числитель, получаем:

$$\eta_{\text{макс}} = \frac{1}{\left| A + \frac{B}{T_2} \right| \left| D + \frac{B}{T_1} \right|}. \quad (46)$$

# О зависимости коэффициентов отдачи мощности двух произвольно выбранных точек электрической цепи

Инж. Г. А. ЧАЯНОВ

Москва

Под термином „коэффициент отдачи мощности“ какого-либо участка электрической цепи (например, участка 1-2 линии передачи, указанной на рис. 1) понимается отношение мощности  $P_2$ , воспринимаемой нагрузкой в конце участка, к той наибольшей мощности

$P_{01}$ , которую передающая часть линии (расположенная слева от точки 1) может отдать внешней нагрузке. Обозначим входные сопротивления линии, расположенные справа от точек 1 и 2  $Z_1 = R_1 + jX_1$ ,  $Z_2 = R_2 + jX_2$ , входные сопротивления линии, расположенные слева от тех же точек  $Z'_1 = R'_1 + jX'_1$ ,  $Z'_2 = R'_2 + jX'_2$ , векторы э. д. с. и тока в начальной и конечной точках участка  $\dot{E}$  и  $\dot{I}$ . Сам участок будем рассматривать как четырехполюсник, нагруженный на концах сопротивлениями  $Z'_1$  и  $Z_2$  (рис. 2 и 2а).

Коэффициент отдачи мощности такого четырехполюсника для направления передачи мощности от 1 к 2 определяется выражением:

$$N_{12} = \frac{P_2}{P_{01}} = \frac{I^2 R_2}{E^2 / 4R'_1} = \left(\frac{I}{E}\right)^2 \cdot 4R'_1 R_2. \quad (1)$$

Применяя принцип взаимности, нетрудно убедиться, что и для противоположного направления передачи (от 2 к 1) выражение для коэффициента отдачи мощности будет тем же самым:

$$N_{21} = \frac{I^2 R'_1}{E^2 / 4R_2} = \left(\frac{I}{E}\right)^2 \cdot 4R'_1 \cdot R_2. \quad (1a)$$

Это дает нам право говорить не о двух отдельных коэффициентах отдачи мощности для противоположных направлений передачи энергии, а об одном, не зависящем от направления передачи мощности (коэффициент отдачи мощности в зависимости от направления передачи может быть, конечно, выражен в различном виде). Таким образом, имеем тождество:

$$N_{12} = N_{21} = N. \quad (2)$$

Доказывается теорема о том, что отношение коэффициентов отдачи мощности двух произвольно выбранных точек электрической цепи равно отношению к п. д. (для противоположных направлений передачи) участка цепи, расположенного между взятыми точками. Одно из следствий теоремы говорит, что всякий пассивный четырехполюсник имеет наибольшую величину к. п. д., одинаковую для обоих направлений передачи при наличии сопряженности входного и нагрузочного сопротивлений на каждой стороне четырехполюсника. Указывается формула для расчета максимальной величины к. п. д. симметричного четырехполюсника.

Уменьшая длину рассматриваемого участка, мы получаем в пределе, совмещение конечной точки участка 2 с начальной 1. В этом случае мы будем говорить о коэффициенте отдачи мощности в отдельной точке 1 линии.

Эквивалентная схема передачи мощности для рассматриваемого случая представлена на рис. 3. Так как в указанной схеме между величинами векторов тока и напряжения имеет место зависимость

$$I = \frac{E}{|Z'_1 + Z_1|}, \quad (3a)$$

то выражение для коэффициента отдачи мощности в точке 1 рассматриваемой линии передачи принимает вид:

$$N = N_1 = \frac{4R_1 R'_1}{|Z'_1 + Z_1|^2}. \quad (3)$$

**Теорема и ее доказательство.** Коэффициенты отдачи мощности двух произвольно выбранных точек электрической цепи относятся между собой, как коэффициенты полезного действия участка цепи, ограниченного выбранными точками, если измерение к. п. д. участка производится для двух противоположных направлений передачи энергии.

Для доказательства теоремы рассмотрим участок цепи передачи, ограниченный точками 1, 2 (рис. 1). Написав выражение коэффициента отдачи мощности рассматриваемого участка цепи для двух противоположных направлений передачи энергии в виде:

$$N = N_{12} = \frac{P_2}{P_{01}} = \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{P_1}{P_{01}} = \eta_{12} \cdot N_1, \quad (4a)$$

$$N = N_{21} = \eta_{21} \cdot N_2, \quad (4b)$$

находим:

$$N_1 : N_2 = \eta_{21} : \eta_{12}, \quad (4)$$

что требовалось доказать.

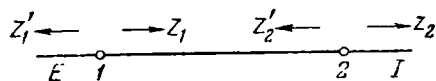


Рис. 1.

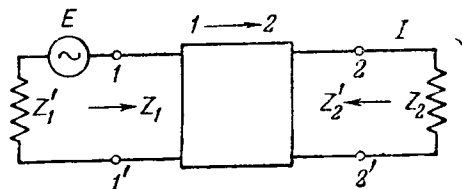


Рис. 2.

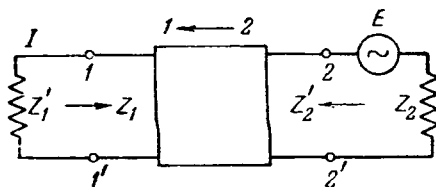


Рис. 2а.

**Следствия из теоремы. Следствие 1.** При равенстве коэффициентов отдачи мощности в конечной и начальной точках участка коэффициенты полезного действия участка для противоположных направлений передачи мощностей одинаковы.

Из уравнения (4) при  $N_1 = N_2$  следует:

$$\eta_{12} = \eta_{21}, \quad (5)$$

что и требовалось доказать.

**Следствие 2.** В линиях без потерь коэффициент отдачи мощности в каждой точке цепи имеет одинаковую величину.

Выбрав в линии без потерь две произвольные точки (1 и 2), мы можем на основании уравнения (4) написать:

$$N_1 = N_2, \quad (6)$$

так как

$$\eta_{12} = \eta_{21} = 1. \quad (6a)$$

Уравнение (6a) является условием отсутствия потерь энергии в линии.

Принимая во внимание произвольность выбора точек 1 и 2, можно написать также равенства:

$$N_1 = N_2 = \dots = N_e = \text{const} \quad (7)$$

при

$$\eta_{ik} = \eta_{ki} = 1 \quad (7a)$$

что и требовалось доказать.

В частном случае при наличии в одной из точек линии сопряженности входных и нагрузочных сопротивлений (например, при  $N_e = 1$ ) подобная же сопряженность будет иметь место и для всех других точек линии (1, 2, 3... i, k, e).

Таким образом,

$$N_1 = N_2 = \dots = N_i \dots N_k \dots N_e = 1 \quad (8)$$

при

$$N_e = 1. \quad (8a)$$

Доказательство справедливости уравнений 8 и 8a, являющихся частным случаем следствия 2, имеется в виде отдельной теоремы в книге Слэтера (Передача ультракоротких радиоволн, 1946 г.)

Другое частное следствие уравнения (8) говорит, что в линиях и электрических цепях без потерь наибольшая мощность, которая может быть получена в какой-либо точке линии, для всех точек цепи одинакова и равна наибольшей мощности генератора, включенного в начале цепи.

По той же причине при включении какого-либо генератора на линию через идеальный трансформатор (без потери мощности в обмотках) наибольшая мощность, которая может быть получена от эквивалентного генератора, остается той же самой, равной мощности основного генератора.

Действительно, осуществив в конечной точке линии условия сопряженности нагрузочного и линейного сопротивлений, мы одновременно будем иметь сопряженность сопротивлений и на зажимах генератора, вследствие чего последний будет отдавать нагрузочному сопротивлению наибольшую мощность. А так как в передающем устройстве поглощения энергии не происходит, то отсюда следует, что приемник в конце линии получит полностью наибольшую мощность генератора.

Этот вывод представляет особую важность при расчете параметров переходных трансформаторов и телефонных аппаратов.

**Следствие 3.** Коэффициент отдачи мощности любого пассивного четырехполюсника имеет наибольшую величину при наличии условия сопряженности входных и нагрузочных сопротивлений на обоих концах четырехполюсника. Условие сопряженности входных и нагрузочных сопротивлений на



Рис. 3.

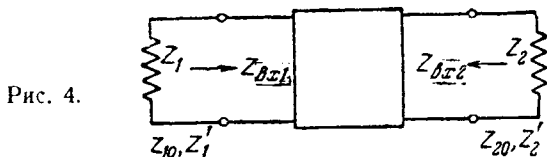


Рис. 4.

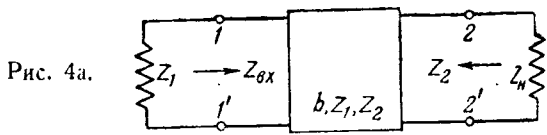


Рис. 4а.

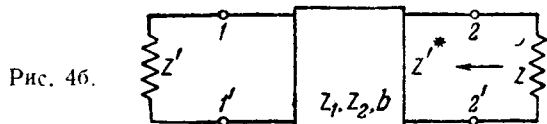


Рис. 4б.

обоих концах четырехполюсника является, вместе с тем, условием получения наибольшей величины к. п. д. (одинаковой для обоих направлений передачи).

Обозначим через  $Z_{10}$ ,  $Z_{20}$  нагрузочные сопротивления, обуславливающие наибольшие величины к. п. д. четырехполюсника (рис. 4), а через  $Z'_1$  и  $Z'_2$  сопротивления, обуславливающие наибольшую величину  $N$ .

Из выражения (4а) видно, что при нагрузке концов четырехполюсника на сопротивления

$$Z_2 = Z_{20} \text{ и } Z_1 = Z_{ex1}^* \quad (9a)$$

коэффициент  $N$  имеет максимум:

$$N = N_{\max} = \eta_{12 \max} \quad (9б)$$

так как при этом

$$N_1 = 1 \text{ и } \eta_{12} = \eta_{12 \max} \quad (9в)$$

Из уравнения (4б) следует:

$$\text{при } Z_1 = Z_{10}, \quad Z_2 = Z_{ex2}^* \quad (9г)$$

$$N = N_{\max} = \eta_{21 \max} \quad (9д)$$

Так как в уравнениях (9б) и (9д) идет речь о наивысшем максимуме одной и той же величины, то их следует признать тождественными, и написать на этом основании следующие равенства:

$$N = N_{\max} = \eta_{12 \max} = \eta_{21 \max} \quad (9)$$

при

$$Z_1 = Z'_1 = Z_{ex1}^* = Z_{10} \text{ и } Z_2 = Z'_2 = Z_{ex2}^* = Z_{20} \quad (10)$$

**Следствие 4.** Коэффициент полезного действия любого пассивного четырехполюсника, нагруженного на выходной стороне сопротивлением  $Z_n$ , может быть рассчитан по формуле

$$\eta = e^{-2b \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}} \quad (10a)$$

где

$$N_1 = \frac{4R_1 R_{ex}}{|Z_{ex} + Z_1|^2}, \quad N_2 = \frac{4R_2 R_n}{|Z_2 + Z_n|^2},$$

$Z_1 = |Z_1| e^{j\varphi_1} = R_1 + jX_1$ ,  $Z_2 = |Z_2| e^{j\varphi_2} = R_2 + jX_2$  — характеристические сопротивления и  $b$  — волновая постоянная передачи четырехполюсника (рис. 4а).

При расчете к. п. д. четырехполюсник предполагается нагруженным на входной стороне на характеристическое сопротивление.

Для того чтобы убедиться в правильности формулы (10а), следует написать выражения для коэффициента отдачи мощности схемы рис. 4а для противоположных направлений передачи:

$$N = N_{12} = N_1 \cdot \eta_1.$$

$$N = N_{21} = N_2 \cdot e^{-2b \cdot \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}}.$$

Отсюда следует:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} \cdot e^{-2b \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}} \quad (10a)$$

что и требовалось доказать.

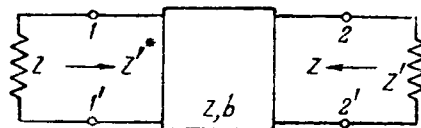


Рис. 5.

Аналогичную формулу для величины к. п. д. мы получаем из рассмотрения схемы передачи рис. 4б (четыреполюсник на входной стороне нагружен сопряженно-характеристическим сопротивлением  $Z'$ , а на выходной — произвольно выбранным сопротивлением  $Z$ ).

В этом случае

$$N_{12} = N_1 \eta,$$

$$N_{21} = N_2 \eta_{\max}$$

и, следовательно,

$$\eta = \eta_{\max} \frac{N_2}{N_1} \quad (10б)$$

где  $\eta_{\max}$  — наибольший к. п. д. четырехполюсника.

**Пример применения теоремы.** Дан симметричный четырехполюсник с постоянной затухания  $b$ , характеристическим сопротивлением  $Z$  и параметрами входных сопротивлений холостого хода и короткого замыкания  $Z_{\infty}$  и  $Z_0$ . Требуется определить величину сопряженно-характеристического сопротивления  $Z'$ , обуславливающего наибольшее значение к. п. д. четырехполюсника, а также выражение для этой наибольшей величины к. п. д. в зависимости от параметров четырехполюсника.

**Решение.** На основании следствия 3 составляем уравнение:

$$Z'^* = Z_{\infty} \frac{Z_0 + Z'}{Z_{\infty} + Z'}, \quad (11)$$

решая которое, находим:

$$X'_0 = -\frac{1}{2} \left( X_0 + \frac{R_0}{R_{\infty}} \cdot X_{\infty} \right); \quad (11a)$$

$$|Z'| = \frac{\sqrt{R_0 R_{\infty}}}{\cos \varphi_{\infty}}; \quad (11б)$$

$$\sin \varphi' = -\frac{\sin(\varphi_0 + \varphi_{\infty})}{2 \cos \varphi_0} \left| \frac{Z'}{Z_{\infty}} \right|. \quad (11в)$$

Для определения величины  $\eta_{\max}$  напомним два выражения для  $N$  четырехполюсника, нагруженного с одной стороны на характеристическое ( $Z$ ), а с другой — на сопряженно-характеристическое ( $Z'$ ) сопротивления (рис. 5):

$$N = N_{12} = \frac{4R R'}{|Z + Z'^*|^2} \eta_{\max} \quad (12a)$$

$$N = N_{21} = \frac{4R R'}{|Z + Z'|^2} e^{-2b} \quad (12б)$$

Из уравнений (12а) и (12б) следует:

$$\eta_{\max} = e^{-2b} \frac{|Z + Z'^*|^2}{|Z + Z'|^2} \quad (21)$$



# Бесконтактные зарядные устройства

Инж. И. И. РАТГАУЗ и инж. В. А. БЕЛОУС

Завод МПСС СССР

Выпрямительные устройства для работы на аккумуляторную батарею являются одним из основных видов применения селеновых выпрямителей.

Выпрямители, используемые для работы на батарею, можно разделить на две группы. Одну группу образуют устройства для заряда батарей, преимущественно транспортных — для электро-возов, электрокар и автомобильного типа. К другой весьма обширной группе относятся выпрямители, работающие с батареей в буфер. Основными потребителями второй группы устройств являются предприятия связи, где благодаря их использованию удалось внести значительные упрощения в радиотелефонное и радиотелеграфное электрооборудование.

Эти две группы устройств также различаются по своим вольтамперным характеристикам.

Задача создания зарядных устройств, в особенности для заряда кислотных батарей, оказывается при более детальном знакомстве более сложной, чем это может представляться на первый взгляд.

Возможны и допустимы различные режимы заряда кислотных батарей, но все они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Температура электролита в процессе заряда кислотного аккумулятора не должна превосходить  $42^{\circ}\text{C}$ , и в соответствии с этим требованием, должны быть ограничены значения зарядного тока до и после достижения точки интенсивного газообразования.

2. Заряд батареи должен быть осуществлен в надлежащий срок (порядка 8 час. для батарей аккумуляторной тяги).

3. Зарядный ток не должен резко зависеть от колебаний напряжения сети и не должен практически вовсе зависеть от состояния батареи, температуры электролита, его плотности и пр.

Широкое применение получили два способа заряда: 1) по видоизмененному способу постоянного напряжения (заряд по автоматической кривой); 2) по ступенчатой характеристике.

Схемы, осуществляющие заряд по автоматической кривой, содержат в цепи переменного тока

*Описываются автоматические бесконтактные зарядные устройства со ступенчатой зарядной характеристикой с селеновыми выпрямителями, работающие от магнитного реле, ток которого подвергается последующему магнитному усилению в схеме. Приведены данные такого рода устройства (ВСЗШ-1), разработанного для заряда кислотных аккумуляторных батарей типов ЭП-370 и ЭП-250 рудничных электровозов.*

балластное сопротивление или индуктивность. Внешняя характеристика устройства — крутопадающая. Этим схемам присущи коренные недостатки. В них чаще всего зарядный ток, несмотря

на наличие балласта, резко изменяется вместе с колебаниями напряжения сети. К тому же устройства не могут обеспечить заряд батареи за одну смену (около 8 час.), так как зарядный ток резко падает с ростом напряжения на батарее. Если же в устройстве применена большая реактивность, которая создает устойчивость зарядного тока в отношении колебаний напряжения сети и делает характеристику более пологой, так что заряд может быть осуществлен достаточно быстро, то при таком подборе параметров неизбежен перегрев электролита после перехода за порог интенсивного газообразования недопустимым значением тока. При таком режиме заряда батарея будет быстро разрушаться.

Ступенчатый режим заряда имеет следующие три существенных преимущества:

1. Заряд может быть осуществлен за короткое время (за смену).

2. В отличие от режима заряда по автоматической кривой значение зарядного тока первой ступени заряда до точки газообразования может быть выбрано независимо от значения тока к концу заряда. Это позволяет избежать перегрева электролита в процессе заряда.

3. Возможно, вместе с тем, создать устройство, зарядный ток которого относительно мало чувствителен к колебаниям напряжения сети.

Опытом установлено, что при достижении в процессе заряда напряжения на аккумуляторе равного  $2,37\text{ в}$  на элемент (при температуре  $25^{\circ}\text{C}$ ), и если величина зарядного тока первой ступени заряда выбрана вблизи ее рационального значения, батарея заряжена до 80—90% ее номинальной емкости. При этом значении напряжения батарея достигает точки газообразования.

Существует так называемое «правило ампер часов», согласно которому батарею можно заряжать током значения (в амперах), равного тому числу амперчасов, которое ей надо сообщить. Например, полностью разряженную батарею емкостью



жаемой батареи, приключенной к выходу устройства. Ампервитки обмотки 17 направлены встречно ампервиткам серийной обмотки 16. Нормально реле поставлено в режим «включено», т. е. в его обмотке течет максимальный ток. Этот ток возбуждает дроссель 3, который в свою очередь возбуждает обмотки силовых дросселей 1, и батарея заряжается током первой ступени. В процессе заряда батареи одновременно с увеличением напряжения на ней растут ампервитки обмотки 17, которые направлены встречно серийным ампервиткам 16. По достижении точки газообразования (2,35 · 2,4 на банку) ампервитки шунтовой обмотки 17 возрастают и реле переходит в режим «отключено» — ток выхода реле и одновременно с тем и ток обмотки возбуждения дросселя промежуточного каскада 13 резко падают. Вследствие резкого падения тока в обмотке 13 индуктивность дросселя 3 возрастает. Падает также ток подмагничивания силовых дросселей 1. В конечном итоге резко падает ток заряда батареи.

Как видно из характеристики реле, приведенной внизу на рис. 1, при срабатывании ток реле резко падает (точки *a* и *в*). При дальнейшем увеличении тока управления ток реле будет медленно возрастать. Если снижать ток управления, то реле не срабатывает уже в точке *в* (магнитное реле относится к триггерным схемам). Переход с минимума тока реле на его максимум имеет место при токе управления, значительно меньшем, чем в точках *a*, *б* (точки *г*, *в*). Реле описывает петлю. Пользуясь привычной терминологией, можно сказать, что реле с характеристикой, показанной на рис. 1, обладает высоким коэффициентом возврата. Этот коэффициент зависит от величины коэффициента обратной связи.

Это свойство реле позволило упростить схему. Когда батарея переводится на вторую ступень заряда, напряжение на ней в результате снижения зарядного тока падает на несколько вольт. Одновременно с тем падает и ток управления реле. Наличие большого коэффициента возврата в работе реле исключает возврат реле на максимум тока и колебательный процесс заряда.

При известных условиях реле получает свойства селективности. Оно выражается в том, что если подать сначала питание на переменную цепь реле 15, затем на обмотку управления 17, реле становится на максимум тока. Если же подключать цепи в обратном порядке, то при некоторых условиях реле станет на минимум тока. Это будет иметь место, когда ток управления будет равен или больше своего значения в точке *в* (рис. 1). Явление было использовано в устройстве с целью осуществления уравнивающего заряда батареи. Для этой цели следует изменить нормальный порядок включения устройства — сначала подать питание на силовую часть устройства, а потом на автотрансформатор 21.

Точка срабатывания реле резко зависит от величины напряжения питания. Для исключения влияния колебаний напряжения сети на момент срабатывания реле в устройстве питается от небольшого стабилизатора напряжения 5 насыщен-

ного типа, мощностью несколько ватт. Этого вида стабилизаторы не столь чувствительны к колебаниям сети, как, например, феррорезонансные.

Стабилизатор 5 представляет собой трансформатор, вторичная обмотка которого помещена на насыщенном стержне. Линейная реактивность осуществлена в виде магнитного шунта с зазором. Стабилизатор содержит еще компенсационную обмотку, расположенную на шунте. При помощи этой обмотки, напряжение которой складывается с напряжением обмотки насыщенного стержня, достигается дополнительная коррекция стабилизированного напряжения.

В рассматриваемой схеме, следует заметить, мы стремились получить стабильность точки срабатывания реле, а не выходного напряжения.

В режиме заряда обратное напряжение на элемент определяется напряжением заряжаемой батареи. В режиме холостого хода обратное напряжение вследствие наличия индуктивности в силовой цепи в виде дросселя заметно возрастает. С целью уменьшения обратного напряжения на вентиль в режиме холостого хода в схему был введен дроссель ограничения обратного напряжения 2. Дроссель 2 приключен параллельно выпрямителю 6. В этом режиме заряда батарея дроссель не сильно насыщен и потребляет умеренный реактивный ток. Этот ток к тому же складывается в квадратуре с током нагрузки и следовательно, наличие его мало сказывается на величину потребляемого из сети тока и на работу устройства.

В режиме холостого хода рост напряжения на вентиле сопровождается значительное увеличение тока, потребляемого дросселем 2, вследствие его насыщения. Это содействует увеличению падения напряжения на силовых дросселях, которое в отличие от режима нагрузки вычитается алгебраически из подводимого напряжения питания. Эта особенность схемы позволяет эффективно ограничить обратное напряжение на выпрямитель в режиме холостого хода.

Величину зарядного тока можно регулировать путем изменения напряжения, подводимого к промежуточному усилителю 3. Сопротивлением 18 можно перемещать в момент перехода на вторую ступень заряда, что позволяет осуществлять заряд батарей с различным числом аккумуляторных банок.

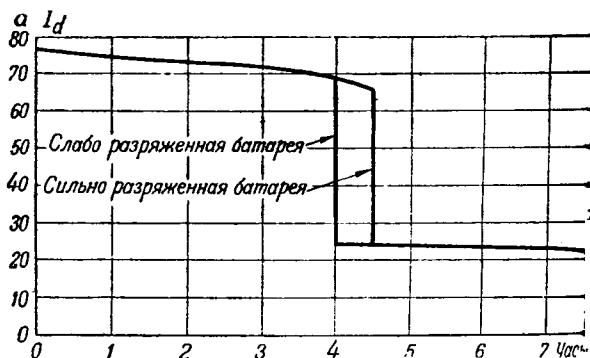


Рис. 2. Зарядная характеристика устройства ВСШ-1.

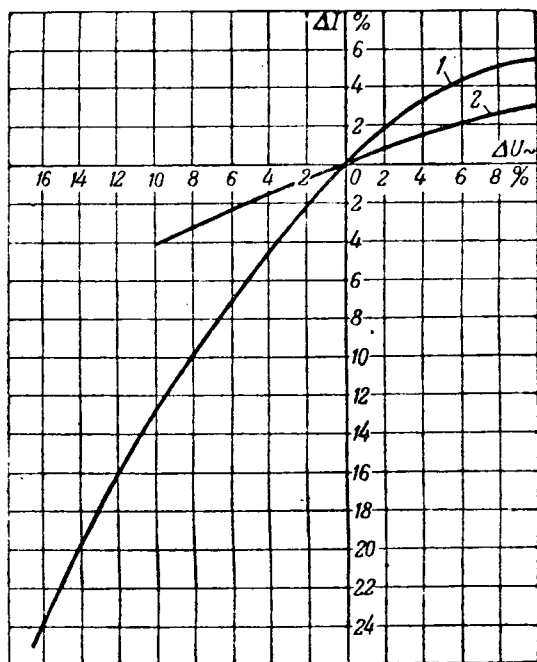


Рис. 3. Зарядный ток в зависимости от колебаний напряжения сети.

1 — для схемы рис. 1; 2 — для схемы рис. 6.

По описанной схеме в 1947 г. на заводе МПСС (директор Б. Е. Озерский) было разработано зарядное устройство (ВСЗШ-1) для угольной промышленности. Выпрямительное устройство ВСЗШ-1 предназначено для заряда кислотных аккумуляторных батарей типов ЭП-370 и ЭП-250 рудничных электровозов. Устройство предусмотрено для работы в шахтах, опасных по пыли и газу, и выполнено масляной конструкции повышенной надежности.

Заряд осуществляется устройством по ступенчатой характеристике (рис. 2). Батарея ЭП-370 заряжается на первой ступени током, равным в среднем 75 а, ток второй ступени заряда — около 23 а. Для батареи ЭП-250 зарядный ток на первой ступени составляет в среднем 50 а, ток второй ступени заряда — около 16 а. Длительность заряда батареи — порядка 8 час. Зависимость зарядного тока первой ступени от напряжения сети показана на рис. 3. Как видно из рисунка (кривая 1), при посадках напряжения сети в пределах 10% ток заряда падает почти прямо пропорционально напряжению сети. При повышении напряжения сети ток заряда растет значительно медленнее, чем напряжение. Это — благоприятное обстоятельство, способствующее сохранности батарей. Более того, параметры устройства выбраны такими, что при к. з. на входе устройства ток не намного превосходит номинальное значение зарядного тока.

В устройстве достигнута высокая степень стабильности точки перехода на вторую ступень заряда. При колебании напряжения сети в пределах  $220 \pm 10\%$  а точка срабатывания перемещается в пределах  $\pm 1\%$  (рис. 4).

Силовой выпрямитель собран по трехфазной мостовой схеме.

Два образца выпрямителя типа ВСЗШ-1 подверглись испытанию в шахте в 1948—1949 гг. Образцы получили положительную оценку. Выпрямители не нуждаются в непрерывном уходе. Ими можно заряжать батареи различных емкостей и с разным числом элементов. При заряде ими батарей температура электролита лежит значительно ниже допускаемых значений, в то время когда при заряде от распространенных сейчас в шахтах зарядных устройств, работающих по автоматической кривой, температура электролита значительно превосходит допускаемые значения. Применение выпрямителей типа ВСЗШ-1 увеличивает срок службы весьма дорогих батарей.

В зарядных устройствах меньшей мощности желательно избежать промежуточного каскада усиления. Для этой цели можно увеличить мощность реле. Но одновременно с тем потребовался бы стабилизатор сравнительно большой мощности, что осложнило бы схему. На рис. 5 дана схема<sup>2</sup>, где эта задача получила свое разрешение. В этой схеме в дросселе 1 обмотка 8 осуществляет компаундное его возбуждение. Обмотка питается напряжением выхода. По мере повышения напряжения на батарее зарядный ток, естественно, имеет тенденцию убывать. Но одновременно с ростом напряжения на батарее увеличиваются ампервитки возбуждения 8, что ведет к снижению индуктивности дросселя и должно обусловить увеличение зарядного тока. В результате взаимодействия этих двух противоположных тенденций зарядный ток, как показывает опыт, остается практически постоянным в процессе первой ступени заряда батареи.

Переход на вторую ступень заряда осуществляется при помощи магнитного реле 5, питающего дифференциальную обмотку возбуждения 7 силового дросселя 1. На первой стадии заряда реле «замкнуто» дроссель заперт и ток в обмотке 7 минимален. Запирание реле осуществляет компенсационная обмотка 10, питаемая от сети через мост 20, которая дает намагничивание, встречное обмотке обратной связи 11. В этом режиме силовой дроссель открыт.

В реле ампервитки 12 направлены встречно ампервиткам 10. Обмотка 12 питается напряжением выхода и создаваемые ею ампервитки растут по мере заряда батареи. Соотношение между параметрами обмотки 10 и 12 выбрано таким,

<sup>2</sup> Приоритетная справка № 394145-III на имя И. И. Ратгауза и В. А. Белоуса.

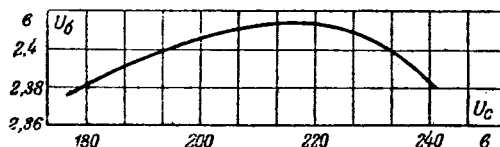


Рис. 4. Устойчивость точки перехода на вторую ступень заряда.

( $U_0$  — напряжение на аккумуляторном элементе;  
 $U_c$  — напряжение питания).



# Технико-экономические сравнения открытых и закрытых распределительных устройств 110 и 35 кВ

Инж. Л. И. ДВОСКИН

Теплоэлектропроект

Распределительные устройства 110 кВ. До последнего времени распределительные устройства (р. у.) 110 и 35 кВ выполнялись, как правило, открытыми за исключением лишь тех случаев, когда ожидалось сильное

загрязнение воздуха от расположенных вблизи предприятий. В последнем случае распределительные устройства выполнялись закрытыми.

Распределительные устройства 35 и 110 кВ на электрических станциях Советского Союза выполнены в подавляющем большинстве открытыми. Такая практика основана, во-первых, на том, что стоимость строительной части закрытых р. у. 10 кВ, оборудованных баковыми масляными выключателями, в 5—6 раз больше стоимости строительной части открытого р. у. с таким же оборудованием и, во-вторых, на том, что вопросам эксплуатации этих открытых р. у. уделялось совершенно недостаточное внимание при проектировании.

В связи с выпуском нашей промышленностью нового электрооборудования — воздушных выключателей и одноколонковых разъединителей 10 кВ и малообъемных масляных и воздушных выключателей 35 кВ — резко изменилось соотношение стоимости строительной части этих устройств при выполнении их закрытыми или открытыми.

Изучение опыта эксплуатации выполненных р. у. 110 и 35 кВ на значительном числе электростанций и подстанций говорит о том, что решение о выполнении этих устройств открытыми было правильным. В результате имели место очень большие эксплуатационные трудности; в процессе эксплуатации оказывалось необходимым произвести очень дорогие и трудоемкие работы по замене всей открытой изоляции на другие, усиленные типы. Ежегодные работы по поддержанию изоляции этого устройства на нужном уровне

*Накопленный опыт эксплуатации и успехи отечественного электроаппаратостроения дают основание пересмотреть существующую практику в области сооружения распределительных устройств 110 и 35 кВ. Резкое снижение стоимости строительной части закрытых распределительных устройств при установке в них новейшего оборудования позволяет шире рекомендовать строить распределительные устройства закрытого типа, что будет способствовать более надежной их работе и лучшим условиям эксплуатации.*

надежности были весьма велики и, несмотря на большой объем таких работ, все же имели место аварии.

Настоящая работа имеет своей целью показать опыт эксплуатации открытых р. у. 110 и 35 кВ и произвести

техничко-экономические сравнения открытого и закрытого исполнения этих устройств с учетом установки в них новейшего оборудования.

Опыт эксплуатации открытых и закрытых распределительных устройств 110 кВ. Эксплуатационная надежность и удобство открытых и закрытых р. у. сравниваются по:

а) количеству работ на поддержание в исправном состоянии изоляции и электрического оборудования;

б) поведению (работе) электрооборудования;

в) аварийности электрооборудования и изоляции из-за загрязнения и поломки фарфора.

Вопросы эксплуатации изоляции открытых р. у. уже давно привлекали внимание [Л. 1—6]. Аварии открытых р. у. электростанций из-за загрязнения их изоляции относятся к тяжелейшим авариям, часто приводившим к развалу электрической системы. Загрязнения открытых р. у. при электростанциях, приводившие к авариям, имели место при расположении этих устройств на расстоянии до 150 м от главного здания электростанции, т. е. на расстоянии, которое значительно больше обычных, применяемых в типовых компоновках электростанций.

Интенсивное загрязнение изоляции открытых р. у. требует ее очистки, например, путем обмывки водой. Однако, как показал дальнейший опыт эксплуатации таких устройств, этот метод очистки не нашел широкого распространения, так как он не мог быть применен в периоды низких температур. Кроме того, этот метод не мог быть применен в ряде компоновок открытых р. у. из-за особенностей расположения их электрооборудова-

ния (например, при высоком типе конструкций). В конечном счете, многие энергосистемы полностью отказались от такого способа очистки изоляции. Необходимо отметить, что в некоторых случаях обмывка изоляции под напряжением была причиной крупных аварий [Л. 1]. Таким образом, единственным мероприятием для борьбы с интенсивным загрязнением изоляции открытых р. у. осталась ручная очистка ее. Работы по протирке и очистке изоляции вызывают прежде всего снижение надежности питания потребителей из-за необходимости при наличии в р. у. двух систем шин перевода всех цепей на работу от одной системы шин. Тем самым увеличивается вероятность полного обесточения р. у. в случае псвращения, в период очистки, этой единственной, оставшейся под напряжением, системы шин. Кроме того, проведение работ по очистке изоляции требует производства многочисленных переключений для поочередного вывода цепей из работы.

Большое число операций с разъединителями приводит к резкому ухудшению состояния опорной изоляции. Опыт эксплуатации показал, что именно при оперировании разъединителями и происходит наибольшее число аварий с ними. Работа по очистке изоляции составляет значительную дополнительную загрузку эксплуатационного персонала, который должен производить эти работы в чрезвычайно неудобных условиях, на большой высоте, а иногда при ветре, дожде или снеге.

Ленэнерго отмечает, что при сланцевых топливах на изоляторах образуются осадки, не поддающиеся механической, а иногда и химической очистке [Л. 2].

Для увеличения интервалов между очистками изоляции на ряде электростанций прибегают к повышению уровня изоляции открытых р. у. Так, втулки выключателей и трансформаторов р. у. 110 кВ выполняются как для 154 кВ. В гирляндах натяжных и подвесных изоляторов добавляются по 2—3 дополнительных элемента. Применяются изоляторы специальных типов [Л. 8].

Ввиду того, что большая часть указанных материалов по эксплуатации открытых р. у. относится к 1934—1941 гг., Теплоэлектропроект, в течение 1948—1949 гг., запросил и получил материал с 32 электростанций Союза по эксплуатации их р. у. Особый интерес представляют материалы электростанций, на которых имеются как открытые, так и закрытые р. у. 110 кВ.

Рассмотрение указанных материалов по эксплуатации позволяет открыть р. у. этих электростанций разбить на три группы. В первую группу входят р. у. с тяжелыми условиями работы, с количеством ежегодных отключений для очистки от 3 до 16 раз и средними затратами на эксплуатационные работы около 400 человеко-часов на одну цепь в год. Из общего числа р. у. в первую группу входит около 30%.

Во вторую группу входят открытые р. у. со средними условиями эксплуатации, с количеством отключений для очисток в 2—12 раз в год и средними затратами на производство эксплуата-

ционных работ около 150 чел.-час на одну цепь в год. Из общего числа р. у. во вторую группу входит около 35%.

В третью группу входят р. у. с относительно легкими условиями работы, с числом отключений для очистки изоляции до 4 раз в год, с затратами на производство этих работ около 90 чел.-час в год на одну цепь.

Сопоставление объема работ по очистке изоляции открытых и закрытых р. у. 110 кВ показывает, что в закрытых устройствах объем указанных эксплуатационных работ меньше, чем в открытых устройствах с самыми легкими условиями. Трудозатраты на одну цепь в год в закрытых р. у. составляют около 60 чел.-час.

Из тех же данных по эксплуатации следует, что количество аварий от поломок изоляторов, имевших место на открытых р. у. при электростанциях, достаточно велико. Так, в р. у. первой и второй групп аварии из-за поломки изоляторов разъединителей имели место на 8 установках (из 20) и составляли 0,025 аварии на одну цепь в год. Аварии из-за загрязнения изоляции имели место на 9 установках этих двух групп и составляли 0,08 аварии на одну цепь в год.

В распределительном устройстве третьей группы аварии из-за поломки изоляторов имели место на 5 установках (из 8) и составляли 0,27 аварии на одну цепь в год. Аварий из-за загрязнения изоляции в устройствах третьей группы не было. Аварий из-за загрязнения и поломки изоляторов в закрытых р. у. 110 кВ не было. Единственная авария, коотрая была в одном закрытом устройстве по причине загрязнения изоляции, произошла на наружной крышке линейного ввода, т. е., по существу, не в закрытом устройстве, а вне его. Из данных эксплуатации можно видеть, что с аппаратурой каждой цепи открытого р. у. первой и второй групп приходится делать от 60 до 120 операций ежегодно. Естественно, что при таком большом числе операций весьма вероятно производство ошибочной операции и возникновение по этой причине тяжелой аварии.

Из полученных материалов также следует, что работы по поддержанию изоляции открытых р. у. на нужном уровне исключительно велики. Руководство эксплуатацией одной из электростанций указывает, что если бы вместо открытого р. у. у них было бы закрытое, можно было бы сократить персонал электроцеха на 3 чел. Из-за интенсивного загрязнения опорной изоляции в 7 электростанциях все изоляторы разъединителей были сменены (ШТ-35 были заменены на изоляторы ИШД-35). На других 2 электростанциях колонны опорных изоляторов разъединителей были усилены путем добавления четвертого элемента, а подвесная изоляция — путем добавления двух элементов в гирлянду. Ежегодно в открытых р. у. заменяется при профилактических испытаниях достаточно большое количество опорных изоляторов, что, помимо значительных затрат, вызывает дополнительные и достаточно длительные отключения цепей для производства этих работ. О значительном проценте ежегодно см



няемых опорных изоляторов сообщает также и эксплуатация высоковольтных сетей одной из крупнейших энергосистем Советского Союза. В этой системе в 1948 г. из общего числа установленных на ее подстанциях 8 000 опорных изоляторов типа ИШД-35 было забраковано 2,23%, из 8 500 изоляторов типа ШТ-35 было забраковано 7,7% и из 5 500 изоляторов типа ШТ-30 было забраковано 7,5% или в среднем по всем типам изоляторов 5,75%. Технический отдел Министерства электростанций СССР, обобщая материалы по эксплуатации по всем энергосистемам Советского Союза, указывает, что процент ежегодно заменяемых опорных изоляторов достигает 20 [Л. 7].

Электрооборудование, установленное на открытых р. у. 110 и 35 кВ, работает в значительно более тяжелых условиях, чем при установке его в закрытом помещении. В присланных электрическими станциями материалах указывается на следующее:

1. При низких температурах имели место случаи застревания приводов выключателей. Последние вследствие этого не удерживались во включенном положении.

2. При резких изменениях температуры воздуха (заморозки после оттепели) имели место случаи примерзания подвижных сердечников катушек отключения.

3. Зимой бывали случаи примерзания контактов разъединителей.

4. При сильных морозах опасно производство операций с разъединителями из-за возможности подомки последних.

5. Зимой затрачиваются большие средства на обогрев выключателей и их приводов.

6. В зимнее время вследствие заносов затруднено отыскание повреждений в кабелях.

7. Весной и осенью в сырую погоду происходит недопустимое снижение изоляции оперативных цепей постоянного тока вследствие проникновения влаги в приводы выключателей и зажимные сборки.

8. Силовые и контрольные кабели, проложенные в каналах открытых р. у., требуют частых работ по профилактике.

9. Масло в выводах 110 кВ на открытых р. у. быстро стареет под действием солнечных лучей.

10. Условия ревизии маслонаполненной аппаратуры на открытых р. у. (фильмирование масла, заливка, взятие пробы, вскрытие аппаратов) в сильной степени зависят от погоды. Дожливая погода сильно тормозит, удлиняет срок и ухудшает качество проводимых работ, срывая годовой график очередности ремонтов.

11. Время для ревизии выключателей открытых р. у. увеличивается на 30—50%.

12. При направлениях ветра в сторону открытого р. у. в сырую погоду в последнем имеет место интенсивное коронирование, вследствие чего приходится снижать напряжение на шинах 110 кВ.

Особенно наглядна разница в надежности и удобстве эксплуатации р. у. 110-кВ электростанций, где имеются открытое и закрытое выполнение этих устройств. Если открытые р. у. этих

электростанций относятся ко второй группе по условиям эксплуатации, то закрытые р. у. этих электростанций эксплуатируются с минимальными затратами труда и работают совершенно безаварийно.

Таким образом, материалы за последнее десятилетие полностью подтверждают то, что электрооборудование, установленное в закрытых р. у., работает в значительно более благоприятных условиях, что обеспечивает безаварийность этих устройств.

В закрытых устройствах работы по очистке и ревизиям производятся, как правило, один-два раза в год. Во многих закрытых р. у. 110 кВ профилактика опорных изоляторов совершенно не производится. Количество операций с разъединителями весьма невелико. Отсутствие резких изменений температуры воздуха и меньший диапазон изменений температуры, а также меньшие усилия на фарфор опорных изоляторов разъединителей из-за отсутствия их запыления, а иногда и обледенения, приводят к тому, что опорные изоляторы в закрытых р. у. не растрескиваются и не ломаются, как это имеет место в открытых р. у. Таким образом, фарфоровая изоляция в закрытых р. у. та самая, которая в открытых р. у. является источником частых аварий и о которой в министерстве электростанций отзываются как о «совершенно непригодной к эксплуатации» [Л. 7], работает в закрытых р. у. совершенно безукоризненно; ни в одном из шести закрытых р. у. на рассмотренных электростанциях не потребовалась даже частичная замена изоляции за все время эксплуатации.

Более надежной работе электрооборудования в закрытых р. у. способствует также и то, что производство в них осмотров и профилактических работ не зависит от погоды и значительно безопаснее, чем в открытых р. у. Особенно следует подчеркнуть, что эксплуатация воздушных выключателей вместе со всеми элементами пневматического хозяйства находится в закрытых р. у. в значительно более благоприятных условиях.

Все приведенные материалы, несомненно, доказывают, что закрытые р. у. 110—35 кВ обеспечивают наиболее высокую степень надежности и безаварийности работы этих ответственных элементов энергосистемы.

**Стоимость сооружения распределительных устройств 110 кВ.** Большинство р. у. 110 кВ в Советском Союзе выполнялось открытыми из-за высокой стоимости и большого объема работ по строительной части закрытых р. у. Действительно, одна ячейка закрытого р. у. 110 кВ, сооруженного в 1940 г. на одной из подстанций Мосэнерго, оборудованная баковыми масляными выключателями, занимает 3 000 м<sup>3</sup> железобетонного здания; стоимость строительной части такого устройства составляла около 200 000 руб., в то время как стоимость строительной части одной ячейки открытого р. у. 110 кВ была лишь около 30 000 руб. Однако, при установке в закрытом р. у. воздушных выключателей стоимость строительной части с этим новым оборудованием и расход материалов на его выполнение снижаются в три раза;



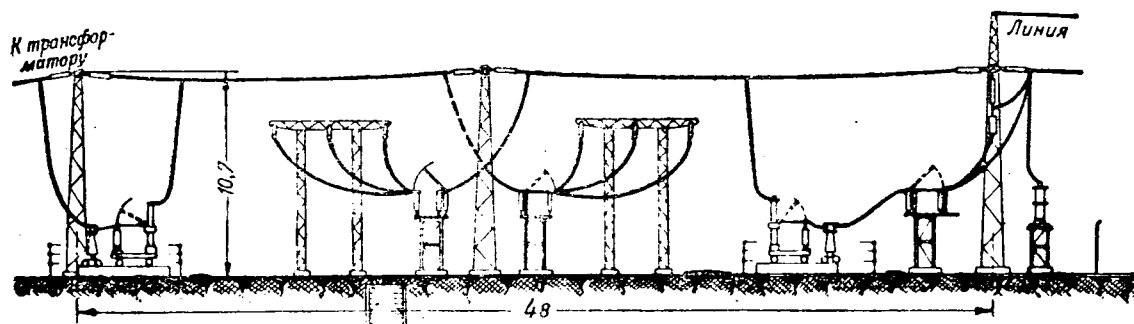


Рис. 1. Открытое р. у. с баковыми масляными выключателями и обычными разъединителями.

кубатура здания на одну ячейку в этом случае уменьшается с 3 000 до 1 100 м<sup>3</sup>. Соответственно уменьшаются и расходы строительных материалов и рабочей силы.

Сравнительные капитальные затраты и размеры необходимых помещений даны в табл. 1, где приведены результаты подсчетов для различного выполнения р. у. 110 кВ крупной электростанции, при применении в этом устройстве двух систем шин и установке оборудования для присоединения пяти трансформаторов, шести линий электропередач, одного шиносоединительного выключателя, двух комплектов тиритовых разрядников и двух комплектов трансформаторов напряжения на сборных шинах.

Таблица 1

Сравнение капитальных затрат при сооружении р. у. 110 кВ\*

Показатели сравнения	Открытые р. у. с воздушными выключателями		Закрытые р. у.		
	С обычными разъединителями	С одноколонковыми разъединителями	С баковыми выключателями	С воздушными выключателями и обычными разъединителями	С воздушными выключателями и одноколонковыми разъединителями
Площадь, м <sup>2</sup> . . . . .	9 240	4 320	5 000	3 900	4 300
Объем здания, м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	41 300	16 000	10 500
Стоимость, тыс. руб.					
а) строительной части . . . . .	532	435	2 400	720	534
б) электрооборудования, включая электромонтаж . . . . .	3 145	3 080	1 987**	2 877	2 754
в) суммарная . . . . .	3 677	3 515	4 387	3 597	3 288

\* Все подсчеты затрат произведены автором в ценах 1945 г. В сравнение принята схема соединений с двумя системами шин и с одним выключателем на цепь.

\*\* Стоимость электрооборудования закрытого р. у. с баковыми выключателями значительно меньше стоимости электрооборудования р. у. с воздушными выключателями за счет того, что цена бакового выключателя в настоящее время на 72 000 руб. меньше цены воздушного выключателя.

В таблицу сравнений не вошли стоимости силовых трансформаторов и других элементов электрического хозяйства электростанции, остающихся неизменными при выполнении р. у. 110 кВ по любому из вариантов.

Поперечные разрезы сравниваемых открытых и закрытых р. у. приведены на рис. 1, 2, 3, 4 и 5.

Для указанного р. у. 110 кВ крупной районной электростанции разница в стоимости строительной части открытого и закрытого распределитель-

ного устройства, оборудованного воздушными выключателями и обычными разъединителями (табл. 1), оказалась всего лишь в 188 000 руб. в пользу открытого р. у.

Стоимость электротехнического оборудования различна для открытых и закрытых устройств. Изоляция электротехнического оборудования, а также подвесных гирлянд в открытых р. у. электростанций, учитывая загрязнение воздуха уносами из труб, выполняется усиленной, как для напряжения 154 кВ. Средний процент удорожания электрооборудования с усиленной изоляцией по сравнению с таким же, но с нормальной изоляцией составляет при воздушных выключателях 12,2% и при масляных выключателях 8,2%.

Таким образом, для р. у. с воздушными выключателями и обычными разъединителями разница в стоимости электротехнического оборудования составляет 270 000 руб. в пользу закрытого р. у. что с лихвой перекрывает разницу в стоимости строительной части в 188 000 руб. в пользу открытого р. у. В будущем соотношение стоимостей электротехнического оборудования, устанавливаемого в закрытом и открытом устройствах, будет еще более благоприятно для закрытой установки, так как в этом последнем случае отпадает необходимость в установке отдельных трансформаторов тока. Последние будут совмещены с линейными выводами, что позволит сократить затраты на электрооборудование еще на 150 000 руб. [Л. 9]. После освоения заводами разъединителей и воздушных выключателей с облегченной фарфоровой изоляцией, рассчитанной на установку в закрытом помещении, стоимость электрооборудования может дополнительно снизиться не менее чем на 5%, что в абсолютных цифрах для рассматриваемого примера составит сумму в 150 000 руб. Таким образом, в настоящее время суммарные капитальные затраты на строительную

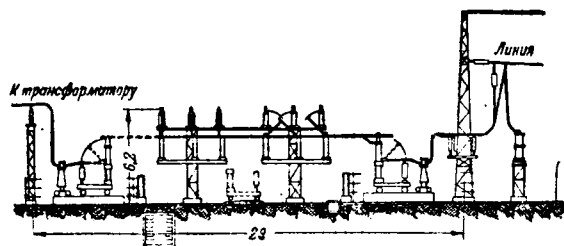


Рис. 2. Открытое р. у. с воздушными выключателями и одноколонковыми разъединителями.

часть и электротехническое оборудование закрытых р. у. при установке в них воздушных выключателей и обычных разъединителей на 80 000 руб. меньше, чем при открытых. В будущем эта разница возрастет до 400 тыс. руб. в пользу закрытых р. у.

При применении одноколонковых разъединителей 110 кВ и воздушных выключателей преимущество закрытых р. у. еще более возрастет. В этом случае потребуется сооружение простейшего одноэтажного здания объемом 750 м<sup>3</sup> на 1 ячейку. Стоимость строительной части такого р. у., рассчитанного на то же число ячеек, что и предыдущее, составляет 534 000 руб., т. е. на 186 000 руб. меньше, чем закрытого р. у. с обычными разъединителями. Кроме того, стоимость его электротехнического оборудования также ниже на

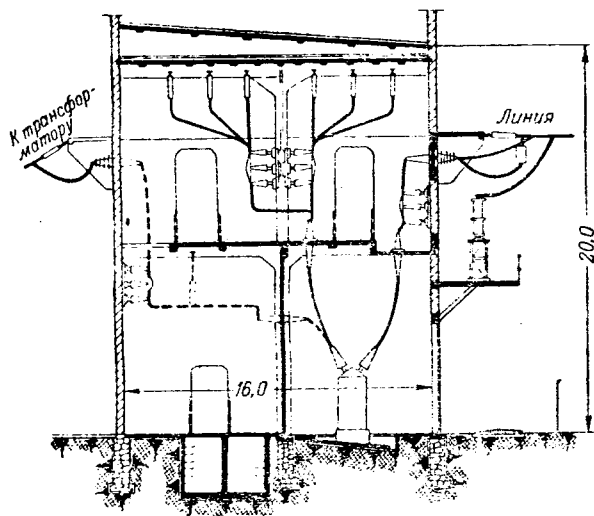


Рис. 3. Закрытое р. у. с баквыми выключателями и обычными разъединителями.

123 000 руб. за счет меньшей стоимости одноколонковых разъединителей и меньшего числа изоляторов.

Применение одноколонковых разъединителей для открытых р. у. 110 кВ также дает удешевление. Стоимость строительной части открытого р. у. при применении одноколонковых разъединителей уменьшается на 97 000 руб. и электротехнического оборудования на 65 000 руб., т. е. всего на 162 000 руб. по сравнению с таким же р. у., но с применением воздушных выключателей и обычных разъединителей.

Главным достоинством открытых р. у. с применением одноколонковых разъединителей является резкое снижение числа изоляторов — на 40%, что существенно повышает надежность этих устройств и уменьшает объем работ по очистке и профилактике.

Таким образом, при применении одноколонковых разъединителей и воздушных выключателей стоимость закрытого р. у. 110 кВ уже в настоящее время на 227 000 руб. меньше, чем стоимость открытого.

При последующем освоении производства трансформаторов тока, встроенных в линейные

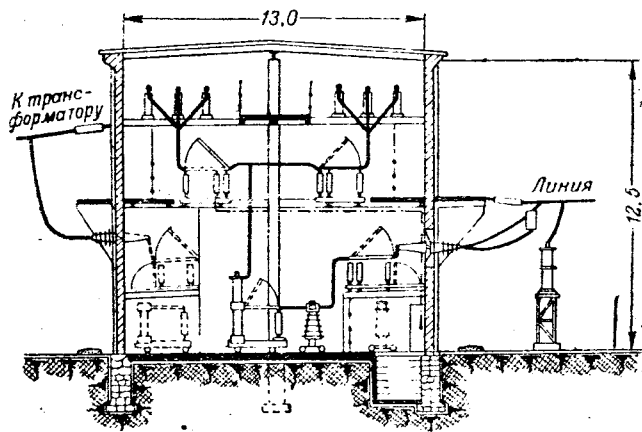


Рис. 4. Закрытое р. у. с воздушными выключателями и обычными разъединителями.

выводы, и изготовлении нашими заводами электрооборудования 110 кВ с изоляцией, учитывая установку этого оборудования в помещении, указанная разница возрастет еще на 300 000 руб.

В результате суммарное снижение стоимости закрытого р. у. по сравнению с открытым при применении в них новейшего оборудования составит значительную сумму в 527 000 руб., или около 20% от полной стоимости этого устройства.

Годовые расходы по распределительным устройствам 100 кВ. Суммарные годовые расходы для сравниваемых вариантов выполнения распределительных устройств при электростанциях представлены в табл. 2 и 3. Расходы на амортизацию электрооборудования приняты для обоих вариантов в 6%, хотя из ранее приведенных материалов видно, что поддержание в исправном состоянии электрооборудования, установленного в закрытых устройствах, требует меньших затрат, чем в открытых, а сроки службы электрооборудования, установленного в закрытых р. у., несомненно, больше, чем для открытых.

Расходы на производство работ по очистке, ревизии, профилактическим испытаниям и ежегодную смену изоляции приняты, как для р. у. первой группы.

Из табл. 3 следует, что ежегодные расходы по содержанию закрытого р. у. электростанции меньше на 50 000 руб., чем для открытого.

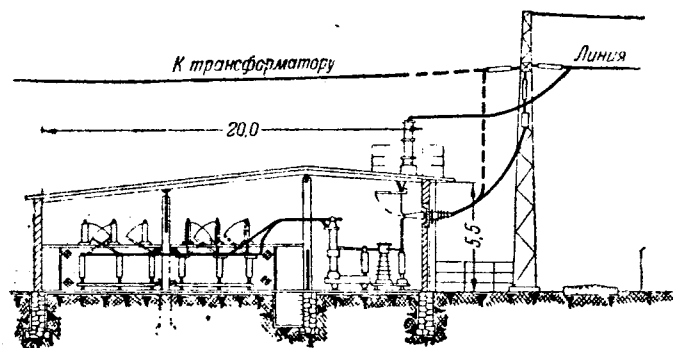


Рис. 5. Закрытое р. у. с воздушными выключателями и одноколонковыми разъединителями.

Таблица 2

Средние трудозатраты и стоимость работ по очистке, ревизиям и профилактическим испытаниям в открытых и закрытых р. у. 110 кВ (на 1 цепь в год)

	Открытые р. у.			Закрытые р. у.
	I группа	II группа	III группа	
Средние трудозатраты чел.-час. . . . .	398	149	89	55
Стоимость трудозатрат <sup>1</sup> , включая начисления, руб. . . . .	2871	1073	641	395

<sup>1</sup> Средняя стоимость чел.-часа принята в 3 руб.

Таблица 3

Сравнение ежегодных расходов по эксплуатации р. у. 110 кВ с воздушными выключателями и обычными разъединителями (в тыс. руб.)<sup>1</sup> (на 1 цепь в год)

Наименование статей расхода	Открытое устройство	Закрытое устройство
Амортизационные отчисления по строительной части (2,5%) . . .	13,2	18,0
Амортизационные отчисления по электрооборудованию (6%) . .	188,0	172,0
Стоимость ежегодно сменяемых изоляторов . . . . .	9,6	0,0
Расходы по очистке, ревизии и профилактическим испытаниям .	34,4	5,3
Суммарные расходы . . . . .	245,2	195,3

<sup>1</sup> Расходы относятся к р. у. с объемом электрооборудования по табл. 1.

**Общие соображения.** В качестве довода в пользу сооружения открытых распределительных устройств часто приводится то соображение, что вследствие очередности в выполнении работ при закрытом варианте потребуется больше средств, чем при открытом. Однако, это обстоятельство следует признать справедливым только для понизительных подстанций. Для электростанций это соображение отпадает, так как расширение р. у. ведется с расширением самой электростанции, в связи с чем на площадке будет достаточно мощная строительная организация, для которой сооружение нескольких дополнительных ячеек закрытого устройства 110 кВ не представит каких-либо затруднений.

По вопросу о локализации аварий следует отметить, что если в открытых р. у. дуга, появившаяся вследствие аварии с электрооборудованием или при неправильной операции с разъединителем, не распространяется, как правило, на соседние цепи, то в закрытых устройствах с воздушными выключателями самая возможность возникновения подобной дуги менее вероятна вследствие лучших условий работы электрооборудования и более четкого его расположения. Наличие перегородок между отдельными цепями в закры-

тых р. у. также способствует локализации дуги, если она все же возникнет.

Необходимо отметить, что если в закрытых р. у. старых конструкций эксплуатация указывала на неудобство работ по очистке изоляции сборных шин и подшинных разъединителей из-за высокого их расположения, то в новых компоновках закрытых р. у. это устранено.

Ущерб, причиненный народному хозяйству авариями, имевшими место вследствие загрязнения изоляции в открытых р. у., во много раз превысил перерасход средств, который имел бы место при выполнении этих устройств закрытыми даже со старыми, тяжелыми и дорогими конструкциями их зданий.

Предположение о том, что при новых компоновках электростанций, сооружаемых с золоулавливающими устройствами и высокими дымовыми трубами, будет полностью исключена опасность интенсивного загрязнения оборудования открытых р. у. едва ли правильно. В случае недостаточно эффективной работы золоулавливающих устройств или временного вывода их из работы а также при неблагоприятных метеорологических условиях загрязнение изоляции открытых р. у. несомненно, будет иметь место со всеми вытекающими последствиями.

Наконец, учитывая опыт эксплуатации открытых р. у. 110 кВ при электрических станциях большую их ответственность и значение для надежной работы системы, большую надежность работы электрооборудования и удобства его эксплуатации, а также меньшие капитальные затраты и ежегодные эксплуатационные расходы при закрытых р. у., следует считать, что в настоящее время эти устройства при установке в них воздушных выключателей должны сооружаться закрытыми. Точно так же и р. у. этого напряжения на понизительных подстанциях, сооружаемых вблизи металлургических, цементных и химических заводов и вблизи морских берегов, должны выполняться закрытыми. Лишь на понизительных подстанциях, размещаемых в местах с незагрязненным воздухом и при растянутых сроках сооружения р. у. 110 кВ целесообразно выполнять открытыми.

**Распределительные устройства 35 кВ.** Если для закрытых р. у. 110 кВ с воздушными выключателями стоимость строительной части все же несколько выше стоимости строительной части открытых устройств, то согласно технико-экономическим сравнениям, произведенным Теплоэлектропроектом, стоимость строительной части закрытых р. у. 35 кВ, оборудованных воздушными выключателями, меньше таковой для открытых.

В табл. 4 приведены сравнительные стоимости и размеры помещений для р. у. 35 кВ при различном их выполнении. Указанное сравнение произведено для устройств с двумя системами шин, рассчитанных на присоединение двух трансформаторов, шести линий электропередач, одного шинносоединительного выключателя, двух комплектов тиристовых разрядников и двух комплектов трансформаторов напряжения на сборных шинах. Резкое снижение стоимости строительной ча-

сти закрытых р. у. с воздушными выключателями по сравнению с таковыми с баковыми масляными выключателями объясняется, во-первых, существенным снижением кубатуры здания из-за уменьшения габаритов выключателей и, во-вторых, упрощением конструкций здания и камер для выключателей. Здание р. у. выполняется залного типа, а камеры выключателей — открытыми, с перегородками из металлического каркаса с тонкими гипсолитовыми плитами вместо прочных, железобетонных, взрывных ячеек.

Таблица 4  
Сравнение капитальных затрат для открытых и закрытых р. у. 35 кв

Наименование типа р. у.	С масляными выключателями МКП-35		С воздушными выключателями	
	откры- тое	закры- тое	откры- тое	закры- тое
Показатели сравнения				
Площадь р. у., м <sup>2</sup> . . . . .	4650	427	4650	325
Объем здания, м <sup>3</sup> . . . . .	—	3 040	—	2 050
Стоимость, тыс. руб.				
а) строительной части . .	173	199	184	141
б) электрооборудования и электромонтажа . . . . .	303	238	522	410
в) суммарная . . . . .	476	437	706	551

Значительное увеличение стоимости электрооборудования для вариантов с воздушными выключателями объясняется тем, что в настоящее время цены на эти выключатели приняты более высокими, чем для баковых, масляных выключателей, а также из-за установки при воздушных выключателях отдельных трансформаторов тока, тогда как при баковых выключателях используются имеющиеся в них втулочные трансформаторы тока. Кроме того, при воздушных выключателях учитывается стоимость компрессорной установки и воздухопроводов.

Затруднения в эксплуатации электрооборудования открытых р. у. и достоинства закрытых р. у. при 35 кв те же, что и для соответствующих устройств 110 кв. Приведенные данные сравнений открытых и закрытых р. у. 35 кв позволяют сделать следующие выводы:

1. Распределительные устройства 35 кв электростанций и понизительных подстанций при установке в них как воздушных, так и баковых выключателей следует выполнять закрытыми.
2. Лишь на понизительных подстанциях, располагаемых в местах с незагрязненным воздухом, и при небольшом числе цепей распределительные устройства 35 кв с баковыми выключателями могут выполняться открытыми.

Литература

1. И. П. Гробивкер. Аварии с перекрытиями изоляторов 115 кв и обмывка их водой под напряжением. Электрические станции, № 12, 1934.
2. А. О. Гольдфельд и А. В. Генер. Профилактика и усиление загрязняемой изоляции открытых распределительных устройств. Электрические станции, № 2, 1940.
3. Г. И. Лысаковский и В. А. Алексеева. Борьба с авариями из-за загрязнения изоляции в системе Донэнерго. Электрические станции, № 1, 1941.
4. И. В. Малхасьян. Аварии вследствие загрязнения изоляторов атмосферными осадками в системе Донэнерго. Электрические станции, № 9, 1937.
5. З. Г. Малкин. Борьба с перекрытиями изоляторов из-за загрязнений. Электрические станции, № 1, 1939.
6. А. Б. Шнегас. Обмывка изоляторов под напряжением. Электрические станции, № 6, 1934.
7. И. А. Сыромятников. Вопросы эксплуатации электрической изоляции и требования к поставщикам изоляции. Электричество, № 2, 1949.
8. А. Ф. Тихонов. Эксплуатация изоляции открытых подстанций в сильно загрязняемом районе. Электрические станции, № 3, 1949.
9. Л. К. Грейнер. Технические характеристики и пути развития электрической аппаратуры высокого напряжения завода "Электроаппарат". ВЭП, № 1, 1949.

[4. 6. 1949]



## Расчетные нагрузки электросетей

Инж. Д. С. ЛИВШИЦ

Московское проектно-конструкторское управление Центроэлектромонтажа

Элементы сети (провода, кабели, трансформаторы, аппараты) маркируются по величине номинальной нагрузки, т. е. нагрузки, которую они в состоянии нести длительно. Действительная нагрузка, как правило, — величина переменная. Поэтому при проверке сетей на нагрев эта переменная величина заменяется условной, не изменяющейся во времени, величиной «расчетной нагрузки», по которой выбираются номиналы изоляционных элементов проектируемой сети. В большинстве случаев расчетные нагрузки ниже ожидаемых абсолютных максимумов и правильное их определение имеет первостепенное значение. Именно они наибольшим образом влияют на размеры проектируемых капитальных затрат, величины энергетических и преобразовательных установок, на расход оборудования, цветных металлов и монтажных материалов, а также на энергетические и эксплуатационные свойства действующих установок. Искуснейшие технико-экономические решения самого опытного инженера могут быть сведены к нулю фактом неверного определения этих исходных данных.

Однако, до сих пор нет общепризнанного, практически приемлемого метода определения этих величин. Соответствующие разделы курсов высших учебных заведений предполагают величины нагрузок заданными. В лучшем случае приводятся весьма скудные [Л. 1], мало обоснованные, а иногда и не соответствующие действительности, данные расчетных коэффициентов. Не уточнена терминология, что приводит, с одной стороны, к излишества, а с другой, — к совершенно необоснованным утверждениям, что применяемые расчетные коэффициенты необычайно завышены [Л. 3].

Целью статьи является кратко осветить состояние этого вопроса в настоящее время и привлечь к нему внимание всех заинтересованных организаций и институтов.

Приводятся основные положения разработанных автором в 1937—1949 гг. и принятых в Главэлектромонтаже Минтяжстроя единых методов: а) определения расчетных нагрузок электросетей для всех категорий потребителей и всех ступеней электроснабжения; б) обследований действующих установок с целью фиксации наблюдаемых нагрузок; в) анализа материалов обследований. Приводятся результаты обследований потребителей индивидуального привода станков станкостроительных и инструментальных заводов, а также крановых фидеров. Даются рекомендованные расчетные формулы и коэффициенты некоторых групп потребителей. Подчеркивается необходимость уточнения коэффициентов обследованиями при участии всех заинтересованных организаций и институтов.

**Основные положения.** Все существующие методы расчета, каковы бы ни были их теоретические предпосылки и практические приемы, в конечном итоге сводятся к основной расчетной формуле, согласно которой расчетная нагрузка  $P_p$  определяется путем умножения суммы номинальных мощностей всех установленных

потребителей  $P_y$  на коэффициент спроса  $K_c$ :

$$P_p = K_c P_y. \quad (1)$$

Следовательно, при выявлении путем обследований наблюдаемых на практике значений  $K_c$  для какой-либо характерной группы потребителей определенной отрасли промышленности необходимо найти величины  $P_p$  и  $P_y$ . Согласно разработанной автором и принятой Главэлектромонтажем инструкции при определении  $P_p$  рекомендуется: а) Исключать из этой суммы мощности всех заведомо резервных потребителей и мощности тех потребителей, которые хотя и не являются резервными, но простаивали в дни производства записи потребления мощности по причинам, которые не могут быть признаны свойственными условиям нормальной эксплуатации. К числу таких аномальных причин относятся, например: нехватка рабочей силы, электроэнергии и т. п. Если мощности оборудования, проставившего по такого рода причинам и достигавшего в некоторых случаях 17—25% общей мощности, не исключать из величины  $P_y$ , фиксируемые обследованиями коэффициенты спроса получатся чрезмерно низкими. Проектировать новые установки по таким низким коэффициентам, в предположении, что и впредь будет иметь место существенное недоиспользование оборудования по такого рода причинам, очевидно, нельзя. Это обстоятельство следует всегда строго учитывать при обследованиях, предназначенных для ответ-

ственных рекомендаций. б) Включать в сумму  $P_y$  мощности двигателей, указанных в паспорте технологического оборудования, а не двигателей, обнаруженных в момент обследования. Причины такой рекомендации те же, что и указанные выше. в) Мощность всех потребителей повторно-кратковременного режима работы при суммировании приводить путем соответствующего пересчета к единой продолжительности включения: для двигателей  $PВ=25\%$ , для сварочных аппаратов  $PВ=50\%$  и т. д. г) Мощности потребителей, маркированных в *квт* при суммировании приводить путем пересчета по номинальному коэффициенту мощности *квт*. При этом мощности каждой печи учитывать по ее паспорту, а не по марке трансформатора, который ее питает. д) Мощности однофазных потребителей в трехфазной сети подсчитывать по наиболее загруженной фазе и при этом потребление энергии также фиксировать по этой наиболее загруженной фазе и т. д. Очевидно, что в зависимости от того или иного решения этих вопросов можно для одной и той же установки получить при обследовании существенно разные значения величин  $P_y$  и, следовательно, зафиксировать разные значения  $K_c$ . Вот почему важно точно обусловить содержание, назначение и методы выявления  $K_c$ , без чего неизбежны расхождения во мнениях о наблюдаемых абсолютных значениях этого коэффициента. Представляется необходимым, чтобы все заинтересованные организации приняли участие в разработке этих вопросов с целью выработки единой терминологии и практики.

Не меньше затруднений встречается при решении вопроса, какую величину нагрузки, наблюдаемой в действующей установке, следует приравнять  $P_p$ . Существенно важно, когда производятся замеры, как долго, помощью каких приборов и какие величины фиксируются. Инструкция системы Главэлектромонтажа рекомендует производить замеры в течение не менее целой смены, в периоды наибольших нагрузок, путем записи через каждые 10 мин. показаний счетчиков, включенных по схеме двух ваттметров, что позволяет одновременно фиксировать коэффициент мощности и наблюдаемые средние нагрузки в *квт*. При этом для каждого обследованного элемента сети (фидера, трансформатора) получаются переменные графики нагрузок.

Не останавливаясь на деталях разных этапов развития этого вопроса и на критике обобщений принимавшихся в разное время решений, отметим лишь, что в отчетных материалах, представляемых промпредприятиями энергосбыединениям, до настоящего времени, фиксируются величины нагрузок, которые получают путем отсчетов по секундомеру числа оборотов диска счетчика в течение приблизительно 10 сек. Записи таких показаний делаются через каждые 10—15 мин. в течение суток, примерно в середине каждого месяца. В организациях Главэлектромонтажа

до 1937 г. величина  $P_p$  приравнивалась „максимуму пятиминутной длительности“, т. е. средней за 5 мин. нагрузке в период абсолютного максимума. В последующем этот вопрос на основе общих соображений подвергался неоднократному пересмотру: в качестве расчетной величины одно время учитывался максимум десятиминутной длительности  $P_{10}$ , затем тот из максимумов десятиминутной длительности, который в течение смены встречается не реже трех раз  $P_{3 \times 10}$ ; были предложения учитывать максимум 30-минутной длительности  $P_{30}$  и т. д. Выполненная в 1948 г. работа автора „Анализ материалов обследований промпредприятий с целью выявления коэффициентов спроса“ привела к решениям, с которыми в декабре 1948 г. согласилось техническое совещание Главэлектромонтажа и которые кратко могут быть сформулированы следующим образом. Коэффициенты спроса нужны для того, чтобы с их помощью определить „расчетные“ нагрузки, т. е. нагрузки, по которым элементы электроустановок следует проверять на нагрев. Поэтому необходимо для каждого полученного наблюдениями графика нагрузки выбирать такую величину  $P_p$ , которая при длительном протекании нагревала бы рассматриваемый элемент сети примерно до таких же наибольших пределов, каких нагрев достигает при рассматриваемом переменном графике, не связывая эту величину с максимумами какой бы то ни было, заранее заданной, длительности или частоты. В качестве расчетной величины  $P_p$  для каждого полученного наблюдениями переменного графика следует принимать пропускную способность такого элемента сети, который бы при данных условиях не перегревался сверх допускаемых нормами величин, кроме кратковременных небольших пик.

Техника анализа графиков сводится к следующему. По общим соображениям выбираются проводники подходящего сечения. В зависимости от выбранной конструкции и сечения проводников по табл. 1 определяется их постоянная времени нагрева  $T$ . Далее можно по графику найти среднеквадратичную нагрузку  $P_{ск}$ , в период максимума, за время, равное  $(3 \div 4)T$ , и сверить ее с пропускной способностью выбранных проводников. Если не годятся эти проводники, выбираются другие, для которых делается такая же проверка. Практически проще ту же величину  $P_p$  находить следующим образом<sup>1</sup>: по известным величинам длительно допустимой нагрузки предварительно выбранных проводников, их постоянной времени нагрева и графику фактической нагрузки строится кривая фактического нагрева этих проводников. Если эта кривая нагрева значительно отклоняется от нормально

<sup>1</sup> Построение кривой нагрева по каждому графику не только упрощает задачу нахождения величины  $P_p$ , но и приводит к более правильным результатам. Таким путем мы ближе подходим к „греющему максимуму“ нагрузки, который обычно несколько превышает среднеквадратичную нагрузку за время  $(3 \div 4)T$ .

Таблица 1

Постоянные времени нагрева ( $T$ ) в минутах, проводов и кабелей [Л. 4 и 5]

Сечение, мм <sup>2</sup>	Прогода с резиновой изоляцией				Трехжильные кабели <sup>1</sup> с бум. изоляцией ма- рок СБ и СБС 1-3 кв	
	Одножиль- ный при открытой прокладке на изоля- торах	2 прогoда в одной трубе	3 прогoда в одной трубе	4 прогoда в одной трубе	Проклад- ка в земле	Проклад- ка в воз- духе <sup>2</sup>
4	2,4	2,5	3,0	4,0	18	6
6	3,0	4,0	4,75	6,25	19,1	7,2
10	4,2	6,75	7,5	9,5	20,6	8,4
16	5,6	9,3	11	13,7	21,6	10,8
25	7,2	13	15,7	19,5	26,4	12,0
35	9,0	15,7	19,5	24	28,8	14,4
50	12	19	23,5	28,3	32,4	18,0
70	15	22,5	27,5	33	37,2	21,6
95	18,4	26,3	32,0	37,5	43	26,4
120	21,4	29,5	35,8	42	48	30
150	24,4	33,5	41,0	47,0	53	34,7
185	—	—	—	—	60	40
240	—	—	—	—	90	45

<sup>1</sup> Толщина жильной изоляции от 1,25 ÷ 1,5 мм и поясной от 1,25 мм.

<sup>2</sup> Температура воздуха принимается 25°.

допустимых величин, выбираются другие проводники и для них вновь повторяется построение. Пропускная способность тех проводников, кривая нагрева которых не уклоняется существенно от нормы, приравнивается  $P_p$ .

Кривые нагрева для каждого графика нагрузки строятся либо по общеизвестной формуле

$$\tau = \tau_s \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2)$$

либо, что проще, помощью шаблонов экспоненциальных кривых. Во избежание необходимости построения большого количества шаблонов, пользование которыми было бы затруднено, нами предложены шаблоны, вычерченные в виде серии кривых, масштаб которых выражен в относительных единицах нагрузки и постоянной времени нагрева (рис. 1). При пользовании этими кривыми легко и удобно в нужных случаях проводить интерполяцию без существенных погрешностей, что придает этой серии совмещенных шаблонов универсальный характер. Ими можно воспользоваться в качестве шаблонов для построения кривой изменения перегрева не только проводов и кабелей, но и любого другого тела, для которого известны: график переменной нагрузки, постоянная времени нагрева  $T$ , номинальная нагрузка  $P_n$  и соответствующий ей номинальный перегрев  $\tau_n$ . Кривая с конечным перегревом  $\tau_s = \tau_n$  соответствует перегреву при однократной номинальной

нагрузке. Любая другая кривая с конечным перегревом  $\tau_{s1}$  соответствует перегреву при нагрузке  $P = KP_n$ . Обозначив  $P_n = 1$ , имеем

$$P = K = \sqrt{\frac{\tau_{s1}}{\tau_n}}.$$

Пример построения кривых нагрева с помощью этой универсальной серии шаблонов и определения  $K_c$  для одного из обследованных фидеров показан на рис. 2. Если предварительно принять для этого графика в качестве расчетной величины  $P_p = 68 \text{ квт}$ , то при известных из материалов обследования: напряжение сети — 380 в и  $\cos \varphi = 0,5$ , получаем ток  $I_p = 205 \text{ а}$ , чему соответствуют провода ПРТО  $3 \times 95 \text{ мм}^2$  в газовой трубе. Постоянная времени этих проводов  $T \approx 32 \text{ мин}$ . Каждый замер (ступенька графика) длится 10 мин., около  $0,3T$ . По этим данным и данным об изменении нагрузки в долях  $P_p = 68$  (левая шкала), пользуясь вспомогательными кривыми рис. 1, строим кривую  $I$  изменения перегрева проводов за все время наблюдения. Убеждаемся, что провода с пропускной способностью 68 квт заметно и главное относительно долго перегреваются сверх нормы. Повторяем то же построение, при той же  $T$ , но при  $P_p = 70 \text{ квт}$  (правая шкала) и по кривой 2 убеждаемся, что для проводов с пропускной способностью 70 квт превышение нормального перегрева было бы незначительно. Принимаем окончательно  $P_p = 70 \text{ квт}$ . Тогда при известных из материалов обследования для этого фидера  $P_p = 395,8 \text{ квт}$  получаем  $K_c = \frac{70}{395,8} = 0,177$ . Если же мы исходили бы из 10-минутного максимума нагрузки

$$K_c = \frac{90}{395,8} = 0,228,$$

а по максимуму, повторяющемуся не реже трех раз за смену:

$$K_c = \frac{83}{395,8} = 0,21.$$

Мы полагаем, что следует установить единообразие во всех вопросах, относящихся к определению величин  $K_c$  и других нужных коэффициентов, путем выпуска ведомственной нормали или стандарта.

**Определение расчетной нагрузки при проектировании. Потребители с одинаковыми режимами.** Если имеются величины наблюдаемых значений  $K$  для достаточного числа фидеров, питающих потребителей с одинаковым режимом работы, можно построить сводный график наблюдений подобно тому, как это показано на рис. 3 и 4. Коэффициент спроса каждого обследованного фидера изобразится на таком графике в виде точки. При этом наблюдается, что точки, относящиеся даже к одному и тому же фидеру, но измеренные в разные дни, часто имеют значительный разброс.

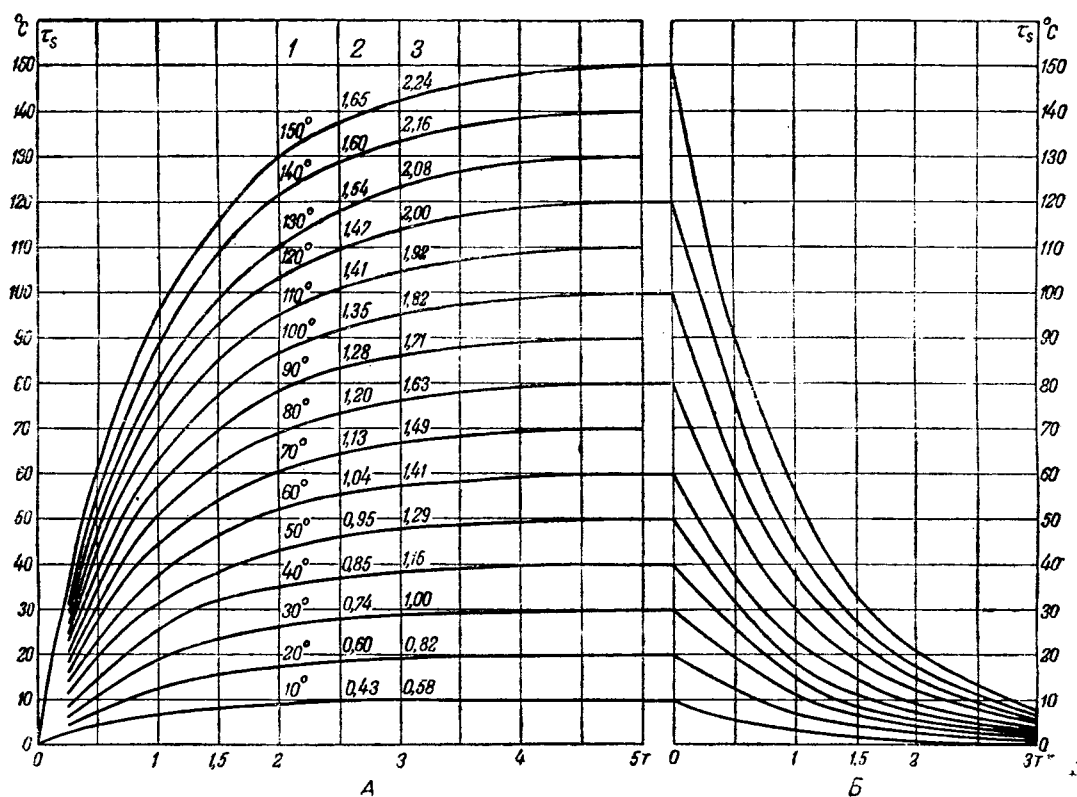


Рис. 1. Экспоненциальные кривые для определения нагрева и охлаждения проводов и кабелей.

А — время нагрева, выраженное в долях постоянной времени  $T$ ; Б — то же для процесса охлаждения. 1 — конечный перегрев в °C при нагрузках, показанных в столбцах 2 и 3; 2 — нагрузка в долях от номинальной для кабелей с бумажной изоляцией, проложенных в воздухе, допускающих длительный перегрев 55° сверх температуры среды (25°); 3 — то же для проводов с резиновой изоляцией, допускающих длительный перегрев 20°.

Это нетрудно проследить, например, по точкам, обозначенным на графике рис. 3 номерами: 14 и 13, 57 и 56, 69 и 68. При таком положении вещей очевидно, что проверка на нагрев вновь проектируемых установок должна базироваться на наибольших, вероятных для данного режима значениях коэффициента спроса.

Следовательно, на графике рис. 3 и 4 необходимо провести плавные кривые, огибающие подавляющее большинство точек наблюдения, и эти кривые  $K_c = f(N)$  можно рекомендовать для определения расчетных нагрузок соответствующей группы потребителей при новом проектировании. Однако, надо иметь в виду, что расчет по простейшему уравнению (1) даже при наличии обоснованных обследований данных  $K_c$  приведет к правильным результатам лишь в тех случаях, когда мы имеем дело не только с потребителями одинакового режима работы, но и одинаковой мощности. В противном случае всегда получим неправильные результаты. Это обстоятельство и ряд других соображений побудили нас предложить [Л. 2] метод определения расчетных нагрузок по формулам вида:

$$P_p = aP_{n1} + bP_{n-n1}, \quad (3)$$

здесь  $a, b$  — расчетные коэффициенты, постоянные для каждой группы потребителей характерного режима работы;

$P_{n1}$  — сумма мощностей небольшого, характерного для данного режима работы, числа ( $n_1$ ) наибольших потребителей в группе;

$P_{n-n1}$  — сумма мощностей остальных потребителей в группе.

Смысл и значение этих формул нетрудно уяснить, подставив значение  $P_p$  из (3) в (1).

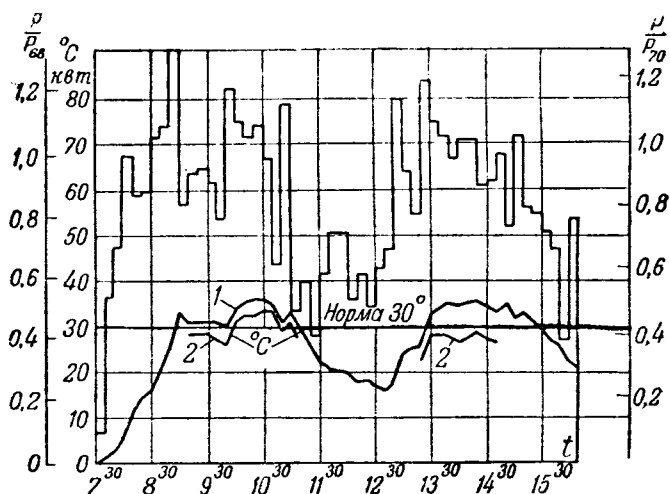


Рис. 2. Пример построения кривой перегрева проводов и определения коэффициента спроса  $K_c$  для фидера с заданным графиком нагрузки.



Тогда после несложных преобразований получаем:

для группы потребителей одинаковой мощности

$$K_c = b + \frac{n_1(a-b)}{n}; \quad (4)$$

для группы потребителей различной мощности

$$K_c = b + \frac{n_1(a-b)}{N}, \quad (5)$$

где  $n_1$  — действительное число наличных потребителей;

$N$  — эффективное число потребителей одинаковой мощности

$$N = \frac{P_y}{P_{n_1} : n_1}. \quad (6)$$

Из (4) или (5) имеем: при  $n = \infty$ ,  $K_c = b$ ; при  $n = 0$ ,  $K_c = \infty$ ; при  $n = n_1$ ,  $K_c = a$ . Следовательно, оба эти выражения являются уравнениями равнобочной гиперболы, асимптотами которой являются ось ординат и параллельная, отстоящая от оси абсцисс на расстоянии  $b$ .

Иначе говоря, рекомендация определять расчетные нагрузки помощью двухчленных формул базируется на предположении, что кривые  $K_c = f(N)$ , огибающие подавляющее большинство точек наблюдений на графиках рис. 3 и 4, могут быть достаточно точно выражены уравнениями равнобочных гипербол. Для этого надо лишь выбрать соответствующие значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $n_1$ . Это в достаточной мере очевидно из рис. 5, где показаны кривые, построенные по уравнению (5) лишь для двух значений коэффициентов  $a$  и  $b$  при  $n_1$  от 1 до 5.

Очевидно также, что коэффициент  $b$  равен наименьшему из возможных для потребителей данного режима работы коэффициентов спроса, наблюдаемому лишь при весьма большом числе потребителей. Коэффициент  $a$  равен наибольшему возможному коэффициенту спроса при данном режиме работы, при числе потребителей от  $n = 1$  до  $n = n_1$ . Число  $n_1$  характерно для каждого режима работы и определяет крутизну кривой  $K_c = f(N)$  при переходе от  $K_c = a$  до  $K_c = b$ : чем меньше  $n_1$ , тем сильнее наклон.

Пример. Предположим, что для проектирования рекомендовано определять  $K_c = f(N)$  по кривой 3, рис. 3.

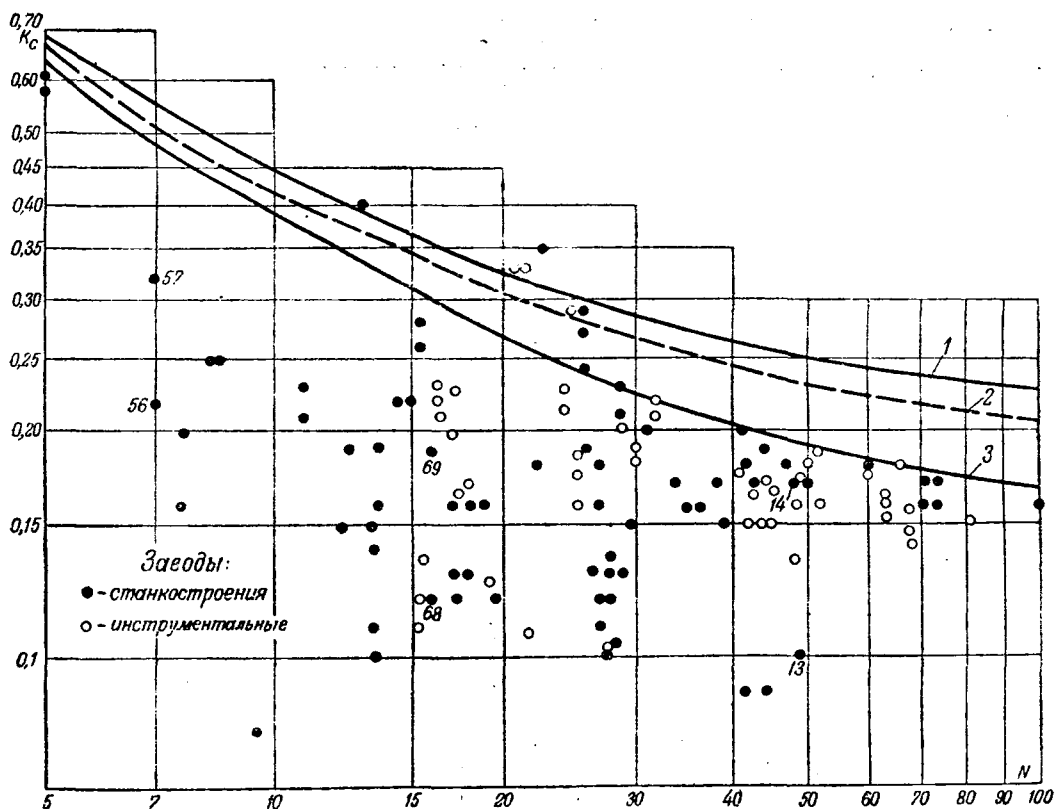


Рис. 3. Сводный график загрузки фидеров трех станкостроительных и трех инструментальных заводов.

1 — кривая  $K = f(N)$ , соответствующая расчетной формуле, ранее рекомендованной для станков холодной обработки металлов при крупносерийном и поточном производстве —  $P_p = 0,7 P_s + 0,2 P_{n-5} = 0,5 P_s + 0,2 P_n$ , откуда  $K_c = 0,2 + \frac{2,5}{N}$ ; 2 — то же, но при мелкосерийном и индивидуальном производстве —  $P_p = 0,68 P_s + 0,18 P_{n-5} = 0,5 P_s + 0,18 P_n$ , откуда  $K_c = 0,18 + \frac{2,5}{N}$ ; 3 — то же, то вновь рекомендуем в порядке уточнения, вытекающего из материала обследования —  $P_p = 0,65 P_s + 0,14 P_{n-5} = 0,51 P_s + 0,14 P_n$ , откуда  $K_c = 0,14 + \frac{2,53}{N}$ .

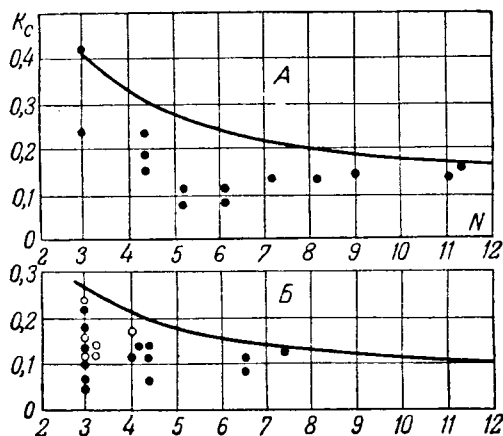


Рис. 4. Сводные графики загрузки краевых фидеров. А — литейных цехов; Б — механо-сборочных (сплошные кружки) и кузнечно-прессовых цехов; N — число потребителей, присоединенных к обследованным фидерам.

Предположим далее, что по этим данным нам нужно определить расчетную нагрузку двух фидеров по формуле (1):

<p>Фидер 1 N = 5 K<sub>c</sub> (по кривой) = 0,65 P<sub>v</sub> = 5 · 14,5 = 72,5 квт</p>	<p>Фидер 2 N = 10 K<sub>c</sub> (по кривой) = 0,38 P<sub>v</sub> = 5 · 14,5 = 72,5 квт + 5 · 3 = 15 квт</p>
<p>Всего 87,5 квт</p>	
<p>P<sub>p</sub> = 0,65 · 72,5 = 47 квт      P<sub>p</sub> = 0,38 · 87,5 = 33 квт.</p>	

Результат получился явно абсурдный.

Рассмотрим теперь, какой результат получится при определении расчетной нагрузки по двухчленной формуле для фидера 2 приведенного выше примера.

На рис. 3 указано, что кривая 3 построена по уравнению (5) при коэффициентах  $a = 0,65$ ;  $b = 0,14$ ;  $n_1 = 5$ . Следовательно, по (3) имеем:

$$P_p = 0,65 \cdot 72,5 + 0,14 \cdot 15 = 49,2 \text{ квт.}$$

Такой же точно результат мы получим из расчета по (1), если K<sub>c</sub> определим по кривой 3 при числе потребителей, равном не десяти, а

$$N = \frac{87,5}{72,5:5} \approx 6,1.$$

$$\text{Тогда } K_c = 0,56 \text{ и } P_p = 87,5 \cdot 0,56 \approx 49 \text{ квт.}$$

Результат показывает, что при таком расчете возможность внутренних противоречий исключена.

**Потребители с разными режимами работы.**

Выражение (3) может быть преобразовано:

$$P_{p_i} = aP_{n_i} + b(P_n - P_{n_i}) = (a-b)P_{n_i} + bP_n = cP_{n_i} + bP_n. \quad (7)$$

Расчет по (7) более удобен, так как при этом исключается одна операция вычитания. Но, кроме того, при этом двухчленная формула приобретает интерпретацию, позволяющую перейти к определению расчетных нагрузок фидеров, питающих группы потребителей с разным режимом работы. В этих случаях расчетная нагрузка определяется порознь по (7) для каждой группы со своими коэффициентами  $c$ ,  $b$ ,  $n_i$ . Как указывалось выше, коэффициент  $b$  равен коэффициенту спроса при  $N = \infty$ . Следовательно,

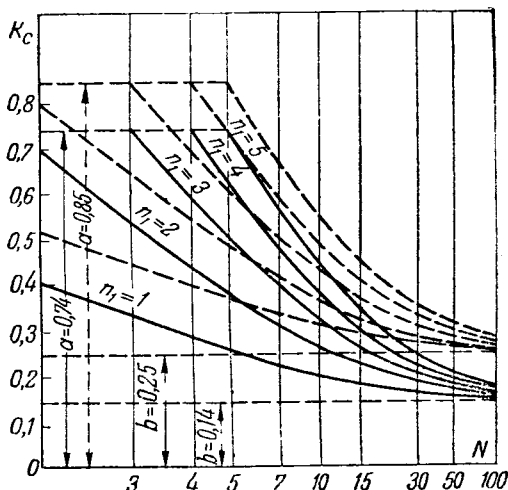


Рис. 5. Пример возможных значений  $K_c = f(N)$  по уравнению  $K_c = b + \frac{n_1(a-b)}{N}$ .

(рис. 6) величина  $bP_n$  соответствует сумме средних нагрузок всех потребителей в группе и  $cP_{n_i}$  соответствует тому пику нагрузки в рассматриваемой группе, который определяет нагрев элементов сети до допустимых пределов. Не вызывает сомнений, что совмещенная нагрузка  $P_c$  элемента сети, питающего не одну характерную по режиму работы группу потребителей, а несколько таких групп, должна быть равна сумме средних нагрузок всех потребителей всех групп  $\sum bP_n$  плюс известную величину пика нагрузки  $M$ , определяющего нагрев этого элемента сети в допустимых пределах:

$$P_c = \sum bP_n + M. \quad (8)$$

Вообще говоря, не исключена, разумеется, возможность того, что в некоторых случаях совместятся пики двух и более групп, т. е. что

$$M = (cP_{n_i})_1 + (cP_{n_i})_2 + \dots \quad (9)$$

Однако, пики нагрузок каждой группы потребителей, определяющие нагрев сети, кратковременны (рис. 2) и потому вероятность их совмещения мала. Совмещенный пик может быть лишь еще более кратковременным и лишь

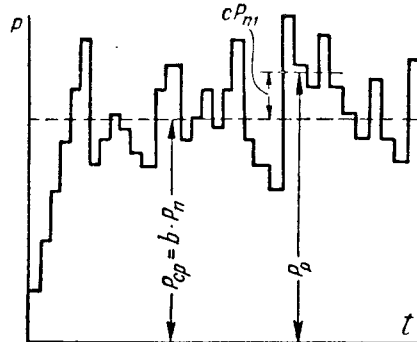


Рис. 6. Иллюстрация к расчету по формуле  $P_p = cP_{n_i} + bP_n$ .

незначительно сказаться на результате. Поэтому достаточно оснований принять величину  $M$  равной лишь одному, наибольшему во всех группах, пику  $M = (cP_{n_1})_{\text{макс}}$ , полагая, что при этом возможность больших погрешностей исключена.

Таким образом, расчетная (совмещенная) нагрузка нескольких групп потребителей определяется по следующей схеме:

$$\text{группа 1 } (P_p)_1 = (cP_{n_1})_1 + (bP_n)_1$$

$$\text{группа 2 } (P_p)_2 = (cP_{n_1})_2 + (bP_n)_2$$

$$\text{группа 3 } (P_p)_3 = (cP_{n_1})_3 + (bP_n)_3$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\text{группа X } (P_p)_x = (cP_{n_1})_x + (bP_n)_x$$

$$\text{Всего } P_c = (cP_{n_1})_{\text{макс}} + (bP_n)_{\text{всех групп}} \quad (10)$$

При этом, однако, необходимо иметь в виду следующее: коэффициент  $b$  в принятой методике анализа материалов обследований приводит к результатам, отображающим ожидаемые хотя и средние нагрузки, но наиболее загруженных из обследованных фидеров. Нет оснований ожидать, что нагрузка средних и больших трансформаторов должна равняться сумме этих наибольших из наблюдаемых средних величин разных групп потребителей. Кроме того, теплосмкость трансформаторов значительно превышает теплосмкость других элементов сети. Поэтому расчетная нагрузка трансформаторов может быть определена путем умножения найденной вышеуказанным способом величины  $P_c$  на коэффициент примерно 0,9. Само собой разумеется, что этот коэффициент подлежит уточнению по материалам обследований. Расчетные нагрузки радиальных кабельных фидеров, питающих такие трансформаторы и обладающих значительно меньшей теплосмкостью, следует приравнять  $P_c$  и не умножать на дополнительные понижающие коэффициенты. Иначе обстоит дело с фидерами, питающими высоковольтные узлы. Расчетные нагрузки таких фидеров следует определять путем умножения  $P_c$  на коэффициент 0,9 и менее—как в силу вышеуказанной специфики выявления коэффициента  $b$ , так и в силу несовпадения периодов интенсивной работы разных цехов и установок, присоединяемых к высоковольтным узлам. В этих случаях значение понижающего коэффициента можно уточнить не столько путем обследований действующих установок, сколько путем анализа ожидаемого совмещения технологических режимов установок, присоединяемых к проектируемому узлу.

Реактивные нагрузки могут быть подсчитаны тождественным способом, по данным расчетных значений коэффициента мощности каждой группы.

Такая схема расчета приемлема для всех без исключения случаев, начиная от самого

малого фидера низкого напряжения и кончая узлом сети высокого напряжения любой мощности. С помощью сводных коэффициентов можно определять расчетный ток для сетей низкого напряжения, а для подстанций и сетей высокого напряжения—активные, реактивные и результирующие нагрузки в  $\text{kвт}$  и  $\text{kва}$ . Это дает возможность впервые установить единый „сквозной“ метод расчета, надежно увязанный на всех ступенях электроснабжения и исключающий возможность скрытых противоречий.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  обычно относятся к мощности и с их помощью определяются нагрузки в активных  $\text{kвт}$ , затем по заданным (из обследований) значениям  $\cos \varphi$  для каждой группы определяются реактивные нагрузки и по той же схеме подсчитываются результирующие  $\text{kва}$ . Эти коэффициенты, однако, по заданным  $\cos \varphi$  и напряжению сети могут быть заранее пересчитаны таким образом, чтобы по новым коэффициентам  $a_i$  и  $b_i$  из (3) получалось непосредственно значение тока в амперах. Пользование этими коэффициентами спроса „по току“ облегчает расчет, но допустимо лишь в тех случаях (преимущественно в сетях низкого напряжения), где расчетные значения  $\cos \varphi$  разных групп потребителей разнятся между собой незначительно и арифметическое суммирование токов или  $\text{kва}$  по (10) не может приводить к существенному загромождению результата.

Этот метод расчета внедрен в проектную практику в системе Главэлектромонтаж. Он весьма прост. Пользование им обеспечивает единообразие результатов, легкость их проверки и, главное, возможность организованного систематического уточнения расчетных коэффициентов. Некоторые затруднения испытываются, правда, при предварительном проектировании схем электроснабжения объектов, по которым еще нет точных данных о числе и мощности потребителей. В этих случаях, не требующих особой точности, можно пренебрегать величиной  $cP_{n_1}$  и, пользуясь теми же коэффициентами  $b$ , определять нагрузки, как обычно, по (10). Имеются все основания полагать, что этот метод расчета войдет как единый в практику проектирования всех организаций.

**Краткие выводы из части обследований Центрэлектромонтажа за 1946—1948 гг.** Перечень рекомендованных в системе Главэлектромонтажа формул для определения расчетных нагрузок приведен в табл. 2. Коэффициенты для этих формул лишь частично базируются на достоверных данных материалов обследований. Другая часть коэффициентов базируется на данных, заимствованных из анализа проектных материалов и ранее применявшихся методов расчета. Само собой разумеется, что эта последняя группа коэффициентов достоверна лишь в меру обоснованности данных, которыми пользовались при их выводе. Они нуждаются в проверке и уточнении обследованиями. В табл. 2 коэффициенты формул под номерами

Таблица 2

№ формул	Наименование характерной группы потребителей		Расчетные формулы $P_p = c P_{n_1} + b P_n$ $I_p = c_1 P_{n_1} + b_1 P_n$	Расчетные	
				cos φ	tg φ
(1)	Индивидуальный привод металлорежущих станков	Цехи горячей обработки металлов при крупносерийном и поточном производстве	$P_p = 0,5 P_5 + 0,26 P_n$ $I_p = 1,17 P_5 + 0,61 P_n$	0,65	1,168
(2)		Цехи холодной обработки металлов при крупносерийном и поточном производстве	$P_p = 0,5 P_5 + 0,14 P_n$ $I_p = 1,5 P_5 + 0,42 P_n$	0,5	1,73
(3)		Цехи холодной обработки металлов при мелкосерийном и индивидуальном производстве	$P_p = 0,4 P_5 + 0,14 P_n$ $I_p = 1,2 P_5 + 0,42 P_n$	0,5	1,73
(4)	Вентиляторы (производственные и сантехнические), насосы, двигатель-генераторы трансмиссии		$P_p = 0,25 P_5 + 0,65 P_n$ $I_p = 0,48 P_5 + 1,24 P_n$	0,8	0,75
(5)	Механизмы непрерывного транспорта и механизмы обработки земли в литейных цехах, не заблокированные		$P_p = 0,4 P_5 + 0,4 P_n$ $I_p = 0,81 P_5 + 0,81 P_n$	0,75	0,88
(6)	То же, заблокированные		$P_p = 0,2 P_5 + 0,6 P_n$ $I_p = 0,4 P_5 + 1,22 P_n$	0,75	0,88
(7)	Краны по мощности, отнесенной к $I/B = 2\%$	Котельных, ремонтных, сборочных, механических и им подобных цехов	$P_p = 0,2 P_3 + 0,06 P_n$ $I_p = 0,6 P_3 + 0,18 P_n$	0,5	1,73
(8)		Литейных цехов	$P_p = 0,3 P_3 + 0,09 P_n$ $I_p = 0,9 P_3 + 0,27 P_n$	0,5	1,73
(9)		Мартеновских цехов	$P_p = 0,3 P_3 + 0,11 P_n$ $I_p = 0,9 P_3 + 0,33 P_n$	0,5	1,73
(10)		Прокатных цехов, стрипперных и уборочных	$P_p = 0,3 P_3 + 0,18 P_n$ $I_p = 0,9 P_3 + 0,54 P_n$	0,5	1,73

Коэффициенты для определения расчетного тока даны для трехфазной системы 380 в. Для других систем коэффициенты при  $I$  должны умножаться на 0,76 при 500 в и 1,73 при 220 в трехфазного тока. Для системы постоянного тока коэффициенты для определения  $I_p$  могут быть получены, умножая коэффициенты при  $P_p$  на  $\frac{1000}{U}$ , где  $U$  — напряжение сети.

Здесь  $P_n$  — номинальная мощность, *квт*, всех электроприемников данной группы (включая и наибольшие);  $P_5$  и  $P_3$  — номинальная мощность, *квт*, соответственно пяти или трех наибольших электроприемников данной группы;  $P_p$  — расчетная мощность, *квт*;  $I_p$  — расчетный ток, *а*.

(2), (3), (7), (8) получены нами на основании анализа материалов обследований по методике, описанной в данной статье<sup>2</sup>.

Наиболее существенными из этого анализа являются следующие выводы.

По группе индивидуального привода станков станкостроительных и инструментальных заводов:

1. Ранее применявшееся расчетное значение коэффициента мощности  $\cos \varphi = 0,65$  было существенно завышено; по наблюдениям расчетный  $\cos \varphi = 0,5$ ; равным образом были несколько завышены и расчетные коэффициенты, помощью которых определялась расчетная нагрузка в киловаттах (активных).

2. По вновь рекомендованным расчетным коэффициентам спроса и мощности расчетная нагрузка в *квт* (активных) в пределе ( $N = \infty$ ) понизится на 30%, а в среднем примерно на 15%. Расчетные токи и *ква* при малом числе потреби-

телей ( $N \leq 5$ ) возрастут приблизительно на 20%, а при большом числе потребителей снизятся приблизительно на 17%. Для средних значений числа потребителей, соответствующих примерно мощности одного трансформатора 560—1000 *ква*, расчетные токи или *ква* снизятся на величину порядка на 5 ÷ 10%. Эти сравнительные данные наглядно иллюстрируются рис. 7.

3. Средневзвешенное значение коэффициента использования максимума  $K_{и.м}$  нагрузки (или коэффициента заполнения графика), необходимого для определения расхода энергии, по фактически измеренным графикам составляет 0,7. Однако, учитывая, что рекомендованные коэффициенты спроса превышают средневзвешенные значения фактических замеров на 20 ÷ 40%, необходимо при проектировании определять расход энергии за наиболее загруженную смену путем умножения расчетного максимума нагрузки на  $K_{и.м} = 0,7$  ( $0,8 \div 0,6$ )  $\approx 0,5$ , а фактический среднегодовой расход будет еще ниже.

По группе крановых фидеров:

4. Расчеты для групп потребителей повторно-кратковременного режима, как и для всех дру-

<sup>2</sup> Обследования по кранам проводились бригадой под руководством автора, а по станкостроительным и инструментальным заводам — бригадой под руководством инж. И. И. Бородянского.

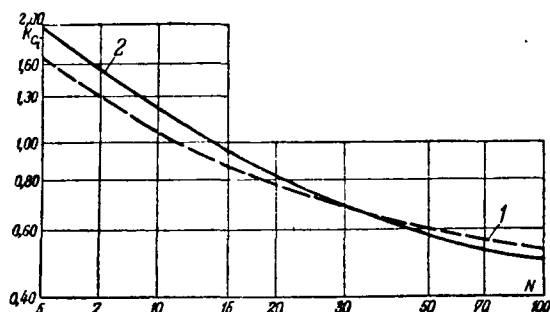


Рис. 7. Кривые для группы индивидуального привода станков в цехах с крупносерийным производством.

1 — ранее применявшаяся —  $P_p = 0,7 P_5 + 0,2 P_{n-5}$ ;  $I_p = 1,64$ ,  $P_5 + 0,47 P_{n-5}$ ;  $k_{ci} = 0,47 + \frac{5,85}{N}$  при 380 в и  $\cos \varphi = 0,65$ ; 2 — вновь рекомендуемая  $P_p = 0,65 P_5 + 0,14 P_{n-5}$ ;  $I_p = 1,97 P_5 + 0,425 P_{n-5}$ ;  $k_{ci} = 0,425 + \frac{7,925}{N}$  при 380 в  $\cos \varphi = 0,5$ .

гих потребителей, могут проводиться по двухчленным формулам. Результаты получаются более надежными и достоверными, чем из расчетов по ранее применявшимся методам, базирующимся на теории вероятностей. Обследования с целью выявления коэффициентов также резко упрощаются. Ранее применявшиеся расчеты приводили к существенному завышению результатов.

5.  $K_{и.м}$  по фактическим замерам равен 0,75, а при проектировании по вышеуказанным причинам этот коэффициент и для данной группы потребителей можно принять равным около 0,5.

Помимо вышеуказанных напрашиваются следующие общие замечания.

Встречающиеся утверждения [Л. 3], что расчетные коэффициенты огульно завышены, являются ошибочными, поскольку речь идет о расчетной нагрузке, по которой сеть проверяется на

нагрев. Для столь распространенной группы потребителей, как привод металлообрабатывающих станков в цехах крупносерийного производства, они в некоторых случаях требуют корректировки, наоборот, в сторону повышения (рис. 7).

Представление о наличии больших потерь энергии в сетях низкого напряжения, по крайней мере в отношении цехов, подобных обследованному, ошибочно. В силу весьма малого значения коэффициента использования расчетного максимума нагрузки потери, изменяющиеся пропорционально квадрату этого коэффициента, не столь велики, чтобы в настоящее время всерьез обсуждать вопрос о целесообразности расчета сетей промышленных предприятий по экономической плотности тока.

Польза реальных обследований по единой методике очевидна. Они способствуют выяснению истинной картины явлений, уточнению расчетов, снижению капитальных затрат и повышению надежности. Такие обследования и теоретическую разработку вопросов расчета должны проводить также научно-исследовательские и проектные институты заинтересованных министерств и энергообъединений и соответствующие кафедры высших учебных заведений.

#### Литература

1. А. А. Глазунов. Электрические станции и подстанции. Госэнергоиздат, 1944.
2. Решение технического совещания Электропрома по докладам инж. Д. С. Лившица. Бюллетень Электропрома, № 7, 1937.
3. С. М. Лившиц. Методы расчета электрических нагрузок промышленных потребителей. Промышленная энергетика, № 2, 1948.
4. С. С. Городецкий, Р. В. Кулакова. Исследование нагрева проводов с резиновой изоляцией. Бюллетень ВЭИ, № 4, 1941.
5. Bosone. L'Elettrotecnica, т. 14, № 5, 1927.

[22. 7. 1949]

### В ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

Постановлением Президиума АН СССР лаборатории электромеханики Энергетического института имени Г. М. Кржижановского присвоено имя академика К. И. Шенфера.



## А. С. Попов и адмирал С. О. Макаров

Г. А. БОГУСЛАВСКИЙ

Москва

В истории изобретения радио великим русским ученым А. С. Поповым имеется малоизвестная страница, освещающая исключительное внимание к этому событию Степана Осиповича Макарова — адмирала, выдающегося русского флотоводца и ученого, благороднейшего человека и патриота.

Вся жизнь, все творческие поиски адмирала Макарова были направлены к одной высокой цели — всемерно повысить боеспособность русского флота, сделать русский флот передовым флотом, превратить его в подлинную творческую лабораторию передового военно-морского опыта. Деятельность Макарова развертывалась в эпоху строительства броненосного флота и широкого прогресса военноморского дела. По вопросу о судьбах развития русского флота развертывалась сложная идеологическая борьба между прогрессивным и реакционным крылом русских моряков. В этой борьбе адмирал Макаров встает, как центральная фигура прогрессивного течения, как человек, замечательно чуткий ко всему новому, передовому, что проявилось и в отношении Макарова к изобретению А. С. Попова.

Знакомство С. О. Макарова с А. С. Поповым и его работами можно предположительно отнести к 1896 г. В период первых работ Попова адмирал Макаров жил в Петербурге, исполняя должность главного инспектора морской артиллерии. В 1895 г., когда Попов впервые демонстрировал свое изобретение, Макаров плавал на эскадре в Тихом океане. В начале 1896 г. Макаров возвратился с Дальнего Востока, был назначен флагманом Балтийского флота и поселился в Кронштадте, в здании Морского инженерного училища, преподавателем которого состоял Попов. Свое сообщение «О возможности телеграфирования без проводов», сделанное в марте 1897 г. в Кронштадтском морском собрании, А. С. Попов заключил словами: «Сравнительные результаты и... история наших

опытов... уже теперь позволяют мечтать о дальнейшем развитии этого дела и о практическом применении его в военно-морском и военном деле...» В этих словах, которыми великий русский изобретатель подчеркнул значение и перспективы применения своего изобретения для военных целей, открывается почва, на которой происходило сближение Макарова и Попова.

Летом 1897 г. А. С. Попов руководил опытами радиотелеграфирования на судах учебно-минного отряда, стоявших на Транзундском рейде. В летней кампании 1898 г. изобретатель провел целую серию опытов радиосвязи между крейсером «Африка» и транспортным судном «Европа», достигнув дальности передачи 7—8 верст. Там же, где происходили эти опыты, на Транзундском рейде, находилась практическая эскадра Балтийского флота, которой командовал С. О. Макаров.

Все опыты 1898 г. Попов подчинил задаче добиться устранения задерживающего распространение радиоволн влияния судовых мачт, труб и прочих металлических деталей оснащения корабля. Кроме того, были проведены сравнительные испытания различных видов разрядников.

В период с 21 августа по 3 сентября 1898 г. было передано по радио 136 служебных телеграмм, не считая ежедневного обмена депешами для практики команды. Во время шторма 3 сентября радиотелеграф Попова, оставшийся единственным средством связи между судами эскадры, действовал совершенно безотказно.

«В настоящее время,— заканчивает А. С. Попов свой отчет об опытах на эскадре в летнюю кампанию 1898 г.<sup>1</sup>— вопрос о телеграфировании между судами эскадры может считаться решенным. В ближайшем будущем желательно снабдить несколько судов практической эскадры приборами и людьми, обученными телеграфному

<sup>1</sup> А. С. Попов, Сбюжник документов, № 55, Л., 1945.

делу, чтобы сделать оценку полезности и применимости новых приборов в ежедневном обиходе и в различных случайностях морской службы».

Среди русских моряков, сразу оценивших изобретение Попова и его огромное значение для флота, первое место принадлежит адмиралу С. О. Макарову.

13 ноября 1899 г. броненосец береговой обороны «Генерал-адмирал Апраксин», переходя из Кронштадта в Либаву, сел на подводный камень у южной оконечности острова Гогланд. Со спасением этого корабля связано первое крупное испытание изобретения А. С. Попова. О роли адмирала С. О. Макарова в решении использовать радио при спасении «Апраксина», говорит в своих воспоминаниях А. А. Реммерт, один из сотрудников первой радиостанции в Кутсало (Котка): «До несчастья с броненосцем береговой обороны «Генерал-адмирал Апраксин», выскочившим в 1899 г. на камни у острова Гогланд, морское ведомство относилось совершенно пассивно к изобретению А. С. Попова и не учитывало, какое значение оно должно иметь хотя бы для нашего флота... Насколько мне помнится, это покойный адмирал Макаров указал высшему морскому начальству на важность изобретения А. С. Попова, и особенно на использование этого изобретения для спасения «Апраксина». Лишь после этого А. С. Попову отпустили средства, и то только на этот случай»<sup>2</sup>.

Указание А. А. Реммерта подтверждается не только общим отношением Макарова к Попову и его изобретению, не только неустанной деятельностью Макарова как ревностного пропагандиста радиотелеграфа и его применения на флоте, но и той ролью, которую он играл в спасении «Апраксина», хотя непосредственно не был причастен к этой операции. Нижеприводимое письмо А. С. Попова к Макарову хорошо освещает их взаимоотношения и подтверждает показания Реммерта.

К спасательной экспедиции был прикомандирован построенный С. О. Макаровым ледокол «Ермак». 15 января 1900 г. «Ермак» вышел из Ревеля к Гогланду, имея на борту оборудование радиостанции и команду рабочих и телеграфистов. Во главе всех работ по устройству радиостанции на Гогланде стояли: капитан 2-го ранга Залевский и помощник Попова Рыбкин. На высоком утесе Гогланда был поставлен домик радиостанции и мачта. Все оборудование было окончено 24 января.

К этому времени сам А. С. Попов, руководивший оборудованием станции в Кутсало (возле Котки, на финляндском берегу), полностью окончил работы, и с 25 января была открыта двухсторонняя связь между Коткой и Гогландом. Накануне, вблизи острова Лавенсаари оторвало льдину с 50 рыбаками и унесло в море. Утром 24 января 1900 г. начальник Главного морского штаба адмирал Ф. К. Авелан послал командиру «Ермака» М. П. Васильеву телеграмму: «Около Лавенсаари оторвало льдину с пятьюдесятью рыбаками. Окажите немедленно содействие спасению этих людей. Авелан.» Эта-то телеграмма, поступившая из Петербурга в Котку, была 25 января передана по радио с Кутсало на Гогланд, на расстоянии 43 верст. Она явилась первой радиogramмой на дальнее расстояние.

Помощь рыбакам была своевременно оказана «Ермаком». Попов немедленно сообщил об этом в Кронштадт Макарову. Макаров ответил Попову замечательной телеграммой, в которой ясно видна гордость адмирала-патриота за великую победу, одержанную отечественной наукой, для торжества которой он сам сделал так много: «От имени всех Кронштадтских моряков,— писал Макаров Попову,— сердечно приветствую вас с блестящим успехом Вашего изобретения. Открытие беспроволочного телеграфного сообщения от Котки до Гогланда на расстоянии 43 верст есть крупнейшая научная победа. Макаров»<sup>3</sup>.

В письме С. О. Макарову 21 апреля 1900 г. А. С. Попов писал об этом случае применения своего изобретения для спасения людей: «Такой случай был большой наградой за труды и впечатление этих дней, вероятно, никогда не забудется»<sup>4</sup>.

С. О. Макаров был первым из моряков, не только полностью оценившим научное и военное значение изобретения Попова, но и первым во весь голос заявившим о

приоритете Попова в изобретении радио и горячо и открыто вставшим на защиту его приоритета. Эту борьбу Макаров вел честно и смело до последнего дня своей жизни.

В своей замечательной книге «Ермак во льдах», изданной в 1901 г., Макаров твердо защищает приоритет Попова и разоблачает неэтичные действия, которые предпринимались Маркони и дельцами из поддерживающих его крупных фирм.

«Изобретение нашего кронштадтского ученого, профессора Попова,— говорит Макаров,— получило во время работ у «Апраксина» практическое применение. Профессор Попов первый открыл способ телеграфирования без проводов. Маркони выступил после Попова, но в Англии образовалось общество с большим капиталом, которое не щадило средств на исследования и рекламу, тогда как А. С. Попов должен был ограничиваться скромными средствами, которые в его распоряжение из любезности предоставлял Минный класс»<sup>5</sup>.

Особенно интересным периодом, с точки зрения участия Макарова в работах Попова и борьбы адмирала за признание и широкое внедрение изобретения великого русского ученого, являются 1900—1903 гг., когда С. О. Макаров был Главным командиром Кронштадтского порта. Направивший всю свою деятельность на осуществление задачи всемерного повышения боеспособности русского флота, выдвинувший в предвидении приближающихся военных событий известный девиз «*Помни войну!*»,— Макаров постоянно обращал внимание на необходимость немедленного и широкого развития радиотелеграфного дела на флоте. Во вверенном ему Кронштадтском порту адмирал работал в этом направлении постоянно, стараясь создать для Попова возможно лучшие условия.

В 1900 г. Попов готовил разные радиотелеграфные установки и организовал при Кронштадтском порте мастерскую для ремонта и изготовления радиоприборов. Для учебных целей были устроены радиостанции на морском телеграфе, в Морском инженерном училище и в Минном офицерском классе.

Впоследствии функции этих станций уже не ограничивались чисто учебными целями. Так, в марте 1902 г. «Электротехнический вестник» сообщил, что «В рубке военно-морского телеграфа при Кронштадтском порте для более удобного и скорого сообщения с судами, стоящими на рейдах и в гаванях, нынешней весной будут установлены приборы беспроволочного телеграфа по системе профессора А. С. Попова и семафор вице-адмирала С. О. Макарова»<sup>6</sup>.

В августе 1902 г. Морское министерство разрешило установку приборов Попова на эскадренном броненосце «Ослябя», крейсерах I ранга «Диана», «Паллада» и «Аврора» и на крейсере II ранга «Новик».

Макаров не прекращал своей борьбы за признание приоритета Попова. Прямота адмирала в этом вопросе не может не вызвать восхищения. В июле 1902 г. на Кронштадтском рейде бросил якорь итальянский крейсер «Карло-Альберто». Газета «Новости и биржевая газета» 2 июля сообщила: «Главный командир Кронштадтского порта и военный губернатор вице-адмирал С. О. Макаров имел сегодня продолжительный разговор с итальянским изобретателем беспроволочного телеграфа Маркони... С. О. Макаров довел до сведения Маркони, что беспроволочный телеграф впервые был изобретен русским электротехником г. Поповым и применялся при снятии с камня броненосца «Генерал-адмирал Апраксин» между берегом и броненосцем»<sup>7</sup>.

Об этом же под свежим впечатлением Макаров говорит в своем докладе управляющему Морским министерством № 10791 от 18 июля 1902 г., ставя вопрос уже шире:

«В бытность на Кронштадтском рейде итальянского крейсера «Карло-Альберто»,— писал Макаров,— я познакомился с г. Маркони, который считается в Европе изобретателем беспроволочного телеграфа. Изобретатель беспроволочного телеграфа есть, в сущности, А. С. Попов, бывший преподаватель Минного офицерского класса, ибо задолго до того, как заговорили об изобретении Маркони, он в Минном классе на заседаниях показывал опыты беспроволочного телеграфирования. Тот факт, что он изобретатель, признан... Первые опыты Маркони велись с ин-

<sup>2</sup> Электричество, стр. 219, № 4, 1925.

<sup>3</sup> Газета «Котлин», № 21, 27 января 1900 г.

<sup>4</sup> С. О. Макаров, «Ермак» во льдах, стр. 330—331, СПб, 1901.

<sup>5</sup> С. О. Макаров, «Ермак» во льдах, стр. 329, СПб, 1901.

<sup>6</sup> Электротехнический вестник, стр. 166, № 6, 1902.

<sup>7</sup> Газета «Новости и биржевая газета», № 179, 2 июля 1902.

струментами чрезвычайно несовершенными, я сам видел в Дувре (в 1897 г.—Г. Б.) подвешенные огромные металлические корзины для принятия депеш, тогда как А. С. Попов сразу принимает на единичную проволоку. Несмотря на это, Маркони ушел теперь далеко вперед. Он образовал компанию, которая взяла дело в свои руки и предоставила ему широкий простор для усовершенствования, тогда как Попов мог заниматься делом в весьма скромной обстановке... Маркони ничем, кроме беспроволочного телеграфа, не занимался, в то время как Попов на занятия беспроволочным телеграфом может уделить лишь свои вечера и не имеет необходимой для занятий лаборатории»<sup>8</sup>.

Далее Макаров, зная чрезвычайную консервативность и неповоротливость царского Морского министерства, предлагает создать для работ Попова хотя бы самые скромные условия: освобождение А. С. Попова от всех работ, кроме усовершенствования радио, «с предоставлением ему в широких размерах свободы в производстве опытов»; предоставление Попову лаборатории для опытов при Опытном бассейне в Петербурге и усиление средств мастерской в Кронштадте, приготавливающей аппаратуру для радиотелеграфа.

На эту докладную записку Макарова морской министр адмирал Тыртов реагировал бюрократической резолюцией, в которой он, не желая иметь вид человека, отстающего от событий, писал, что «... вполне сознает важность обладать возможностью телеграфировать без проводов на судах и фортах», но тут же заявил, что «... согласие Попова на преподавание в Электротехническом институте делает невозможным его занятия исключительно усовершенствованием радио-телеграфа и добавлял, что вообще «дело это прививается очень туго и даже при участии самого изобретателя ограничивается незначительными расстояниями, на которые удастся передавать телеграммы».

Голос Макарова потонул в коридорах и кабинетах Главного адмиралтейства. Но неутомимого адмирала это не могло охладить. Глубокое сознание своей правоты поддерживало его в борьбе, которую он не собирался прекращать.

В апреле 1903 г. Главный морской штаб вспомнил о радиотелеграфировании на флоте и запросил Макарова о состоянии этого дела в Кронштадтском порту. Сообщая в ответной записке об оборудовании для занятий беспроволочным телеграфированием миногого крейсера «Посадник» и об организации обучения на нем, о подготовке к началу обучения радиотелеграфному делу в школе рулевых и сигнальщиков, предлагая организовать радиосвязь между Кронштадтом и Петербургом непосредственно, а не через Ораниенбаум,— Макаров уже от себя напоминает о своем прошлогоднем докладе Морскому министерству, оставшемся бесплодным, и вновь повторяет: «... надо сознаться, что мы, инициаторы этого дела, теперь сильно в нем отстали... Надо широко организовать у себя разработку этого вопроса, приставив к нему наиболее талантливых людей»<sup>9</sup>.

Повидимому, эта приписка вывела начальника Главного морского штаба адмирала Рожественского, к тому же непримиримого недоброжелателя Макарова, из душевного равновесия и вызвала с его стороны совершенно небывавшую резкую резолюцию, в которой, как в зеркале, отразилась вся инертность Морского министерства, его равнодушное стремление избежать каких бы то ни было широких мероприятий.

Расхождение Макарова с Морским министерством по вопросам развития и усовершенствования радиотелеграфного дела на флоте не было частным моментом. Оно явилось одним из резких вопросов той принципиальной борьбы, которую вел Макаров, стремясь в ожидании надвигающихся военных столкновений к всемерному повышению боеспособности русского флота. Когда в январе 1904 г. началась русско-японская война, Макаров вскоре был назначен командующим флотом на Дальнем Востоке и через 3 дня выехал в Порт-Артур. Хорошо осведомленный о печальном состоянии русской эскадры, в особенности после трагического боя 26 января, знающий ее

нужды, Макаров еще до отъезда из Петербурга и по дороге в Порт-Артур выдвинул ряд конкретных требований, немедленное выполнение которых он считал условием боеспособности эскадры. И среди этих требований огромное внимание адмирала привлекало вопрос о состоянии радиотелеграфирования на судах флота.

Макаров обратился к Морскому техническому комитету с письмом, в котором требует немедленной установки радиостанций на всех миноносцах Тихоокеанского флота. Морской технический комитет сообщил морскому министру в докладе № 518 от 2 марта, что «снабжение миноносцев беспроволочным телеграфом совершенно осуществимо. Ввиду незначительного расстояния, на котором, по мнению вице-адмирала Макарова, должно поддерживаться сообщение, станции миноносцев «могут быть снаряжены малыми спиралями. Таких станций понадобится около 50... Так как миноносцы действуют группами, то, по мнению Комитета, возможно было бы ограничиться на первое время установкой одной станции на каждую пару миноносцев».

Через 9 дней после первого письма, 22 февраля 1904 г., также еще с дороги, из Мукдена, Макаров вновь поднимает тот же вопрос, говоря в телеграмме на имя морского министра, что «Для успеха некоторых военных операций необходимо иметь беспроволочный телеграф, действующий, по крайней мере, на 300 миль. Не полагаем ли полезным откомандировать профессора Попова с одним из флотских офицеров, чтобы... переговорить с другими изобретателями и приобрести необходимые приборы. О результатах переговоров прошу сообщить. Макаров».

Морской министр поручил снести с германской фирмой Сименс, но та ответила, что практическая дальность передач, обеспечиваемая ее приборами, не превышает 108 миль: На этом основании Макаров было сообщено, что «техника беспроволочного телеграфирования стоит приблизительно на одинаковой высоте во всех странах и передача на 300 миль судовыми установками еще не достигнута».

Ни в первых уроках войны, ни в настойчивых требованиях Макарова руководство царского флота не видело причины для форсирования опытов и усовершенствования радио.

27 февраля 1904 г., сообщая о первом выходе эскадры из Порт-Артура в море, Макаров еще раз подчеркивает, что «неприятель, обладая далеким беспроволочным телеграфом, чересчур легко концентрирует свои силы» и далее «...Беспроволочное телеграфирование на «Новике» (крейсер 2 ранга—Г. Б.) во время хода совсем не действует, и затем я не мог подать депеши на крейсер «Диану», державшийся в 5 милях».

Это последний из документов Макарова, связанных с радиотелеграфом. Глубокая скорбь адмирала при виде плачевного состояния важнейших элементов боевой силы флота— радиосвязи, об усовершенствовании которой Макаров неустанно старался на протяжении ряда предвоенных лет, сквозит в этом рапорте<sup>10</sup>.

Через пять недель, 31 марта 1904 г. (по старому стилю), адмирал Макаров погиб в Порт-Артуре на броненосце «Петропавловск». Последующие события русско-японской войны, гибель 2-й Тихоокеанской эскадры в Цусимском проливе, вскрыли всю слабость организации и использования радиосвязи в царском флоте, руководители которого не смогли по заслугам оценить значение великого изобретения Попова.

В истории жизни А. С. Попова, в истории радио, в истории русского флота борьба адмирала С. О. Макарова за широкое признание радиотелеграфа, за всемерное разветвление этого дела на флоте—факт огромного значения. Первым из русских моряков Макаров оценил великое изобретение Попова и начал борьбу за него. Это делает еще более дорогой для нас память о великом русском моряке-новаторе, неразрывно связанную с А. С. Поповым и его изобретением.

<sup>10</sup> Приходится выразить сожаление, что в выпущенном Воениздатом сборнике «Новаторы русского флота», рассчитанном на широкий круг советской молодежи, статья Р. Н. Морлягова о С. О. Макарове не содержит вовсе сведений об этой славной стороне деятельности адмирала Макарова. Упоминание в другой статье (стр. 117) об эпизоде обращения Макарова к Рожественскому не может восполнить указанного недостатка статьи, посвященной адмиралу С. О. Макарову. (Ред.)

<sup>8</sup> А. И. Берг. А. С. Попов и изобретение радио, стр. 37—38, 1935.

<sup>9</sup> А. С. Попов. Сборник документов, № 132, Л., 1945.







ний) и тока включения сопротивлений, установлены шкала токов включения в процентах от номинального тока сопротивлений, шкала относительных продолжительностей включения в процентах (для пусковых ступеней сопротивлений) и шкала продолжительностей включения при кратковременном режиме (для специальных пусковых ступеней сопротивлений).

Допустимое превышение температуры материала сопротивления над температурой окружающей среды ( $+35^{\circ}\text{C}$ ) согласно стандарту не должно превышать  $350^{\circ}\text{C}$  для жаростойких сплавов (по ГОСТ 2238-43 и 2615-44) и чугуна и не более  $300^{\circ}\text{C}$  для константана и аналогичных ему сплавов. Отклонение от расчетных значений величины сопротивления, введенного в цепь на данном положении (при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$ ), не должно превышать  $\pm 10\%$  для жаростойких сплавов и константана и  $\pm 15\%$  для чугуна. Изоляция сопротивления должна выдерживать в течение 1 мин. испытательное напряжение в 2000 в переменного тока частоты 50 гц.

**ГОСТ 4871-49. Реостаты пусковые и пускорегулировочные для электродвигателей постоянного тока промышленных установок.** Утвержден 29 мая 1949 г. со сроком введения с 1 января 1950 г. Стандарт распространяется на металлические реостаты постоянного тока с воздушным охлаждением и плоским коммутирующим устройством, предназначенные либо только для пуска, либо для пуска и регулирования скорости вращения электродвигателей постоянного тока мощностью до 100 квт промышленных установок, питаемых от сети напряжением не выше 500 в. Реостаты подразделяются стандартом по назначению, по электрической защите (без электрической защиты, с нулевой защитой, с минимальной защитой, с максимальной защитой или с максимально-минимальной защитой), по условиям пуска (для легкого или нормального пуска) и по роду привода (с непосредственным или дистанционным ручным приводом). Стандартом установлены шкала номинальных напряжений, шкала токов включения (в процентах от номинального тока) на первом положении реостата, число пусковых ступеней, величины напряжения (или соответственно тока), при которых должно происходить срабатывание защиты, допустимое превышение температуры частей реостата, электрическая прочность изоляции и ряд других требований.

**ГОСТ 4888-49. Реостаты возбуждения.** Утвержден 30 мая 1949 г. со сроком введения с 1 января 1950 г. Стандарт распространяется на металлические реостаты (регуляторы) возбуждения, применяемые в промышленных установках и на электростанциях, предназначенные для регулирования напряжения генераторов постоянного и переменного тока и для регулирования скорости вращения электродвигателей постоянного тока при напряжении в цепи возбуждения не выше 500 в. Стандартом установлены пределы и точность регулирования напряжения и скорости вращения, допустимые превышения температуры частей реостата, электрическая прочность и ряд других требований.

**ГОСТ 5018-49. Реле промежуточные защитные электромагнитные. ГОСТ 5019-49. Реле сигнальные электромагнитные.** Утверждены 25 июня 1949 г. со сроком введения с 1 января 1950 г.

Стандарт 5018-49 распространяется на защитные электромагнитные промежуточные реле тока и напряжения для стационарных установок, приводимые в действие от цепей управления постоянного или переменного тока, воздействующие на электрические цепи защиты, измерения, управления, сигнализации или вторичные цепи измерительных трансформаторов. Стандартом предусмотрены быстродействующие и небыстродействующие реле, а также реле с выдержкой времени. Время срабатывания быстродействующих реле должно быть не более 0,02 сек., а небыстродействующих реле — не более 0,08 сек. В зависимости от мощности контактной системы реле должны выпускаться в двух исполнениях (с контактами нормальной или повышенной мощности). В стандарте предусмотрено также подразделение реле по исполнению контактной системы (с нормально открытыми, нормально закрытыми, переключающими или комбинированными контактами), по наличию указателя срабатывания, по способу возврата подвижной системы в исходное положение (реле с самовозвратом или с принудительным возвратом), по режиму работы (для продолжительного или кратковремен-

ного режима) и по роду присоединения проводов (присоединение спереди, присоединение сзади и т. д.).

Стандарт 5019-49 распространяется на электромагнитные сигнальные реле тока и напряжения для стационарных установок, приводимые в действие от цепей управления постоянного или переменного тока, предназначенные для указания действия релейной защиты. Стандартом предусмотрены реле с контактной системой, исполнительный механизм которых имеет указатель срабатывания, а также один или несколько контактов, и реле без контактной системы (только с указателем срабатывания). Указатель срабатывания должен в соответствии со стандартом выпадать при прохождении через реле в течение 0,05 сек. тока, превышающего на 20% ток трогания. Кроме того, сигнальные реле подразделены по роду присоединения проводов и по числу встроенных элементов в корпусе (одно или несколько реле в корпусе).

В стандартах 5018-49 и 5019-49 установлены номинальные напряжения, на которые должны выполняться промежуточные реле напряжения (12, 24, 48, 110 и 220 в постоянного тока и 100, 127 и 220 в переменного тока частоты 50 гц), допустимое превышение температуры токоведущих частей реле, электрическая прочность изоляции, значения напряжения и соответственно тока, при которых гарантируется надежное срабатывание реле, и ряд других требований.

Гарантийный срок безотказной работы промежуточных и сигнальных реле должен быть согласно стандарту не менее 3 лет со дня выпуска реле с завода, при условии хранения, транспортирования, монтажа и эксплуатации их в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

**ГОСТ 4191-48. Зажимы контактные выводов аппаратов и трансформаторов для открытых распределительных устройств на напряжение 35—220 кв.** Утвержден 26 мая 1948 г. со сроком введения с 1 октября 1948 г. Стандартом установлены основные размеры трех типов контактных зажимов выводов аппаратов и трансформаторов (силовых и измерительных) для открытых распределительных устройств на напряжение 35—220 кв. Зажимы могут выполняться либо в виде отдельной детали, соединяемой с токоведущими элементами аппаратов и трансформаторов, либо составлять с ними одно целое.

**ГОСТ 4260-48 по 4264-48. Арматура для открытых распределительных устройств на напряжение 35—220 кв. Зажимы контактные.** Утверждены 5 июля 1948 г. со сроком введения с 1 января 1949 г.

Стандартами установлены классификация, условные обозначения, основные размеры и технические условия на болтовые и прессуемые контактные зажимы для открытых распределительных устройств на напряжение 35—220 кв.

Стандарты распространяются на зажимы следующих трех групп:

группа А — зажимы аппаратные для присоединения проводов к аппаратам или трансформаторам;

группа От — зажимы ответительные для присоединения проводов к ошиновке открытых распределительных устройств и

группа П — зажимы петлевые для соединения проводов в петлях, не подверженных тяжению, — в шлейфах.

**ГОСТ 2366-49. Изоляторы для воздушных линий связи (взамен ГОСТ 2366-43).** Утвержден 21 января 1949 г. со сроком введения с 1 мая 1949 г. Стандарт распространяется на изготавливаемые из керамических масс изоляторы низкого напряжения типов ТФ-2, ТФ-3, ТФ-4 и ТФ-5, предназначенные для электрической изоляции проводов воздушных линий связи. Стандартом установлены формы и размеры изоляторов, допускаемые отклонения по размерам и требования к внешнему виду. Электрическое сопротивление изоляторов согласно стандарту должно быть не менее 10 000—50 000 мгом (в зависимости от типа изолятора), а механическая прочность не менее 200—800 кг. Изоляторы должны выдерживать нагрев в воздушной ванне до  $70^{\circ}\text{C}$  и последующее обливание водой температурой не выше  $+20^{\circ}\text{C}$ .

**ГОСТ 4531-48. Ролики электроизоляционные.** Утвержден 6 декабря 1948 г. со сроком введения с 1 марта 1949 г. Стандарт распространяется на электроизоляционные ролики для крепления изолированных проводов и шнуров, при напряжении до 500 в, изготавливаемые из керамических материалов на основе местных гончарных и тугоплавких глин, асбоцемента, керапласта, пластмасс и

других негорючих изоляционных материалов Стандартом предусмотрен I тип роликов для крепления шнура (РШ-4) и 6 типов для крепления проводов (РП-2,5; РП-6; РП-16; РП-35; РП-70 и РП-120). Стандартом установлена форма и основные размеры роликов, их механическая, электрическая и термическая прочность, сопротивление изоляции и водопоглощаемость.

**ГОСТ 2825-49. Сопротивления электрические постоянные непроволочные. Шкала номинальных значений** (взамен ГОСТ 2825-45). Утвержден 30 мая 1949 г. со сроком введения с 1 сентября 1949 г. Стандарт устанавливает шкалу электрических постоянных непроволочных сопротивлений в пределах от 10 ом до 10 мгом с допускаемыми отклонениями от номинала  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$  и более и должен служить основанием для выбора номинальных значений при проектировании и изготовлении постоянных непроволочных сопротивлений.

**ГОСТ 2519-49. Конденсаторы электрические. Шкала номинальных емкостей** (взамен ГОСТ 2519-44). Утвержден 30 мая 1949 г. со сроком введения с 1 сентября 1949 г. Стандарт устанавливает шкалу емкостей электрических конденсаторов постоянной емкости в пределах от 1 мкмкф до 2 000 мкф с допускаемыми отклонениями от номинала  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 20\%$  и более с твердым и жидким диэлектриком и должен служить основанием для выбора номинальных значений емкости при проектировании и изготовлении конденсаторов.

**ГОСТ 4838-49 по 4860-49. Сальники для электрических кабелей и проводов** (взамен ОСТ НКТП 5829/168 по 5842/181). Утверждены 27 мая 1949 г. со сроком введения с 1 октября 1949 г.

Стандарты устанавливают типы, конструкцию, размеры и технические условия на сальники (и отдельные их элементы) для герметизации мест вводов электрических кабелей и проводов при разности давлений сред до и после вводов, не превышающей 1,5 кг/см<sup>2</sup>.

**ГОСТ 2520-48. Цоколи с резьбой Эдисона для электрических ламп накаливания** (взамен ГОСТ 2520-44). Утвержден 22 марта 1948 г. со сроком введения с 1 июня 1948 г. Стандарт распространяется на цоколи с резьбой Эдисона 12 типов с наружным диаметром резьбы 10, 14, 27 и 40 мм (типы Е10/13-1, Е14/29-3, Е27/30-1, Е40/45-1 и др.). В обозначении типов числитель дроби указывает наружный диаметр резьбы цоколя в миллиметрах, знаменатель — длину цоколя в миллиметрах, цифра после тире — отсутствие или величину ранта (1 — ранта нет, 2 — ранта малый, 3 — ранта большой). Цоколи с наружным диаметром резьбы 10 мм предназначены для напряжений не более 36 в. Цоколи остальных типов для напряжения до 250 в. Стандартом установлены размеры цоколей, материалы, из которых они должны изготавливаться, толщина цинкового покрытия, требования к внешнему виду, а также требования к электрической прочности и сопротивлению изоляции и теплостойкости цоколей.

**ГОСТ 1181-48. Лампы накаливания электрические железнодорожные** (взамен ГОСТ В-1181-41). Утвержден 14 февраля 1948 г. со сроком введения с 1 мая 1948 г. **ГОСТ 1608-47. Лампы накаливания электрические судовые** (взамен ГОСТ В-1608-42). Утвержден 27 декабря 1947 г. со сроком введения с 1 января 1948 г. **ГОСТ 4019-48. Лампы накаливания электрические кинопроекторные**. Утвержден 7 февраля 1948 г. со сроком введения с 1 мая 1948 г. Стандарты распространяются на электрические лампы накаливания, предназначенные для параллельного включения соответственно на осветительных сетях подвижного состава железных дорог, в сетях судов морского и речного флота и в проекционной и звукопроизводящей киноаппаратуре. Стандартами установлены типы и размеры ламп и типы цоколей для них, световые и электрические параметры ламп, средняя продолжительность горения и ряд других требований.

**ГОСТ 3839-47. Лампы электронные маломощные. Методы испытаний на долговечность**. Утвержден 27 августа 1947 г. со сроком введения с 1 января 1948 г.

Стандарт устанавливает общую методику испытаний на долговечность электронных приемно-усилительных ламп и маломощных кенотронов с предельно-допустимой мощностью, рассеиваемой анодом, не более 20 вт, применяемых преимущественно в радиоприемных и усилительных устройствах.

**ГОСТ 3895-47. Аккумуляторы щелочные (кадмиево-никелевые). ГОСТ 3894-47. Батареи аккумуляторные щелочные (кадмиево-никелевые)** (взамен ОСТ НКТП 7822/594 по 7825/597). Утверждены 27 октября 1947 г. со сроком введения с 1 января 1948 г. Стандарты распространяются на отдельные щелочные (кадмиево-никелевые) аккумуляторы и соответственно на батареи из этих аккумуляторов, смонтированных в деревянных футлярах или рамках. Стандартами установлены внешний вид, габаритные размеры, вес, электрические характеристики и ряд других требований к аккумуляторам и батареям.

**ГОСТ 1882-47. Батареи аккумуляторные щелочные (кадмиево-никелевые) для переносных фонарей** (взамен ГОСТ В-1882-42). Утвержден 27 октября 1947 г. со сроком введения с 1 января 1948 г.

Стандартом установлены внешний вид, габаритные размеры, вес, электрические характеристики и ряд других требований к щелочным (кадмиево-никелевым) аккумуляторным батареям двух типов, для переносных фонарей.

**ГОСТ 985-47. Кабели электрические для сигнализации и блокировки** (взамен ГОСТ В-985-41). Утвержден 3 декабря 1947 г. со сроком введения с 1 апреля 1948 г.

**ГОСТ 4376-48. Кабели электрические контрольные с медными жилами, с изоляцией из пропитанной кабельной бумаги** (взамен ОСТ НКТП 3507). Утвержден 14 сентября 1948 г. со сроком введения с 1 января 1949 г. Стандарты распространяются на кабели с медными жилами, изолированными пропитанной кабельной бумагой, предназначенные: а) по ГОСТ 985-47 — для сетей напряжением до 250 в железнодорожной сигнализации и блокировки, пожарной сигнализации, телеграфа, автоматики и т. п.; б) по ГОСТ 4376-48 — для присоединения к электрическим приборам и аппаратам в электрических распределительных устройствах с номинальным напряжением до 500 в переменного тока или 1 000 в постоянного тока.

Стандартами предусмотрены кабели в свинцовой оболочке: голые (марок СОГ и КСГ); асфальтированные (марок СОА и КСА); бронированные двумя стальными лентами, с наружным покровом из кабельной пряжи (марок СОБ и КСБ) или покрытыми компаундом или лаком марок СОБГ и КСБГ); бронированные стальными оцинкованными плоскими проволоками с наружным покровом из кабельной пряжи (марок СОП и КСП) или без нее (марок СОПГ и КСПГ); бронированные стальными оцинкованными круглыми проволоками, с наружным покровом из кабельной пряжи (марок СОК и КСК). Кабели марок СОГ, СОА, СОБ и т. п. изготавливаются по ГОСТ 985-47, а марок КСГ, КСА, КСБ и т. п. — по ГОСТ 4376-48. Стандартами установлено количество токопроводящих жил, толщины резиновой изоляции, свинцовой оболочки и защитных покровов, требования к защитным покровам и к материалам, применяемым для изготовления кабелей, сопротивление изоляции, электрическая емкость и активное сопротивление жилы кабеля и электрическая прочность изоляции.

**ГОСТ 4604-49. Кабели для торфопредприятий**. Утвержден 11 января 1949 г. со сроком введения с 1 июля 1949 г. Стандарт распространяется на трехжильные кабели марки ГТШ с медными жилами с резиновой изоляцией в общем резиновом шланге, применяемые на торфопредприятиях при температуре от  $-40$  до  $+50^\circ\text{C}$  для присоединения передвижных механизмов к электрическим сетям. Стандартом установлены сечение и конструкция токопроводящих жил, толщины резиновой изоляции на жиле, резиновой оболочки и шланга, значение испытательного напряжения и ряд других требований.

**ГОСТ 3884-47. Контакты из серебра и окиси кадмия**. Утвержден 22 октября 1947 г. со сроком введения с 1 апреля 1948 г. Стандарт распространяется на контакты круглой формы для электрических аппаратов переменного и постоянного тока, изготавливаемые из серебра и окиси кадмия методом металлокерамики. Стандартом установлены две марки контактов по химическому составу и физическим свойствам, сортмент контактов по размерам и рекомендуемые значения номинальных токов.

**ГОСТ 3836-47. Сталь низкоуглеродистая электротехническая тонколистовая** (взамен ОСТ 10006-38 в части материала для электрических целей). Утвержден 20 августа 1947 г. со сроком введения с 1 января 1949 г. Стандарт распространяется на низкоуглеродистую электротехническую сталь марок Э, ЭА и ЭАА, толщиной от 0,2

до 4 мм. Стандартом установлены химический состав готовых листов стали, значения коэрцитивной силы, магнитной индукции и максимальной магнитной проницаемости для листов стали каждой марки.

**ГОСТ 4268-48.** Микалента (взамен ГОСТ 2857-45 в части микаленты). Утвержден 5 июля 1948 г. со сроком введения с 1 октября 1948 г.

Стандарт распространяется на микаленту марок ЛМЧІ, ЛМСІ, ЛФЧІ, ЛФСІ, ЛМЧІІ, ЛМОІІ, ЛФЧІІ и ЛФСІІ, применяемую в качестве электроизоляционного материала в электрических машинах и аппаратах. В обозначении марок микаленты первая буква обозначает «микалента», вторая буква — вид слюды (мусковит или флогопит), третья буква — склеивающий лак (Ч — масляно-битумный, С — масляно-глифталевый), І — микалента с повышенной электрической прочностью, ІІ — микалента нормальная. Микалента выпускается в роликах диаметром не более 120 мм, шириной от 12 до 35 мм. Номинальные толщины микаленты 0,08; 0,10; 0,13 и 0,17 мм. Среднее значение пробивной напряженности электрического поля микаленты марок ЛМЧІ и ЛМСІ должно быть не менее  $20 \text{ кВ}_{\text{эфф}}/\text{мм}$ , марок ЛФЧІ и ЛФСІ — не менее  $18 \text{ кВ}_{\text{эфф}}/\text{мм}$ , марок ЛМЧІІ и ЛМСІІ — не менее  $16 \text{ кВ}_{\text{эфф}}/\text{мм}$ , марок ЛФЧІІ и ЛФСІІ — не менее  $14 \text{ кВ}_{\text{эфф}}/\text{мм}$ . В стандарте приведены также предел прочности при растяжении микаленты в зависимости от ее толщины (от 3 до  $1,8 \text{ кг}/\text{мм}^2$ ) и характеристики материалов, из которых должна изготавливаться микалента.

**ГОСТ 4194-48.** Картон электроизоляционный марки ЭМ. Утвержден 3 июля 1948 г. со сроком введения с 1 октября 1948 г. Стандарт распространяется на электроизоляционный картон марки ЭМ, вырабатываемый в рулонах (при толщине 0,5 мм) и в листах (при толщине свыше 0,5 мм), предназначенный для работы в трансформаторном масле при температуре до  $95^\circ \text{C}$ . В стандарте установлены толщина картона (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм), предел прочности при растяжении, впитывающая способность к трансформаторному маслу, средняя пробивная напряженность в трансформаторном масле (от 47 до

$19 \text{ кВ}_{\text{эфф}}/\text{мм}$  в зависимости от толщины картона) и ряд других показателей.

**ГОСТ 4248-48.** Доски асбестоцементные электроизоляционные непропитанные — ацид. Утвержден 3 июля 1948 г. со сроком введения с 1 ноября 1948 г. Стандарт распространяется на непропитанные асбестоцементные доски, применяемые для изготовления деталей электрических машин и аппаратов, подвергающихся действию высоких температур и вольтовой дуги (стенки искрогасительных камер и т. п.), а также (после соответствующей пропитки) для изготовления панелей, щитов и оснований электрических аппаратов. Стандартом предусмотрены две марки асбестоцементных досок «300» и «400» с пределом прочности на изгиб в любом направлении соответственно не менее 300 и  $400 \text{ кг}/\text{см}^2$ . Стандартом установлены предел прочности асбестоцементных досок при ударном изгибе (не менее  $4,5 \text{ кг см}/\text{см}^2$ ), удельное объемное сопротивление, средняя пробивная напряженность и ряд других требований.

**ГОСТ 4514-48.** Ленты изоляционные хлопчатобумажные. Утвержден 4 декабря 1948 г. со сроком введения с 1 февраля 1949 г. Стандарт распространяется на хлопчатобумажные изоляционные ленты (киперную, тафтяную, миткалевую и батистовую), применяемые при изоляции обмоток электрических машин и аппаратов и устанавливает толщину, ширину и физико-механические показатели лент.

**ГОСТ 4186-48.** Сигнализация тревожная электрическая. Правила и нормы (взамен ОСТ 40118). Утвержден 15 мая 1948 г. со сроком введения с 1 августа 1948 г. Стандарт содержит правила и нормы, которыми следует руководствоваться при устройстве электрической тревожной сигнализации, предназначенной для подачи вручную или автоматически быстрого извещения о происшествии в места сосредоточения сил и средств пожарной или сторожевой охраны.

Большинство из вышеперечисленных стандартов содержат также правила и методы испытаний и указания по упаковке и маркировке.

**Инж. У. М. ЛИТВАКОВ**

[15. 9. 1949]



## ОТ РЕДАКЦИИ

В связи с многочисленными обращениями читателей в редакцию по поводу содержащегося в некоторых изданиях текущего года (например, В. Ф. Власов — *Электровакuumные приборы. Связьиздат*) указания о введении в СССР новой системы электромагнитных единиц, редакция журнала «Электричество» доводит до сведения читателей журнала «Электричество», что рассмотрение вопроса о замене ОСТ 515 «Международные электрические единицы», ОСТ ВКС 5578 «Абсолютные магнитные единицы электромагнитной системы CGS» и ОСТ 4891 «Световые единицы» еще не закончено.

## Еще к вопросу об электромагнитных единицах

(Электричество, № 1, 1948 и № 1, 1949)

**Инж. В. Ф. РЕМНЕВ**

Москва

Опубликованный в журнале (№ 1, 1948) проект стандарта электрических и магнитных единиц П. Л. Калантарова и М. Ф. Маликова предусматривает одновременно с переходом от международных к абсолютным практическим единицам введение новой системы МКСМ, новой (четвертой) единицы, рационализированных уравнений электромагнетизма и нового представления о величинах и единицах.

Признавая прогрессивность взглядов П. Л. Калантарова, необходимо, однако, возразить против способа проведения этих взглядов, который может привести к новым ошибкам, к неясности в столь ответственном документе.

По существу, проведенная в журнале дискуссия (№ 1, 1949) развернулась вокруг этих вопросов, хотя и не указанных явно в проекте, но затронутых им и представляющих не только научный, но и злободневный технический интерес.

1. *Вопросы теории размерностей.* В ходе дискуссии выявилось отсутствие единого понимания основных вопросов теории размерностей.

Классическая математика имела дело только с одной математической величиной — числом. Уравнения классической математики — уравнения числовые. Физика и техника оперируют с физическими величинами и физические уравнения связывают физические величины. Число не появляется без единицы измерения, а единица всегда имеет конкретную физическую сущность. Физическое уравнение распадается на: 1) уравнение между числами, измеряющими входящие в физическое уравнение величины; 2) уравнение между единицами, которыми производилось измерение. Единицы имеют и физическое, качественное содержание.

Размерное уравнение связывает единицы, а не только их измерения.

Несмотря на упорное сопротивление формального направления в физике, не желающего признавать за физической величиной права на существование, считающего физические уравнения лишь числовыми, физические величины все же настойчиво проникают в физику и технику. И подобно тому, как одна группа физических величин — пространственные величины — уже получила права гражданства в понятии вектора, так и все физические величины будут введены в понятие «фактора» (название, предлагаемое, быть может несколько неудачно, автором). Подобно тому, как вектор — математическая величина, характеризующаяся числом и направлением, так «фактор» — математическая величина, характеризующаяся числом и физическим содержанием (конечно, без всякой мистики). Как вектор можно представить в виде произведения двух множителей — числа и единичного вектора, являющегося носителем качественного свойства — направления, так «фактор» можно представить в виде произведения числа и единичного фактора — эквивалента единицы измерения, являющегося носителем определенного качественного свойства — качества данной физической величины.

Понятия вектора и «фактора» распыряют понятие математической величины. Число, это — «голое количество», постепенно приобретает качественные свойства, сначала в понятии вектора, а затем в еще более общем понятии

«фактора». Пока еще безымянное, это новое обобщение быстро прокладывает себе путь в физику и технику.

Пока определяющее уравнение не содержит числовых коэффициентов, не возникает никаких разногласий. За единицу определяемой величины принимается та единица, которая вытекает из размерной части определяющего уравнения. Но с появлением числовых коэффициентов появляются и разногласия. Действительно, числовое уравнение уже не удовлетворяется, если принять за единицу размерную единицу.

Возможны два способа исправить это положение, т. е. сделать числовое равенство верным. Первый способ — классический — ввести обратный числовой коэффициент в размерное уравнение, изменяя тем самым значение единицы так, что числовое уравнение удовлетворяется. Недостатком этого способа является то, что уравнения размерности перестают быть уравнениями между единицами и появляются уравнения, связывающие единицы, — «единичные» уравнения.

Если

$$A = \alpha BC, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — числовой коэффициент, то, чтобы удовлетворилось числовое уравнение, т. е. было

$$A' = \alpha B'C',$$

полагают, что уравнение

$$[A] = [B][C]$$

связывает только изменения единиц, а сами единицы связаны другим уравнением

$$1[A] = \frac{1}{\alpha}[B] \cdot [C].$$

Второй способ — способ П. Л. Калантарова — состоит в том, что, не изменяя единицу, которая вытекает из уравнения размерности (не раздвигая, таким образом, уравнение размерности на собственно размерное и «единичное» уравнение), относят этот множитель к определяемой величине и констатируют факт появления новой величины, отличающейся от прежней только числовым значением.

Если, как и выше,

$$A = \alpha BC, \quad (1)$$

то принимают за единицу величины  $A$ , согласно общему правилу

$$[A] = [B] \cdot [C],$$

а величину

$$\alpha A = A,$$

считают новой, рационализованной, величиной. Тогда, очевидно, числовое уравнение удовлетворяется:

$$[\alpha A] = \alpha [B] \cdot [C].$$

Теперь равенство (1) следует писать в таком виде

$$A_r = \alpha BC.$$

Новая величина той же размерности и отличается только своим значением.

2. *Об эрстеде и гильберте.* Почему эрстед оказался в центре внимания? Для ответа на этот вопрос следует про-

смотреть список определяющих уравнений в области электромагнетизма. Оказывается, напряженность магнитного поля  $H$  единственная величина, единица которой определялась по уравнению с числовым коэффициентом, не равным единице, а следовательно, и единственная величина, единица которой была выбрана не по общему правилу. Поэтому только эрстед и страдает от рационализации по методу П. Л. Калантарова, не считая гильберта, который определяется с помощью эрстеда (к счастью — по уравнению с числовым коэффициентом, равным единице).

Попробуем определить единицу напряженности магнитного поля в системе CGSM. Определяющее уравнение для  $H$ :

$$H = 4\pi I_0, \quad (2)$$

где  $I_0 = \frac{I}{l}$  — полный ток, приходящийся на единицу длины магнитной линии. Следуя классическому способу, рассуждаем так: единицей  $I_0$  является  $\frac{\text{декаампер}}{\text{см}}$ . Если принять за единицу напряженности ту напряженность, которая имеет место при  $I_0 = 1 \frac{\text{декаампер}}{\text{см}}$ , то числовое уравнение не удовлетворяется

$$1 \neq 4\pi \cdot 1.$$

Чтобы оно удовлетворилось, берем за единицу напряженность, в  $4\pi$  раз меньшую, тогда численное значение данной напряженности, вызванной  $I_0 = 1 \frac{\text{декаампер}}{\text{см}}$ , будет в  $4\pi$  раз больше и числовое равенство удовлетворится:

$$4\pi = 4\pi \cdot 1.$$

Назовем эту единицу эрстедом, как это и было исторически. Мы получим:

$$1 \text{ эрстед} = \frac{1}{4\pi} \frac{\text{декаампер}}{\text{см}} = \frac{1000}{4\pi} \frac{\text{ампер}}{\text{метр}}.$$

Заметим, что при этом мы отказались от единицы вытекающей из размерного уравнения:

$$[H] = [I_0], \quad (3)$$

и приняли единицу, вытекающую из уравнения единиц

$$[H] = \frac{1}{4\pi} [I_0].$$

Пользуясь же вторым способом, мы выбрали бы единицу напряженности по размерному уравнению (3), т. е. по общему правилу. Назовем ее «ортодоксальным» эрстедом:

$$1 \text{ орт. эрстед} = 1 \frac{\text{декаампер}}{\text{см}} = 10^3 \frac{\text{ампер}}{\text{метр}}.$$

Но этот эрстед дает число, не удовлетворяющее определяющему уравнению (2), он дает число в  $4\pi$  раз меньшее. Чтобы исправить дело, вводим новую, рациональную напряженность поля  $H_r = 4\pi H$ , измеряя ее в ортодоксальных эрстедах, мы получим число, удовлетворяющее уравнению (2):

$$4\pi = 4\pi \cdot 1.$$

а само уравнение (2) можем переписать в виде

$$H_r = 4\pi I_0.$$

Если бы в ходе исторического развития было бы сделано так, то сейчас при рационализации нужно было бы только, не изменяя эрстеда, писать  $H$  вместо  $H_r$ :

$$H = I_0.$$

Вообще говоря, «ортодоксальный» эрстед удовлетворит любому уравнению с любым числовым коэффициентом, если только ввести соответствующую рациональную напряженность поля. Но эрстед, принятый сейчас, не ортодоксальный эрстед.

П. Л. Калантаров определил эрстед вторым способом. Его эрстед, эрстед ортодоксальный, удовлетворяет

рациональному уравнению без всякого изменения понятия напряженности поля. Наоборот, если бы мы пожелали пользоваться им при нерациональной форме уравнения (с числовым коэффициентом  $4\pi$ ), то должны были бы изменить понятие напряженности поля.

Обычный же эрстед применим при рациональной форме написания уравнений только в случае изменения понятия напряженности поля.

И если нашим предкам, например, трудно было прикинуть к представлению об антиподах, то, как видим, еще труднее, даже после того, как найден правильный путь, прийти к пониманию того, что эрстеды бываю т разные.

Теперь мы находимся перед альтернативой: 1) оставить без изменения исторически сложившуюся единицу напряженности магнитного поля — эрстед, изменив понятие о напряженности, но отказаться от единообразного определения производных единиц по формулам размерности, или 2) изменить эрстед в соответствии с концепцией П. Л. Калантарова, тем самым осуществляя принцип определения единицы по размерному уравнению, независимо от наличия или отсутствия числового коэффициента в определяющем уравнении.

Нам представляется более целесообразным раз и навсегда положить конец разнобою в определении единиц и ввести новый эрстед, в  $4\pi$  раз больший существующего. Причиной изменения эрстеда будет не требование рационализации, а исправление исторической ошибки. Конечно, новый эрстед должен получить и новое название. Это положит конец всякого рода недоразумениям.

3. О словесном определении единиц. М. Ф. Маликоз считает правильным такое положение, когда стандартизируются единицы нестандартизированной системы единиц и вместе с тем не указываются ни определяющие уравнения, ни формулы размерности. Он считает словесное определение единицы не только достаточным, но и более точным, более законным и только его приводит в проекте. Словесное определение единицы включает в себе описание физической обстановки и описание математической связи между определяющими величинами. Математической формулировкой этой связи служит определяющее уравнение, которое вряд ли менее законно, чем словесное описание, и во всяком случае должно быть необходимым дополнением к описательному определению единицы.

Формула размерности, восстановленная в своих правах П. Л. Калантаровым, также является законным математическим выражением связи между единицами и должна приводиться в стандарте. К тому же в современных системах электромагнитных единиц, как, например, в системе П. Л. Калантарова LTQФ формула размерности перестает быть таинственным иероглифом с иррациональными показателями и трансцендентным смыслом, а прямо и естественно совпадает с названием единицы и ясно говорит о смысле величины.

Но, конечно, им не место в стандарте, узаконивающем только переход от международных к абсолютным единицам.

Система П. Л. Калантарова LTQФ, насколько известно автору, первая система электромагнитных единиц с целыми размерностями для всех величин. Только подобная система имеет право на всеобщее употребление и стандартизацию. Существование такой системы указывает на то, что та эквилибристика с иррациональными размерностями, которая продолжается уже много десятков лет, обязана своим возникновением не какому-то сложному строению электромагнитных величин, а историческим причинам — сначала известному желанию свести все явления к механическим, а затем — нежеланию отказаться от таким образом возникших систем единиц.

Коснемся вопроса о причине появления иррациональных размерностей. В каждой области физики имеются величины разных порядков. Если система единиц строится, начиная с величин первого порядка, как это случилось в механике, не появляются ни одной дробной размерности. Если же, как это имеет место в электричестве, единицы определяются, начиная с единиц величин второго порядка, то неизбежно появление иррациональных размерностей и именно в основных единицах, которые желательно видеть имеющими простые размерности. Аппарат теории размерностей позволяет с равной легкостью оперировать с любыми размерностями, но физический смысл

становится наиболее ясным, когда применяется система единиц, в которой размерности — целые числа.

Идея П. Л. Калантарова, несомненно, будет развита в системы с целыми размерностями получат полное признание, подобно тому, как получили его рациональные системы. Только увлечением можно объяснить то обстоятельство, что П. Л. Калантаров хочет видеть тайный смысл в том факте, что из его системы вытекает какое-то другое деление величин на электрические и магнитные и существование *электромагнитных* величин, содержащих множитель размерности  $Q\Phi^{-1}$ . Поэтому он и не замечает, что и размерности всех механических величин в его системе имеют множитель  $Q\Phi$  и на этом основании могут быть также зачислены в группу *электромагнитных* величин, хотя и несколько другого рода.

В проекте заметно отсутствие единицы *диэлектрической проницаемости*. Это непростительное упущение, особенно сейчас, когда так остро стоит вопрос о признании размерности за константами материи, как  $\mu$ , так и  $\epsilon$ . Заслуживает внимания предложение В. Е. Соловьева назвать эту единицу „Электа“, „Магн“ и „Электа“ будут способствовать укреплению положения системы МКСМ.

В проекте не приведены единицы *напряженности*

*электрического поля E и электрической индукции D*. Что это, недосмотр или точка зрения? Абсолютно, т. е. с обращением к механическим величинам определяются две единицы — ампер и вольт. Первая — через механическую силу, вторая — через механическую мощность. Это обстоятельство указывает на то, что авторы проекта не смогли построить систему электромагнитных единиц на основных величинах  $LT\Phi$ , а воспользовались системой  $LT\Phi V$ . Считаю, что одно из определений (ампера или вольта) могло бы быть сделано чисто электромагнитным.

Вряд ли стоит называть систему CGS «научной», даже желая противопоставить ее абсолютной практической системе. Вероятно, и сам М. Ф. Маликов, сделавший утверждение о «научности» системы CGS, согласится с этим. В науке она была принята не потому, что она «научная», а в силу исторических причин, и удерживалась в силу консерватизма и авторитета многих ученых формального направления.

Можно согласиться с П. Л. Калантаровым, что «каждый стандарт должен быть построен на соответствующей принципиальной основе». Вот как раз этой основы и нет у обсуждаемого проекта.

Следует приветствовать введение полной шкалы приставок.



## Правила устройства электротехнических установок<sup>1</sup>

*Доктор техн. наук, проф.*

**А. А. ГЛАЗУНОВ**

*Московский энергетический институт им. Молотова*

В научно-техническом обществе МЭИ по докладу Н. П. Астахова «Деревянные опоры воздушных линий и их эксплуатационная надежность» состоялся широкий обмен мнениями, который показал с очевидностью, что допускаемые напряжения для деревянных опор, установленные § 72 и 74 «Правил устройства электротехнических установок. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 000 в (Механическая часть)», не гарантируют надежной и длительной работы деревянных опор на линиях.

Собранием была выбрана комиссия, которая вынесла решение просить Технический отдел Министерства электростанций утвердить § 72, 74 и 149 в частично новой редакции.

§ 72 остается без изменений. После табл. 11 делают два примечания:

1. Настоящая таблица составлена на основании табл. 4 «Норм проектирования деревянных конструкций (Н-2-46) с учетом пункта «в» § 9.

2. При снятии под углом допускаемые напряжения принимаются по формуле (приводится формула, помещенная в § 72).

§ 74. При сооружении воздушных линий класса I из бревен, не пропитанных антисептиками заводским способом, диаметры бревен для всех типов опор, полученные в результате расчета для пропитанного леса, должны быть увеличены на 2 см.

§ 149. После пункта «е» делаются два примечания:

1. На чертежах деревянных опор должны обязательно указываться значения критических диаметров, т. е. диаметров в расчетных сечениях, при которых должна производиться замена бревен опор.

2. Расчеты опор и фундаментов воздушных линий и линий связи, а также вспомогательных сооружений в объеме технической документации не включаются.

О мнению комиссии нельзя согласиться полностью. Для пропитанного леса при нормальных режимах работы линий комиссией приняты заниженные допускаемые на-

пряжения, что приведет к неоправданному расходу леса на строительство линий. В то же время допускаемое напряжение в стойках опор промежуточного типа при аварийных режимах работы линий принято очень высоким, что не обеспечит нужного эксплуатационного запаса прочности. Кроме того, представляется, что можно ограничиться при аварийных режимах работы линий одним пределом допускаемых напряжений для промежуточных и анкерных опор.

Исходя из этого, можно предложить следующую редакцию § 71, 72 и 74 Правил устройства воздушных линий:

§ 71. При расчетах деревянных опор устанавливаются 3 предела допускаемых напряжений.

Предел I — применяемый при расчетах всех элементов концевых и угловых анкерного типа опор, а также специальных типов опор высотой более 20 м, при нормальных режимах работы линий;

предел II — применяемый при расчетах всех элементов всех остальных типов опор, при нормальных режимах работы линий;

предел III — применяемый при расчетах всех элементов всех типов опор при аварийных режимах работы линий, тросодержателей на разность тяжений по тросу, а также всех типов опор на условия монтажа и подъема опор.

§ 72. Основные допускаемые напряжения для сосны приведены в табл. 11 (табл. 11 берется без изменений из Правил устройства).

После таблицы делается примечание следующего содержания. Основные допускаемые напряжения для сосны в табл. 11 даны с учетом повышения допускаемых напряжений для сооружений, рассчитываемых на основные и ветровые нагрузки. Допускаемые напряжения для сосны 2-го сорта, пропитанной антисептиками заводским способом, для пределов I — III, независимо от классов линий, получаются умножением основных напряжений на коэффициенты, приведенные в табл. 12.

Таблица 12

Коэффициенты допускаемых напряжений			
Пределы допускаемых напряжений I	II	III	
Коэффициенты допускаемых напряжений . . . . .	1	1,25	1,75

<sup>1</sup> Обращение редакции к читателям, в связи с обсуждением Правил, напечатано в № 11 журнала, стр. 96.



§ 74. При сооружении воздушных линий классов I и II из непропитанного антисептиками заводским способом леса полученные в результате расчетов диаметры бревен для прочитанного леса для всех типов опор должны быть увеличены для ступей на 3 см, а для остальных расчетных элементов опор на 2 см.

В случае принятия настоящего предложения необходимо изменить эксплуатационные запасы прочности, определяющие смену частей опор на линиях. Следует установить различные эксплуатационные запасы прочности для нормальных и аварийных режимов работы опор. Отношение между этими коэффициентами должно быть примерно равно отношению допускаемых напряжений при аварийном и нормальном режимах работы, т. е. составлять 1,4. Кроме того, нужно дифференцировать эксплуатационные запасы прочности по классам линий. Нет оснований давать одинаковые запасы прочности для линий 110 и 6 кв.

В качестве примера в нижеследующей таблице приводятся эксплуатационные запасы прочности, которые могли бы и быть рекомендованы для двуногих опор.

Части опор	Режимы работы	Классы линий	
		I	II и III
Траверза, стойка и стул	Нормальный	1,6	1,4
Траверза, стойка и стул	Аварийный	1,2	1,1

Временное сопротивление древесины принимается  $400 \text{ кг/см}^2$ .

Если для отдельных частей опор будут допускаться различные напряжения и отношения между напряжениями при аварийных и нормальных режимах будут более 1,5, то координировать эксплуатационные запасы прочности для этих режимов не удастся.

Технический отдел Министерства электростанций совместно с Главэлектромонтажом Министерства строительной предпринимательской тяжелой индустрии и Государственной инспекции по промэнергетике и энергонадзору при МЭС принял решение, по которому допускаемые напряжения принимаются по § 71 и 72 Правил устройства как для консервированной, так и неконсервированной древесины.

Решение Технического отдела МЭС не может считаться правильным. Оно исходит из чисто формальной предпосылки, а именно, что временное сопротивление пропитанной и непропитанной древесины примерно одинаковы. В действительности же эксплуатационная надежность опор из пропитанной древесины значительно выше, чем непропитанной.

Кроме того, при допуске таких высоких напряжений в неконсервированном лесе будет непроизводительно растрачиваться древесина, поскольку потребуется очень быстрая смена частей опор. Последнее может быть показано на следующем простом примере.

Предположим, что стойка П-образной опоры имеет в расчетном сечении 28 см. При расчете ее согласно Правилам устройства в аварийном режиме работы линии будем допустить напряжение  $240 \text{ кг/см}^2$ . Инструкция по эксплуатации высоковольтных линий электропередачи, утвержденная Техническим отделом МЭС, предписывает в стойке П-образной опоры коэффициент запаса прочности не менее 1,4. При временном сопротивлении древесины  $400 \text{ кг/см}^2$  предельное напряжение в стойке может быть допущено до  $400 : 1,4 = 285 \text{ кг/см}^2$ . Этому напряжению соответствует диаметр стойки, при котором она должна быть сменена, равный 26,6 см, т. е. на гниение остается по 0,75 см на сторону. На эту глубину ствол загниет в течение 2—3 лет. Полученный результат показывает полную неприемлемость решения Технического отдела МЭС.

**Инж. С. С. РОКОТЯН и  
инж. Б. В. СОКОЛОВ**  
Теплоэлектропроект МЭС

Техническая общественность Теплоэлектропроекта в результате широкого обсуждения «Правил устройства воздушных линий» по докладам Р. А. Голубцова, И. А.

Рихтера, А. Н. Шеренциса и на основании отзывов ряда отделений Теплоэлектропроекта (Ленинградского, Харьковского и др.) считает, что в первоначальную редакцию некоторых параграфов должны быть внесены весьма существенные исправления.

1. Глава I «Определение и область применения» должна быть расширена за счет определения основных понятий, относящихся к линиям передач, как-то: опоры, провода, тросы, их расположение, изоляторы, арматура, фундаменты, заземление, анкерные пролеты, переходы и пересечения, габариты, транспозиция проводов и т. д. Отсутствие таких определений вносит элемент нечеткости в указания «Правил».

2. Для определения приближения проводов к элементам опоры при коммутационных перенапряжениях табл. 2 и 3 нормируют расчетное значение скорости ветра  $15 \text{ м/сек}$ . В действительности, коммутационные перенапряжения могут иметь место при самых неблагоприятных значениях силы ветра (например, коммутационные перенапряжения, возникающие при авариях: замыканиях на землю, обрывах проводов) и более правильно было бы принять для этого случая расчетные силы ветра  $25 \text{ м/сек}$  у поверхности земли и  $40 \text{ м/сек}$  на высоте 100 м и выше, т. е. расчетные скорости ветра при нормальных режимах.

3. § 28 устанавливает коэффициент запаса механической прочности изоляторов только для нормального режима. Проверка подвесных изоляторов в аварийном режиме необходима; следовало бы, подобно тому, как это предусмотрено для материала опор (дерево, сталь), предусмотреть коэффициенты запаса прочности и для подвесных изоляторов в аварийном режиме порядка  $n = 1,5 \div 1,8$ .

4. § 74 не может быть принят. Единодушное мнение всех выступавших, что снижение диаметров бревен, пропитанных антисептиком заводским способом на 3—4 см, недопустимо.

5. Рекомендация применения в III—IV районах климатических условий только горизонтального расположения проводов (§ 81 и 82) и нечетная формулировка § 82, из которой не ясно, как следует поступать, если желательно применить не горизонтальное, а иное расположение проводов, затрудняет применение более экономичных двухцепных опор для напряжений 110—220 кв.

6. При вертикальном расположении проводов (см. § 90) следует нормировать смещение проводов в горизонтальной плоскости. Этот вопрос требует проверки, исходя из условий работы провода в пролете и имеющегося эксплуатационного опыта. Предлагалось:

	а) или	б)
для линий 35 кв не менее 0,5 м		0,4 м
для линий 110 кв не менее 1,0 м		0,7 м
для линий 154 кв не менее 1,5 м		1,1 м
для линий 220 кв не менее 2,0 м		1,5 м

7. В связи с предыдущим пунктом 6 следует также изучить эксплуатационный опыт и обсудить вопрос о целесообразности запрещения применения выпускающих зажимов при вертикальном расположении проводов (§ 32).

8. Количество изоляторов в поддерживающей гирлянде на линии 35 кв, построенной на металлических опорах и не защищенной тросом, должно быть увеличено до 4 (табл. 6 § 29) для предупреждения перекрытий гирлянд, вызываемых индуктированными перенапряжениями. При наличии троса для металлических опор линий 35 кв достаточно трех изоляторов в гирлянде.

9. Формулировка § 83 должна быть изменена следующим образом: «При защите линий тросовыми молниеотводами защитный угол тросов следует принимать возможным малым. В общем случае выбор угла защиты тросовых молниеотводов определяется условиями сближения проводов и тросов и конструктивными соображениями. Максимально допустимая величина защитного угла на опоре по отношению к внешним проводам при подвеске одного троса не должна превышать  $30^\circ$ , а при двух тросах не должна превышать  $20^\circ$ . Расстояние между тросом и проводом в середине пролета и на опоре принимается согласно Руководящим указаниям по защите от перенапряжений (табл. 11)»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Подробно этот вопрос рассмотрен в статье А. Н. Шеренциса, Электрические станции, № 8, 1949.



Формула для активной высоты троса над защищаемым объектом, взятая из § 13 Р. У. по перенапряжениям, не может быть механически перенесена для определения расстояния между средним проводом и тросом. Так, например, расстояние между стойками опоры для линий электропередачи 110 кВ равно 4 м. По этой формуле

$$h_a = \frac{a}{4} = \frac{4}{4} = 1 \text{ м.}$$

В то же время длина гирлянды для линий 110 кВ равна 1,2—1,5 м. Если следовать формуле, рекомендуемой § 83, то трос надо вешать ниже точки подвеса гирлянды. Эта формула и рис. 3 из «Правил» должны быть изъяты.

10. Формулировка § 86 должна быть изменена следующим образом: «На В. Л. класса I расстояния между проводами, как правило, определяются условиями сближения проводов в пролете. Кроме того, выбранное расстояние между проводами должно проверяться в соответствии с требованиями Руководящих указаний по защите от перенапряжений».

Практика проектирования указывает, что решающим условием при определении расстояний между проводами являются условия сближения проводов в пролете.

11. Таблица 15 (§ 87) должна быть изложена в следующей редакции:

Таблица 15

**Расстояния между проводами на линиях с номинальным напряжением 110 кВ по условиям сближения в пролете в см**

Районы климатических условий	Пролеты в м						
	150	175	200	250	300	350	400
Районы I и II . .	325	350	375	400	425	475	525
Районы III и IV	375	400	425	425	475	—	—

Пролет 125 м из табл. 15 следует исключить.

12. Формулировка § 88 должна быть изменена следующим образом: «На В. Л. класса I с номинальным напряжением 220 кВ для всех климатических районов расстояния между проводами, лежащими в одной горизонтальной плоскости, рекомендуется принимать по таблице:

Пролет в м	Расстояние между проводами в горизонтальной плоскости в см
250	550
300	600
350	650
400	700
450	750

Минимальные расстояния между горизонтально расположенными проводами для линий 154 кВ принимать не менее 450 см. При вертикальном расположении проводов минимальное расстояние между проводами в вертикальной плоскости должно быть: для 220 кВ не менее 500 см и для 154 кВ не менее 375 см.

13. Табл. 17 должна быть изложена в следующей редакции (см. табл. в правой колонке).

Указанное уточнение вызвано тем, что эквивалентные

Номинальные напряжения линий в кВ	35	110	154	220
Воздушные промежутки в см, эквивалентные гирлянде изоляторов (количество элементов в гирлянде определено по табл. 6) . . . . .	45	115	185	225

гирлянде воздушные промежутки табл. 17 не соответствуют количеству элементов в гирлянде, рекомендуемому в табл. 6 тех же «Правил». Так, например, эквивалентный гирлянде воздушный промежуток для линий 220 кВ, равный 200 см, приведенный в табл. 17, соответствует гирлянде из 12 элементов типа П-4,5, в то время как табл. 6 для металлических опор нормирует 14 элементов того же типа П-4,5, для которых эквивалентный воздушный промежуток при одинаковых исходных условиях координации изоляции составляет 225 см.

14. Необходимо уточнить расчетные условия для фундаментов опор. С этой целью следует ускорить окончание сооружения опытного стенда для испытания опор и фундаментов.

15. В редакции «Правил» 1947 г. ни слова не сказано о применении на линиях электропередачи железобетонных опор и железобетонных пасынков; нельзя согласиться с отсутствием в «Правилах» такого важного раздела.

16. Раздел «Воздушные линии электропередачи» нуждается в серьезной редакторской правке (например, табл. 3, 6, 7, 10).

**Инж. А. Н. ШЕРЕНЦИС<sup>1</sup>**

*Теплоэлектропроект МЭС*

Для современных конструкций линий электропередачи рекомендуемые «Правилами» расчеты по координации изоляции не определяются с необходимой точностью габаритов опоры. В «Правилах» нужно изменить формулировку этого вопроса и указать, что расстояния между проводами на линиях электропередачи определяются условиями сближения проводов в пролете, а расчеты по координации изоляции должны производиться только в виде контроля.

При проектировании линий электропередачи координацию по условиям коммутационных перенапряжений следует производить при расчетных скоростях ветра в грозовой период. Это соответствует физическим процессам, происходящим на линии электропередачи, а также практически целесообразно. Расчеты по существующим нормам, в которых скорость ветра снижена до 15 м/сек, излишни, так как полученные на основе координации по атмосферным перенапряжениям кривые предельных изоляционных расстояний всегда будут больше, чем те же кривые, определенные с учетом коммутационных повышений напряжения. При скоростях ветра, начиная от 20—25 м/сек, в расчетах по координации изоляции уже приходится считаться с внутренними перенапряжениями, так как в этом случае уже нельзя заранее сказать, что атмосферные перенапряжения всегда будут определять изоляционные расстояния на опоре.

<sup>1</sup> Замечания А. Н. Шеренциса приведены здесь весьма сжато по одному лишь вопросу, поскольку в сообщении С. С. Рокотьяна и Б. В. Соколова (см. выше) отражены результаты обсуждения ряда докладов, в том числе и А. Н. Шеренциса. (Ред.)

(Продолжение следует)



## Конференция читателей журнала „Электричество“ в Свердловске

29 сентября 1949 г. в помещении Уральского политехнического института им. Кирова в Свердловске была проведена конференция читателей журнала «Электричество». Эта конференция — четвертая в числе организованных в 1948 и 1949 гг. Всесоюзным научным инженерно-техническим обществом энергетики совместно с редакцией журнала читательских конференций, имеющих своей задачей выявлять запросы читателей к журналу и обсудить с читателями вопросы улучшения деятельности журнала. Ранее читательские конференции состоялись в Москве, Киеве и Ленинграде<sup>1</sup>. В работе конференции 29 сентября участвовало значительное число читателей Свердловска: научные работники, преподаватели и студенты старших курсов Уральского политехнического института им. Кирова (УПИ), инженеры предприятий электропромышленности, уральской энергосистемы, энергоцехов заводов ряда отраслей промышленности и др.

Открывая конференцию, заместитель председателя Свердловского отделения ВНИТОЭ инж. А. С. Середа обратился к собравшимся с кратким вступительным словом, в котором отметил глубокий интерес, проявляемый энергетической общественностью крупнейшей промышленности и энергетического центра Урала к встрече читателей журнала с приехавшими в Свердловск представителями редакции, и призвал участников конференции всесторонне обсудить содержание родного всем электротехникам журнала и острой критикой замеченных недостатков способствовать дальнейшему повышению качества помещаемых в журнале «Электричество» материалов.

Доклад о деятельности журнала «Электричество» сделал редактор журнала — заслуженный деятель науки и техники, доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров. Затем выступили читатели журнала.

Кандидат техн. наук И. Д. Урусов (завод «Уралэлектромашин»), характеризуя помощь, оказываемую журналом «Электричество» инженерам, привел перечень некоторых фундаментальных статей, опубликованных одновременно в журнале и помогших заводу совместно с научными работниками УПИ углубить и довести до успешного завершения исследования в связи с некоторыми производственными и конструктивными задачами, вставшими при разработке новых, более экономичных и более совершенных типов электрических машин. В числе таких статей были названы статьи Л. М. Пиотровского, Г. Н. Петрова, В. Т. Касьянова, Р. А. Лютера, Е. Я. Казового, Ю. О. Чечета, В. А. Трапезникова и др. Однако,дельный вес статей, ценных для читателей — заводских инженеров, практической направленностью содержания и отсутствием примененного авторами математического аппарата, еще невелик и это — безусловный минус в работе редакции журнала.

Кандидат техн. наук А. Т. Блажкин (Уральский горный институт) отметил, что, несмотря на многие достижения, которых добился за последние годы журнал, он все еще не подошел в достаточной степени близко к практическим запросам инженеров-электриков, работающих в промышленности и на электростанциях. Журнал уделяет недостаточное место вопросам развития новых отраслей электротехники и в то же время часто повторяет старыеемы и старые расчеты в несколько модифицированном виде. Некоторые работы, остающиеся не напечатанными

в журнале за недостатком места, следовало бы опубликовывать в форме приложений с небольшим тиражом, которым смогли бы воспользоваться читатели журнала, заинтересованные в таких работах. Указывая на совершенно незначительную долю в авторском коллективе журнала уральских и сибирских авторов, А. Т. Блажкин заметил, что удельный вес периферийных авторов обратно пропорционален расстоянию от места издания журнала до места жительства авторов.

Кандидат техн. наук, доц. А. А. Янко-Триницкий (УПИ) обратил внимание на то, что в журнале иногда попадаются нарушения единой терминологии и общепринятых обозначений. В журнале следовало бы освещать вопросы применения матричного исчисления, тензорного анализа, теории колебаний. Редакция должна была бы привлекать уральских авторов в качестве рецензентов материалов, поступающих на рассмотрение редакции.

Инж. В. И. Плесков (Уралсибэлектромонтаж) заявил, что большое число хороших статей по вопросам электропривода, напечатанных за последние годы в журнале, оказало значительное содействие при проектировании электропривода для черной и цветной металлургии. Редакция должна решительнее бороться с «академизмом» материалов, так как некоторые далекие от жизни статьи, просочившиеся в журнал, несмотря на проводимую редакцией борьбу, оказывают плохую услугу журналу, затрудняя привлечение к журналу более широких кругов читателей. Число критических обзоров по иностранным техническим журналам следует резко увеличить, так как весьма многие читатели — научные работники, конструкторы, проектировщики весьма заинтересованы в получении более полной и разносторонней критической информации о развитии электротехники. Дискуссии, проводимые в журнале, должны завершаться более четким и твердым редакционным заключением, так как отдельные читатели не всегда имеют возможность самостоятельно анализировать разнообразные обсуждавшиеся в дискуссии вопросы, а вместе с тем хотели бы иметь компетентное суждение редакции журнала по поднятой проблеме в целом.

Доктор техн. наук, проф. Н. С. Сиунов (УПИ), выражая, как он заявил, мнение всех свердловских читателей журнала «Электричество», поблагодарил Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетики и редакцию журнала за организованную в Свердловске встречу читателей с представителями редакции; это живое общение позволило поставить на обсуждение плотную многие вопросы улучшения издания родного всем присутствующим на конференции электротехникам журнала. За последние годы интерес инженерной общественности к журналу сильно возрос. На страницах журнала «Электричество» являющегося печатным органом трех организаций и в первую очередь Академии наук СССР, должновестись освещение самых современных научных и инженерных проблем электротехники, отражающих передовую советскую техническую мысль и результаты изысканий крупнейших советских деятелей электротехники. Это обстоятельство повышает требовательность к журналу и обуславливает нетерпимость к еще неизжитым в нем недостаткам. Слабая связь редакции с периферией сказалась и на обзоре в № 11, 1947 г., когда несомненные достижения в работе ряда периферийных втузов не были вовсе упомянуты. Шире следует отражать в журнале результаты работы крупнейших предприятий электропромышленности и энергосистем Урала и Сибири. В ряде

<sup>1</sup> Отчеты о них напечатаны в журнале «Электричество», № 6, 1948 г. и № 7 и 8, 1949 г.

номеров и текущего года все еще попадают тяжелые и пространные статьи.

Студент 5-го курса УПИ В. А. Ошев в своем выступлении отметил интерес, проявляемый студентами электротехнических и энергетических специальностей к журналу «Электричество». Этот журнал можно часто увидеть в руках студентов старших курсов, особенно при выполнении ими самостоятельных работ и в период разработки темы дипломного проекта.

Инж. В. М. Воронов (Главуралэнерго) подчеркнул, что уральская энергосистема — одна из крупнейших и одна из перспективнейших систем в Союзе ССР — редко фигурирует в материалах, публикуемых в журнале. Вместе с тем целый ряд тем, зарождающихся в системе Уралэнерго (по автоматике, по вопросам управления, защиты и т. д.), должен был бы освещаться в журнале «Электричество». К сожалению, приходится констатировать, что довольно значительная прослойка инженеров-электриков эксплуатации из-за «академизма» журнала «Электричество» его лишь просматривает, хотя испытывает самое горячее желание серьезно пользоваться материалами журнала. Редакция обязана довести до конца борьбу за упрощение формы изложения материалов. Особенно следует отметить неправильную позицию в отношении журнала ВНИТОЭ, которое ограничивается участием в проведении читательских конференций, а систематической работы с читателями журнала не ведет и не организует регулярного обсуждения с читателями важнейших статей с последующим освещением результатов обсуждения на страницах журнала. В связи с этим необходимо еще раз напомнить, что журнал «Электричество» 70 лет назад был основан электротехнической общественностью страны и в наше время ВНИТОЭ должно уделять журналу и читателям журнала большее место в планах своей повседневной работы.

Инж. Б. Ф. Трахтенберг (Верх-Исетский металлургический завод), отметив, что в успехах, которых добились электротехники Советского Союза, есть также доля металлургов, разработавших новые высшие сорта электротехнической стали, остановился на том, как освещает журнал «Электричество» степень использования достижений специальной металлургии электропромышленностью для улучшения электрических машин и трансформаторов. Журнал не борется с некоторым консерватизмом, заметным еще в среде электротехников в вопросах экспериментирования в области применения новейших марок проката.

Инж. Е. М. Глух (Лаборатория ртутных выпрямителей) от имени научно-исследовательского коллектива лаборатории обещал в самое ближайшее время передать редакции журнала несколько статей, освещающих современное состояние производства и тенденцию развития ртутных выпрямителей.

Кандидат техн. наук, доц. В. А. Шубин (УПИ), присоединяясь к требованиям, чтобы во всех первичных организациях ВНИТОЭ проводилось регулярное обсуждение статей журнала «Электричество», предложил также, чтобы статьи членов ВНИТОЭ предварительно (до отсылки статей авторами в редакцию) рассматривались на собраниях членов ВНИТОЭ и затем направлялись в редакцию вместе с выводами общественности. Увеличение участия

уральских и сибирских авторов в журнале зависит лишь от авторов этих районов, которые должны интенсивнее взяться за работу в соответствии с тематическим планом журнала на 1950 г.

Инж. Б. А. Астахов (Урало-Сибирское отделение ОРГРЕО МЭС) присоединился к заявлениям об огромной пользе, приносимой журналом инженерам-новаторам и рационализаторам. Упрощение формы изложения статей расширит круг читателей журнала.

Кандидат техн. наук, доц. М. М. Акидис (УПИ) считает необходимым уточнить методы ликвидации «академизма» в журнале «Электричество» во избежание того, чтобы этот процесс не привел к постепенному заполнению журнала элементарными статьями. В журнале должны и впредь печататься глубоко серьезные статьи, но в более доступном изложении. Журнал потому полезен для научных и педагогических работников, что в нем печатаются материалы высокого научного и теоретического содержания, однако, изложение их безусловно не должно быть «заумным». Снижать же уровень содержания журнала недопустимо.

Инж. А. С. Середа (СвердловВНИТОЭ) предложил редакции практиковать просмотр статей рецензентом совместно с автором; такой метод работы рецензентов (там, где это возможно) принесет большую пользу авторам, ускорит случайные недоразумения при рецензировании и ускорит самый процесс рецензирования. Реализация темплана журнала должна в большей мере быть основана на своевременном заказе статей редакцией.

Кандидат техн. наук, доц. В. М. Синьков (УПИ) внес предложение, чтобы статьи, посвященные знаменательным датам из истории отечественной электротехники, печатались заблаговременно, чтобы читатели журнала смогли пользоваться этим материалом для своих выступлений при подготовке к докладам, лекциям и т. п. Желательно, чтобы автор непринятой статьи мог обсудить с рецензентом мотивы отказа; фамилия рецензента должна сообщаться автору. Раздел хроники следует расширить вдвое, чтобы чаще и более подробно освещать в журнале деятельность научно-исследовательских организаций, вузов и т. д.

Инж. А. Г. Цейтлин (Уралэлектромонтаж МЭС) указал на актуальность освещения в журнале экономических вопросов, связанных с электротехнической тематикой. Особенно в этом нуждаются работники проектирующих организаций.

В заключительном слове проф. Г. Н. Петров выразил всем присутствующим читателям благодарность за активное участие в обсуждении деятельности журнала. Большинство замечаний по журналу, сделанных на Свердловской конференции, правильны и находятся в соответствии с аналогичными замечаниями читателей, выступавших на Московской, Ленинградской и Киевской конференциях, а также с замечаниями, полученными редакцией в анкетах, расславшихся читателям в 1947 и 1948 гг. Это единство взглядов читателей по общим принципиальным вопросам деятельности журнала показательно, и редакция самым тщательным образом рассмотрит их и учтет в своей дальнейшей работе.

Д. Р.



## Обсуждение книги по электротермии в Ленинградском и Московском отделениях ВНИТОЭ<sup>1</sup>

Секция электротермии ЛОНИТОЭ (Ленинград) и секция электротермии МОНИТОЭ (Москва) подвергли детальному обсуждению книгу «Электрические промышленные печи», написанную Г. И. Бабатом, Г. В. Дершварем, А. Д. Свенчанским и М. Я. Смелянским<sup>2</sup>. Участие организаций ВНИТОЭ в борьбе за высокое качество книги, несомненно, будет содействовать повышению уровня технической литературы и, что особенно ценно, повышению

уровня учебной литературы, на которой воспитывается советская молодежь.

Книга, составленная коллективом кафедры электротермических аппаратов МЭИ и допущенная Министерством высшего образования в качестве учебного пособия для вузов, привлекла большое внимание со стороны инженерно-технической общественности Ленинграда и Москвы.

На заседании секции электротермии ЛОНИТОЭ 27 апреля с. г. были заслушаны рецензии на различные разделы книги С. М. Куляшева, А. В. Донского, Б. В. Панфановича, А. Н. Соколова и Б. М. Струнского.

<sup>1</sup> Настоящее сообщение составлено по материалам, присланным редакцией Ленинградского и Московского отделений РН ИТ (Э. (Ред.)  
<sup>2</sup> Рецензию Г. А. Сисояна на эту книгу см. в № 7, Электричество, 1949.

Инж. С. М. Куляшев остановился на разделе «Электрические печи сопротивления». Он отметил, что содержащаяся в этом разделе классификация печей по принципу превращения электрической энергии в тепловую (печи сопротивления и дуговые печи) произвольна и мало убедительна. Гл. 2 содержит довольно обширный материал по общей теории теплопередачи, хорошо освещенной в литературе, в то же время в ней не рассмотрены такие существенные для проектирования печей вопросы, как расчет стенки печи периодического действия, методика расчета нестационарных тепловых процессов, односторонний нагрев стенки бесконечной толщины. Приведенные в гл. 4 раздела «Электрические печи сопротивления» иллюстрации не сопровождаются в тексте сведениями о размерах печей, мощности, их производительности, рабочей температуре, что в значительной мере обедняет графический материал. Не описаны конструкции высокотемпературных печей с силитовыми или глобировыми элементами, с рекуперацией тепла. Нет примеров конструкций песочного затвора, жароупорных подовых плит и других важных конструктивных узлов. Вопрос о времени нагрева и охлаждения изделий (гл. 5) изложен схематично и примитивно. Приведенные сведения позволяют делать лишь приближенные прикидки.

А. В. Донской дал характеристику гл. 7—13, раздела 3. В гл. 7 описанию индукционных печей без стального сердечника отведено всего 2 стр. В ней даны элементарные сведения по поверхностной закалке металлов и нагреву диэлектриков в высокочастотных печах, что следовало бы сделать после изложения общей теории индукционного нагрева и на иной теоретической основе. Режимы поверхностного нагрева стали под закалку изложены весьма поверхностно. Между тем, в работах члена-корр. Академии наук СССР В. П. Вологодина даны подробные инженерные методы расчета. Единственная приведенная в гл. 8 схема с машинными генераторами (рис. 85) устарела. Рассмотрение явления полостного нагрева и некоторых других вопросов при столь ограниченном объеме книги нецелесообразно. На стр. 126 неправильно указывается, что при двухконтурных схемах ламповых генераторов «кажущаяся мощность конденсаторных батарей может в 2—3 раза превышать теоретический минимум, необходимый для компенсаций самой только плавильной печи».

Теория нагрева вихревыми токами (гл. 9) завершается выводами соотношения для удельной мощности, поглощаемой изделием, что является недостаточным для суждения об электрических и энергетических характеристиках электромагнитной системы индуктор—нагреваемый металл.

По вопросу о выборе частоты авторы ограничиваются несколькими фразами.

Излагая расчет плавильных бессердечниковых печей, авторы не учитывают исключительной важности вопроса об изменениях электрических параметров за период плавки, которые предопределяются как технологическими (время плавки, производительности и т. д.), так и энергетическими (удельный расход энергии, степень использования генератора) показателями печи, во всяком случае для машинных установок. Неправильно утверждение, что печь, рассчитанная на момент расплавления, будет работать в более благоприятном режиме при кусковой шихте. Стремление к минимуму  $I_{\text{дп}}$ , приводит к недоиспользованию генератора к концу плавки.

Б. В. Парфанович подверг сомнению правильность приведенных в книге значений величины угара (табл. 12,2) и указал на отсутствие данных о потерях по другим причинам. Показатели печей (табл. 12,3) имеют 15-летнюю давность. Время плавки печи емкостью 600 кг на практике составляет 30 мин. (не 60). Нет указания, о том, что описываемая печь для плавки цинка не является единственной конструкцией подобного назначения.

А. Н. Соколов сделал замечания по гл. 14—16 раздела 4. Гл. 14 посвящена конструкциям дуговых печей, технологии плавки металлов и электрооборудованию печей. В этой главе не упомянуты схемы автоматического управления электродами. Схеме включения печей и подстанциям уделены 2 страницы и 2 эскиза. В гл. 15—16, посвященных расчетам и описанию конструкции и режиму дуговых печей, не отражены опубликованные за последние годы отечественные исследования по режиму работы дуговых печей (С. И. Тельный, А. Н. Соколов). Авторы книги

ими не воспользовались. Заимствовав некоторые ошибочные положения Н. В. Огорокова, авторы приходят к неверным выводам: на стр. 232 ошибочно указывается, что максимум производительности печи и минимум расхода энергии в период расплавления достигается при бесконечно большой мощности трансформатора.

Авторы допускают крупную ошибку, изолированно рассматривая электрические характеристики печи. В настоящее время предложена методика анализа работы дуговых печей, которая приводит к построению рабочих диаграмм дуговой печи, объединяющих электрические, технологические и тепловые характеристики печей.

А. Н. Соколов указал на ряд других ошибок.

Б. М. Струнский дал оценку гл. 17—18 раздела 5 (рудно-термические электропечи). Этим печам отведено 42 страницы, что никак не вяжется ни с разнообразием области их применения, ни с разнообразием и сложностью конструкций печей. Рецензент указывает, что в разделе нет сведений и не дана методика по выбору размеров ванн, электродов, рабочих узлов электродержателей, по выбору трансформатора, короткой сети и аппаратуры автоматизации. Богатейший опыт советских заводов по эксплуатации рудно-термических печей не использован.

Предложенная схема расчета рудно-термической печи (§ 17,3) опирается только на один параметр — удельную мощность на единицу площади пода — и не учитывает ряда других важных соотношений.

На описание печей для карбунда и графитирования отведено полторы страницы. В частных замечаниях по этому разделу Б. М. Струнский обратил внимание на ряд ошибок и упущений.

Рецензенты отметили также ряд стилистических дефектов книги.

В прениях по докладам выступили: Г. О. Левит, А. Е. Слухоцкий, М. Г. Цокурено и М. С. Сонимский. Общая оценка книги как рецензентами, так и другими участниками совещания была отрицательной. В резолюции отмечено, что книга не соответствует своему назначению как учебник.

В заключение совещание рекомендовало секции электротермии включить в годовой план работ просмотр и обсуждение наиболее важной литературы по вопросам электротермии.

Следует отметить, что отсутствие авторов книги на этом совещании было большим пробелом в его работе.

Обсуждение книги в Москве, на совместном заседании секции электротермии МОНИТОЭ и секции электротермии Дома инженера и техника им. Дзержинского состоялось 7 июля с. г. Предварительно были заслушаны рецензии инж. Б. С. Барского, К. М. Филиппова, С. А. Фарбмана, Ю. И. Китайгородского и И. Д. Кирченко.

Инж. Б. С. Барский в своем выступлении подчеркнул, что развитие советской электротермии предъявляет большие требования к литературе по электропечам. Самый факт появления данной книги следует приветствовать. Первое впечатление от книги можно охарактеризовать следующим образом: авторы довольно успешно справились со стоящей перед ними достаточно трудной задачей и в целом книга удовлетворяет своему назначению как учебник. Она написана на достаточно высоком научно-техническом уровне и отражает, за некоторыми исключениями, современное состояние электротермии. Язык книги, за небольшим исключением, достаточно доступен. Однако, не все главы книги равноценны. Лучше всего удался авторам раздел о печах сопротивления. Есть недостатки, которые присущи всем разделам. Не уделено достаточно внимания показу основных тенденций развития русской науки и техники. Целесообразнее было бы распределить литературу по разделам. Большая и серьезная помеха к усвоению материала — это отсутствие подписей под фигурами. Книга плохо выправлена: в ней много опечаток.

Досадно, что раздел, посвященный такому распространенному плавильному агрегату, как дуговая печь, весьма стеснен в своих размерах. Содержание раздела в общем отвечает современному уровню наших знаний по дуговым печам. Хорошо изложен вопрос об отдельных элементах печных конструкций. Правильно изложены основы теории дуги.

Недостатком раздела является то, что в нем нет достаточно четкого анализа взаимосвязи параметров печи: емкость, геометрические размеры, мощность. Авторы не

выявляют четко своего отношения к существующим в советской научно-технической мысли двум противоположным концепциям в отношении этого вопроса. Проблема электрической мощности рассматривается изолированно, в отрыве от теплотехники, технологии и экономики.

В параграфе, трактующем о технологическом процессе плавки, имеется ряд недочетов, наличие которых в значительной степени следует, повидимому, отнести за счет необходимости чрезмерно сжать текст.

В главе, посвященной электрическому режиму дуговых печей, не в полной мере отражено современное состояние вопроса, в частности, не использованы последние работы С. И. Тельного и А. Н. Соколова.

Электрооборудование и аппаратура являются предметом отдельных курсов и поэтому в книге не освещаются. Для учебника это логично. Но учитывая, что на книжном рынке нет соответствующей литературы и что книга найдет читателей и среди инженеров (электриков и металлургов), — отсутствие материала по этим разделам следует считать пробелом. Нет никаких данных по трансформаторам, автоматике и защите. Авторы недостаточно критически подошли к имеющемуся богатому графическому материалу и недостаточно удачно произвели его отбор.

Книга как учебник — отвечает своему назначению. Она найдет распространение и в качестве пособия для инженеров электрометаллургов.

Инж. К. М. Филиппов считает основным дефектом книги — недостаточный объем и, как следствие, ряд пробелов по содержанию. Второй недостаток книги — это то, что ряд материалов в ней является устаревшим.

Несмотря на отдельные дефекты, рассматриваемая книга при весьма сжатом ее объеме дает полное и стройное представление о современном электротермическом оборудовании, его конструкции и схемах, а также о методах их расчета.

С. А. Фарбман отметил, как положительный факт, что расчет индуктивности печи строится на едином методе расчета рассеяния проф. Г. Н. Петрова. Этот метод в применении к печам со стальным сердечником изложен, насколько нам известно, в руководствах впервые. Оригинален также раздел о выборе размеров поперечного сечения каналов, где рассмотрено явление поверхностного эффекта в канальной части печи. На стр. 174—178 совершенно правильно акцентируется внимание на том, что индукционная печь является самой выгодной для плавки алюминия (наименьший процент угара, наименьший расход энергии и т. д.). Практика эксплуатации этих печей на заводах в последние годы полностью это подтвердила.

Ю. И. Китайгородский отметил, что в разделе «Индукционные печи» освещен большой круг вопросов, касающихся индукционного нагрева. К сожалению, в разделе нет данных по конструированию индукторов с внешней железной цепью.

В гл. 9 дана теория процессов, происходящих при помещении металла в быстропеременное электромагнитное поле. Следует отметить весьма правильный и плодотвор-

ный метод рассмотрения этой задачи с точки зрения общей теории Максвелла. Через вектор Умова-Пойнтинга выводятся основные соотношения о плотности выделения энергии на границе воздух—металл, намечаются основные закономерности, могущие послужить для расчета всех систем индукционного нагрева. Такое стройное изложение сделано в литературе впервые и это следует, безусловно, отметить, как достижение авторов. Можно сделать лишь замечание, что при рассмотрении вопроса о пластине изложение не доведено до конца и не сделаны соответствующие выводы.

Гл. 10 трактует общие вопросы конструирования аппаратуры для индукционного нагрева. Дан оригинальный вывод оптимального соотношения между параметрами печи и параметрами индуктора. Весьма ценна та часть, в которой вводится понятие об эквивалентной схеме индукционного нагрева. В гл. 11 дан полный расчет индукционной печи. Расчет проведен с большей последовательностью и полнотой, чем в других руководствах.

Общая оценка книги может быть только положительная. В такой книге весьма большая нужда. Другие книги по индукционному нагреву (книги Бабата, Вологодина) носят характер монографии. Рецензируемая книга заполняет пробел.

И. Д. Кириченко считает, что объем раздела «Рудно-термические электропечи» (44 страницы основного текста и 4 страницы приложении) далеко недостаточен для полного описания и расчета печей для электротермических процессов и содержание его не может удовлетворить инженеров, специализировавшихся в данной области. Для студентов энергетических и электротехнических институтов, в которых объем курса «Рудно-термические печи» весьма краток (порядка 20 час.) и имеет обзорный характер, объем и содержание рассматриваемого раздела можно считать достаточным.

В прениях по докладу выступали Н. И. Булгаков, Л. Л. Тир, И. М. Лурье, Н. В. Окозов, которые также дали в общем положительную оценку книге.

В резолюции совещания отмечается, что рассмотренный учебник «Электрические промышленные печи» является в основном удовлетворительным и окажется весьма полезным также и для работников промышленности; что вместе с тем книга не свободна от ряда недостатков, указанных рецензентами и в прениях. Учитывая недостаток учебной литературы по электрическим печам, секция считает необходимым издать учебники по электрооборудованию электропечей, по автоматическому регулированию, по проектированию и монтажу электропечных установок. Секция считает также целесообразным составить и издать альбомы конструкций электропечей.

Учебник «Электрические промышленные печи» подвергся в организациях ВНИТОЭ и в рецензии Г. А. Сисояна всестороннему критическому разбору. В результате обсуждения удалось выявить пробелы и ошибки, которые авторы, несомненно, учтут при последующей работе над книгой.



## М. О. Доливо-Добровольский

### К 30-летию со дня смерти

15 ноября 1949 г. исполнилось 30 лет со дня смерти выдающегося русского инженера и одного из пионеров электротехники Михаила Осиповича Доливо-Добровольского — изобретателя системы трехфазного тока, трехфазного асинхронного двигателя и трансформатора, фазометра, трехпроводной системы постоянного тока с индукционной катушкой для среднего провода и др. электрических машин, аппаратов и устройств.

Жизни и деятельности М. О. Доливо-Добровольского посвящен ряд статей в журнале «Электричество»<sup>1</sup> и монография (Госэнергоиздат, 1943), в котором воспроизведены главнейшие оригинальные работы М. О. Доливо-Добровольского.

<sup>1</sup> № 3, 1945 г. и ранее.



## Профессор Л. М. Пиотровский

### К 35-летию научной и педагогической деятельности

Людвиг Марианович Пиотровский родился в г. Ковно 18 января 1886 г. По окончании в 1907 г. гимназии Л. М. Пиотровский поступил на электромеханический факультет Петербургского политехнического института и во время прохождения курса проявил особый интерес к электрическим машинам. В 1914 г. он совершил поездку во Францию и Швейцарию, где ознакомился с рядом электротехнических установок и электрифицированных железных дорог.

В 1912 г. Л. М. Пиотровский выполнил дипломную работу «О расчете однофазных коллекторных двигателей». Извлечение из этой ценной работы объемом свыше 4 печатных листов было опубликовано в «Известиях Политехнического института» за 1914 г. и не потеряло своего значения и интереса до настоящего времени. В этой работе был дан оригинальный метод расчета однофазных коллекторных двигателей, исходя из допустимого значения трансформаторной э. д. с. в короткозамкнутом контуре под щетками, являющейся определяющей величиной для этого типа машин, причем выведенные формулы позволяют оценить влияние на размер машины таких важных факторов, как частота, напряжение, род и тип обмотки и т. д.

В 1913—1914 уч. г. Л. М. Пиотровский после избрания младшим лаборантом электромашинной лаборатории Политехнического института начал свою педагогическую работу в высшей технической школе. В этот период он выпустил литографированное руководство для занятий в лаборатории электрических машин для проходивших эту лабораторию студентов неэлектриков; это пособие выдержало три издания.

С 1916 г. по 1918 г. Л. М. Пиотровский работал по электрооборудованию морской крепости в Ревеле.

Одновременно с преподаванием в Политехническом институте Л. М. Пиотровский вел преподавание по курсам электрических машин в училище комсостава флота (до 1922 г.), в Морском инженерном училище (1922—1923 г.), в Электромеханической академии (1923—1925 гг.), в Морской академии РККА (1923—1939 гг.).

В 1930 г. Л. М. Пиотровский был назначен профессором Ленинградского политехнического института, а в марте 1938 г. после успешной защиты докторской диссертации на тему «Индукционный двигатель с переменными параметрами» был утвержден в ученой степени доктора технических наук.

За время педагогической деятельности в Ленинградском политехническом институте и в других учебных заведениях Л. М. Пиотровским написано по курсу электрических машин несколько учебных пособий, получив-

ших признание и распространение далеко за пределами ЛПИ и сыгравших большую роль в развитии электротехнического образования в СССР.

Л. М. Пиотровский известен в качестве методиста высокой квалификации; в 1936 г. ему было поручено заведывание методическим кабинетом ЛПИ, который под его руководством развернул большую работу. Л. М. Пиотровский разработал методику преподавания курса электрических машин постоянного тока и трансформаторов. Им подготовлено большое число инженеров-электриков и научных работников; из них можно отметить доц. Е. А. Паль, доц. Л. А. Ломоносову, доц. Л. П. Гнедина, проф. Военно-морской академии РККА В. Ю. Горяинову, доц. той же Академии Ф. Б. Семикина и др.

Л. М. Пиотровский является автором значительного количества научных исследований, результаты которых были напечатаны в научно-технических журналах СССР. Основная научно-исследовательская деятельность Л. М. Пиотровского протекала в области разработки экспериментальных и теоретических вопросов динамостроения. Им разработаны также особые методы исследований и дана формула для расчета полей рассеяния, проведенная заводскими исследованиями. Большая группа работ Л. М. Пиотровского посвящена вопросам геометрического места токов асинхронного двигателя.

Обобщающая ряд исследований работа Л. М. Пиотровского была опубликована в журнале «Электричество» (№ 2) в 1946 г.

К числу оригинальных работ Л. М. Пиотровского следует отнести предложенный им способ расчета трансформаторов, изложенный в учебнике «Трансформаторы» издания 1935 г. В основу расчета впервые положена величина э. д. с. на виток, что приводит к простой и стройной системе расчета, наглядно демонстрирующей влияние этого параметра на все характеристики трансформатора.

С мая 1943 г. по июль 1944 г. Л. М. Пиотровский провел большие работы в г. Ташкенте, за которые, по представлению Узбекэнерго, Л. М. Пиотровский был удостоен Почетной грамоты Верховного Совета УзССР.

В Ташкенте Л. М. Пиотровский заведывал кафедрой электрических машин Среднеазиатского индустриального института.

Отмечая 35-летие научной и педагогической деятельности Л. М. Пиотровского, электротехническая общественность страны выражает уверенность, что и в дальнейшем творческая работа Л. М. Пиотровского будет направлена на преданное служение Родине.

*Член-корр. АН СССР, проф. М. П. КОСТЕНКО*



## Профессор Н. Д. Цюрупа

### К 40-летию инженерно-педагогической деятельности и 75-летию со дня рождения

Николай Дмитриевич Цюрупа родился в 1874 г. в г. Алешках Таврической губернии (ныне г. Цюрупинск, Николаевской области). Окончив в 1895 г. реальное училище, он поступил в Московское высшее техническое училище. Уже в этот период Н. Д. Цюрупа участвовал в революционном движении, за что в 1898 г. был арестован и затем сослан.

В 1902 г. Николаю Дмитриевичу, лишенному царским правительством права проживать в университетских городах, удалось выехать за границу; для продолжения образования он поступил в Дармштадтский политехникум. Окончив его в 1908 г., Н. Д. Цюрупа возвратился на родину и начал работать преподавателем физико-математи-

ческих дисциплин в Могилев-Подольском коммерческом училище. Позднее Николай Дмитриевич восстановил связь с МВТУ и окончил его в 1911 г. со званием инженера-механика.

В 1918—1922 гг., не прерывая педагогической деятельности, Н. Д. Цюрупа принимал активное участие в работах городских организаций Могилевского ревкома, а затем исполкома, заведывал отделом промпредприятий Могилевского городского совета и руководил работой местной электростанции.

Получив приглашение на должность заведующего кафедрой электротехники в МХТИ им. Менделеева Николай Дмитриевич в 1922 г. переехал в Москву. Одновременно



он регулярно выезжал на Сталиногорский химический комбинат для проведения консультаций и чтения лекций заводским инженерам и техникам.

В 1932 г. Механическое отделение МХТИ им. Менделеева было превращено в самостоятельный Московский институт химического машиностроения (МИХМ) и в этом институте Николай Дмитриевич возглавил кафедру электротехники. Одновременно он работал на кафедрах электротехники Всесоюзной промакадемии легкой промышленности, Кожевенного института и Заочного института пищевой промышленности. Свою педагогическую деятельность Николай Дмитриевич сочетал с общественной работой, будучи с 1931 г. по 1939 г. депутатом Бауманского районного совета.

В 1935 г. Н. Д. Цюрупа получил звание профессора.

В 1943 г. ему присвоено Верховным Советом РСФСР почетное звание заслуженного деятеля науки и техники. Н. Д. Цюрупа награжден орденом Трудового Красного Знамени и медалями.

В настоящее время Н.Д. Цюрупа продолжает успешно вести подготовку инженерно-технических кадров. Преподавание на его кафедре отличается образцовой постановкой.

Инженерно-педагогическая общественность МИХМ, отмечая 75-летие со дня рождения и 40-летие инженерно-педагогической деятельности Николая Дмитриевича Цюрупы, желает юбиляру доброго здоровья и дальнейшей плодотворной деятельности.

*Доктор техн. наук, проф. С. П. РОЗАНОВ*



## Профессор Ю. С. Чечет

### К 30-летию научно-педагогической деятельности

Юрий Сергеевич Чечет родился в Киеве 1 февраля 1894 г. Среднее образование он получил в гимназии, которую окончил в 1913 г. В 1919 г., пройдя полный курс Киевского политехнического института, Ю. С. Чечет получил звание инженера-механика и начал свою научно-педагогическую деятельность, приступив к преподаванию в Одесском политехническом институте на кафедре гидравлических машин. В 1921 г. Ю. С. Чечет переехал в Москву, где занял должность преподавателя в Московском практическом электротехническом институте.

В связи с особым интересом, проявлявшимся уже в те годы Ю. С. Чечетом к области электромашиностроения, он поступил на электротехнический факультет МВТУ и закончил его в июле 1923 с оставлением ассистентом по курсу электрических машин. Одновременно Ю. С. Чечет состоял ассистентом (а с 1928 г. доцентом) кафедры электрических машин Института народного хозяйства им. Плеханова и научным сотрудником Государственного экспериментального электротехнического института (ГЭЭИ).

В 1930 г., после слияния электротехнического факультета МВТУ и электропромышленного факультета ИНХ им. Плеханова в Московский энергетический институт, Ю. С. Чечет продолжал работать в новом институте в качестве доцента кафедры электрических машин. В том же году он получил кафедру электрических машин во вновь организованном Московском институте механизации и электрификации сельского хозяйства.

В 1937 г. Ю. С. Чечет был утвержден в ученом звании профессора и без защиты диссертации в ученой степени кандидата технических наук. В 1940 г., успешно защитив диссертацию «Теоретические основы проектирования универсальных микродвигателей», Ю. С. Чечет получил ученую степень доктора техн. наук. В 1942 г. Юрий Сергеевич вернулся в МЭИ им. Молотова, в котором продолжает работу как профессор кафедры электрических машин и ныне.

С 1934 по 1937 г. и с 1944 г. по настоящее время Ю. С. Чечет руководит также кафедрой и ведет научно-исследовательскую работу в Военно-инженерной Краснознаменной академии им. Куйбышева.

Одновременно с педагогической деятельностью Ю. С. Чечет выполнял практическую инженерную работу: в 1919 г. в Одесском Губтопе, в 1921 г. в должности на-



чальника Технического отдела Главкустпрома, с 1925 по 1935 г. в Управлении московского губернского электротехника и затем в тресте «Мосстройконсультации» (в этот период Юрий Сергеевич участвовал в большой работе по рационализации электродвигательного хозяйства на ряде крупных промышленных предприятий Москвы и Московской области).

Научно-исследовательская деятельность проф. Ю. С. Чечета в течение многих лет сосредоточена на вопросах теории, проектирования и производственного внедрения микродвигателей (мощностью меньше 500 вт). Значительная экспертная работа в области микродвигателей проводится Юрием Сергеевичем в качестве члена электромашиностроительной секции Техсовета МЭП СССР и консультанта заводов.

С 1938 г. Ю. С. Чечет — член Экспертной электротехнической комиссии ВАК МВО и с 1948 г. — член методической комиссии по электрическим машинам МВО.

За время с 1924 по 1949 г. Ю. С. Чечетом опубликовано 28 научных трудов. Изданные в 1925—1928 гг. четыре книги Ю. С. Чечета, общим объемом 70 печ. л. (расчеты трансформаторов, машины постоянного тока, асинхронные и синхронные), долгое время являлись распространенными пособиями в электротехнических учебных заведениях СССР. В 1928—1931 гг. эти книги были выпущены вторым изданием. Ю. С. Чечету принадлежат переводы с иностранных языков и редактирование ряда фундаментальных книг по теории электрических машин, по тензорному анализу, теории переменных токов и пр. В течение ряда лет Ю. С. Чечет сотрудничает в журнале «Электричество» как автор и рецензент.

В 1931—1934 гг. Ю. С. Чечет был депутатом Московского Совета РК и КД. Общественная деятельность Юрия Сергеевича протекает также в профсоюзных организациях и во ВНИТОЭ (Ю. С. Чечет является зам. председателем секции электрических машин МОНИТОЭ).

Вступая в четвертый десяток научно-педагогической деятельности, профессор Ю. С. Чечет полон творческих идей и планов дальнейшего развития технических проблем, которым он отдает все свои силы.

*Проф. Г. Н. ПЕТРОВ, проф. В. В. МЕШКОВ, доц. Ф. А. ГОРЯИНОВ, инж.-полк. Д. В. Спичин, инж.-полк. К. В. ЗИМНИЦКИЙ, доц. Н. С. КУРБАТОВА*



## К. А. КРУГ. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ.

344 стр., ц. 19 руб. Государственное энергетическое издательство, 1948.

Рецензируемая книга члена-корреспондента Академии наук СССР, проф. К. А. Круга является значительным шагом вперед по сравнению с имевшимися до сих пор в нашей электротехнической литературе книгами по данному вопросу. Следует заметить, что название книги не вполне соответствует ее содержанию: во-первых, в книге не рассматривается физика переходных процессов; во-вторых, в книге рассматриваются не любые линейные уравнения, как можно было бы ожидать по названию книги, а лишь линейные уравнения с постоянными коэффициентами, и, в-третьих, рассматриваются не все существующие методы расчета, а лишь операторный метод. Таким образом, в книге излагается операторный метод расчета переходных процессов в электрических цепях, которые описываются линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Однако, даже эта более ограниченная, область представляет огромный интерес для инженеров-электриков, так как в настоящее время практическая работа выдвигает перед ними большое количество задач, требующих расчета переходных процессов. Вместе с тем, в теории и приложениях операторного метода встречаются большие трудности, и необходимость в создании капитальной монографии по данному вопросу давно уже назрела. До сих пор такой монографии в нашей литературе не существовало, хотя в ряде книг обстоятельно рассмотрены те или иные отдельные вопросы из указанной области. К. А. Круг в своей работе обобщил все лучшее, что имелось в специальной литературе по данному вопросу.

Книга состоит из теоретической части (глава I) и из примеров применения теории (главы II—IV).

Составление первой главы, излагающей сущность метода и его обоснование в сжатой и, вместе с тем, доступной форме, представляло, повидимому, наибольшую трудность при создании монографии.

Известно, что в электротехнической литературе в настоящее время широко используются две совершенно различные трактовки операторного метода.

Первая трактовка дана еще Хевисайдом. Она подкупает кажущейся простотой и потому до сих пор пользуется успехом у ряда инженеров, но базируется на весьма шатких основаниях.

Вторая трактовка, базирующаяся на функциональном преобразовании Карсона-Лапласа, является достаточно строгой в математическом отношении и представляет более широкие возможности с точки зрения применения ее и выполнения вычислений.

В настоящее время все чаще прибегают ко второму методу, что нашло уже отражение даже в учебной литературе: в книгах П. Л. Калантарова по теории переменных токов и в «Основах электротехники» К. А. Круга. Однако наряду с этим, и первая, менее строгая, трактовка операторного исчисления, к сожалению, все еще встречается даже на страницах наших руководящих электротехнических журналов. Поэтому следует признать удачным решение автора отразить в монографии обе трактовки, сделав главный упор на второй.

Однако, мало удачно то, что, излагая первую трактовку (глава I, § 2), автор переплетает ее изложение с современной трактовкой и пользуется ее терминологией и понятиями. Это не может способствовать четкому усвоению читателями существенного различия между двумя указанными трактовками. Дело в том, что в трактовке Хевисайда в одном и том же выражении встречаются и функции времени  $f(t)$  и операторы  $F(p)$ , причем опера-

тор  $F(p)$ , стоящий перед функцией времени  $f(t)$ , показывает, что над ней должна быть произведена некоторая операция, превращающая ее в другую функцию времени. В современной трактовке каждому уравнению, содержащему функции времени (уравнению оригиналов), соответствует уравнение, содержащее только функции оператора  $p$  (уравнение изображений), где  $p$  является не оператором, а обыкновенным комплексным числом. В современной трактовке наличие функций времени  $f(t)$  и функций  $F(p)$  в одном уравнении невозможно. Таким образом, указанные две трактовки операторного метода принципиально различны и смешение их совершенно недопустимо.

Давая обоснование современной трактовке операторного метода, автор принял удачное решение, не выходя за рамки элементарного изложения, ввести читателя в круг вопросов, тесно связанных с обоснованием операторного метода, а именно: с двойными интегралами Фурье и элементами теории функций комплексного переменного — в частности, контурных интегралов и интегральных вычетов. Однако, путь изложения представляется не вполне стройным и последовательным. Лучше получить из вывода интеграла Фурье взаимно-однозначную трансформацию Фурье, а затем связать эту трансформацию с трансформацией Лапласа-Карсона. В рецензируемой же книге интеграл Карсона и интеграл Бромвича выводятся независимыми путями, в результате чего основная идея взаимно-однозначной трансформации может ускользнуть из поля зрения читателя.

Весьма уместно введены в книгу несколько параграфов по теории функций комплексного переменного, где кратко и ясно отображены основные положения, необходимые для дальнейшего изложения.

Однако недостатком в изложении элементов теории функций комплексного переменного является то, что один из важных вопросов этой теории — вопрос об особых точках — не нашел должного отражения, особенно неудачно определение полюса (стр. 42):

«Если в особой точке функция  $f(z)$  превращается в бесконечность, но если при этом  $f'(z)$  остается регулярной, то такая точка называется полюсом функции  $f(z)$ ».

С подобным определением никак нельзя согласиться и даже приведенный в книге пример с функцией  $f(z) = \frac{1}{z^2}$  противоречит этому определению, а не подтверждает его.

На стр. 41 автор применяет термин из теории и комплексного переменного — «точка разветвления», — хотя в предыдущем тексте определение точки разветвления не дано.

Удачно собраны вместе, в определенной последовательности, все основные теоремы символических преобразований. Дан богатый материал по изображению ступенчатых кривых на основе теоремы запаздывания; широко представлены символические соотношения с бесселевыми функциями и гауссовым интегралом ошибок. Излагая теорему разложения, автор не ограничивается замечанием о неприменимости ее при наличии кратных корней, как, к сожалению, делают другие авторы, а показывает, как поступать в подобных случаях (стр. 21 и 43).

Стремясь к наибольшей полноте изложения, автор приводит даже приближенный метод нахождения оригинала по изображению. Однако, в книге не дана операторная формулировка законов Кирхгофа и вообще автор детально излагая операторное решение дифференциальных уравнений, недостаточно останавливается на методе непосредственного составления операторных уравнений.



В ряде мест наблюдаются неточности в изложении, шероховатости в терминологии, формулировках и определениях. Например, на стр. 49 встречается неудачное выражение: «Функция может быть преобразована в дробь». Приведение комплексного числа в алгебраической форме автор называет представлением числа в виде комплекса (стр. 25 и др.). На стр. 27 встречается мало понятный термин: «интегралы дробных порядков». На стр. 28 встречается мало понятное выражение «некоторую комплексную величину, определяющую в своем течении путь интегрирования».

Не оговорено, что интеграл Фурье применим лишь к функциям, абсолютно интегрируемым в пределах от  $(-\infty)$  до  $(+\infty)$ , а отсюда и неясно, почему, применяя этот интеграл, автор вместо единичной функции рассматривает сначала функцию  $e^{-\beta t} \cdot 1$ . На стр. 12—14 автор требует, чтобы интегрирование начиналось не от  $t=0$ , а на бесконечно малый промежуток времени раньше; чем вызывается это требование — неясно. На стр. 19 автор утверждает, что члены, содержащие целые степени  $p$ , можно отбросить, так как они равны нулю. Это справедливо лишь при  $t > 0$ , а при  $t=0$  неверно. Следуя Хевисайду, можно написать:

$$p \cdot 1 = 0 \quad \text{при } t > 0,$$

$$p \cdot 1 = \infty \quad \text{при } t = 0.$$

Например, при включении конденсатора на постоянное напряжение, пренебрегая сопротивлением контура и индуктивностью, можно получить:

$$\frac{1}{pC} \cdot t = U \cdot 1. \quad t = pCU \cdot 1;$$

$$\begin{aligned} t &= \infty & \text{при } t=0, \\ t &= 0 & \text{при } t>0, \end{aligned}$$

следовательно, в момент  $t=0$  потечет бесконечно большой ток и конденсатор мгновенно зарядится, что физически надлежит понимать следующим образом: при безграничном уменьшении сопротивления контура время зарядки конденсатора безгранично убывает, а зарядный ток безгранично возрастает.

Автор утверждает (стр. 11—12), что токи в участках с индуктивностью, если энергия в них до включения отсутствовала, должны нарастать с нуля. Это справедливо, но не во всех случаях. Могут быть идеализированные схемы, в которых в участках с индуктивностью ток делает скачок, но магнитная энергия скачка не совершает; например, это имеет место при включении короткозамкнутого воздушного трансформатора без рассеяния.

В формуле (2,2) дан неопределенный интеграл, а должен быть интеграл в пределах от нуля до  $t$ . На стр. 17 автор пишет о возможности преобразования схем при переходных процессах, но не отмечает, что это лишь формальный прием, не упрощающий уравнения, так, например, объединяя две параллельные цепи с активными сопротивлениями и индуктивностями, можно заменить их одним сопротивлением:

$$z(p) = \frac{(L_1 p + r_1)(L_2 p + r_2)}{(L_1 p + r_1) + (L_2 p + r_2)},$$

но от этого уравнения не станут проще.

На стр. 29—30 сказано: «Если требуется разложить какую-нибудь функцию в тригонометрический ряд, то разложение в ряд Фурье дает на данном интервале решение, наиболее близкое к действительным значениям функции, чем какое-нибудь другое разложение». Повидимому, речь идет здесь о том, что сумма некоторого количества членов ряда Фурье дает значения, более близкие к заданной функции, чем сумма такого же количества чле-

нов другого тригонометрического ряда. Вряд ли это будет справедливо по отношению, например, к такой функции:

$$A \sin \omega t + B \sin \sqrt{2} \omega t,$$

которая выражается точно двумя тригонометрическими членами, а для точного выражения ее рядом Фурье понадобилось бы бесконечное количество членов.

В тексте нет ссылок на первоисточники, в которых можно найти более полное изложение того или иного места, которое может быть не понято читателем или по которому читатель желает найти более полный материал. Также отсутствует в книге критический обзор литературы по операторному методу. В конце книги приведена достаточно полная таблица операторных соотношений, хотя и не исчерпывающая всех указанных в книге источников.

Переходя к рассмотрению приложений, можно с уверенностью сказать, что книга дает богатейший материал в виде собрания разнообразнейших примеров из различных областей электротехники. Эти примеры распределены на три главы (II, III, IV). В главе II рассмотрены примеры, относящиеся к цепям с сосредоточенными и постоянными; в главе III — к цепям с распределенными постоянными и в главе IV — к цепным схемам.

Примеры, приведенные в монографии, были прежде рассеяны по различным книгам и журналам и далеко не всегда были доступны рядовому читателю. Собрание единого, систематизация и методическая переработка этих примеров представляют, несомненно, большую заслугу автора книги.

Среди примеров наряду с более сложными имеется также ряд более элементарных, перенесенных сюда из книги того же автора «Основы электротехники», что может облегчить начинающим работу над книгой.

При достаточной полноте математического решения примеров не всегда достаточно полно описывается физическая сторона вопроса и ограничения, при которых справедливо приведенное решение. Например, в § 27 ничего не сказано о длине сердечника и катушки, а также об искажении поля на концах; не сказано ни слова о пренебрежении непостоянством магнитной проницаемости. В § 34 молчаливо предполагается, что нагрузочный момент не зависит от скорости вращения, что имеет место далеко не всегда. В задачах о безиндукционном кабеле удачно проведена аналогия с соответствующими задачами из области распространения тепла, так как в электротехнике наряду с электрическими и электромеханическими задачами очень часто встречаются задачи тепловые. В ряде случаев автор прибегает к интегральным вычислениям там, где попросту можно применить теорему разложения; может быть этот прием преследует чисто педагогические цели, но и в таком случае лучше было бы для сравнения привести оба пути. Параграф 33 о мгновенных изменениях параметров цепи лучше было бы перенести в теоретическую часть книги.

Очень жаль, что в книге нет ни одного примера из области переходных электромагнитных процессов в синхронных и асинхронных машинах при постоянной скорости вращения, которые имеют огромное практическое значение и, как известно, при некоторых допустимых ограничениях приводятся к линейным дифференциальным уравнениям с постоянными коэффициентами.

Следует отметить весьма хорошее полиграфическое оформление книги: четкий шрифт, ясные рисунки, четкие формулы. Это особенно важно в такой трудной для набора книге. Корректурa проведена недостаточно тщательно — в тексте встречаются ошибки, не попавшие в список опечаток.

В заключение можно сказать, что, несмотря на отмеченные недостатки, читатели данной книги найдут в ней богатейший материал как в части теоретической, так и в части приложений, и книга К. А. Круга, безусловно, уже принесла и принесет большую пользу.

**Кандидат техн. наук, доц. А. А. ЯНКО-ТРИНИЦКИЙ**  
Зав. кафедрой теоретической электротехники Уральского политехнического института.

## Г. И. АТАБЕКОВ. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СЕТЕЙ.

424 стр., ц. 20 р. 50 к. Госэнергоиздат, 1949.

Релейная защита является одной из молодых и интенсивно развивающихся отраслей электротехники. По релейной защите нет еще ни капитальных сочинений, ни учебной литературы, отвечающей в достаточной мере современному состоянию техники. Этот пробел частично могут и должны восполнить монографии, в которых излагаются результаты разработки и решения отдельных вопросов по проектированию соответствующих устройств и анализируется опыт их эксплуатации. Такого рода монографии должны удовлетворять двум основным требованиям: во-первых, вопросы, рассматриваемые в этих монографиях, должны быть актуальными и, во-вторых, характер изложения материала должен быть рассчитан на возможно более широкий круг специалистов.

Рецензируемая книга, представляющая собой монографию по релейной защите высоковольтных сетей, в основном удовлетворяет этим требованиям. Весьма ценно то обстоятельство, что автор монографии сам плодотворно работает в области релейной защиты. Книга содержит серию работ, посвященных вопросам, представляющим несомненный интерес и, вместе с тем, нашедшим отражение лишь в журнальной литературе.

Книга состоит из десяти глав. В первой главе излагаются основы современных методов анализа переходных процессов в линейных электрических цепях. Наличие в книге по релейной защите такой главы, безусловно, оправдано. В § 1,5 «Применение комплексных схем замещения для расчета переходных процессов при несимметричных коротких замыканиях» автор рассматривает вопрос о возможности применения для исследования переходных процессов метода симметричных составляющих в сочетании с операторным методом; автор правильно решает этот важный вопрос, но, по нашему мнению, следовало бы более обстоятельно и строго обосновать это решение и более подробно остановиться на методике соответствующих расчетов.

Вторая глава книги посвящена весьма существенному вопросу техники релейной защиты — переходным процессам во вторичных цепях трансформаторов тока. Работа современных быстродействующих защит линий электропередачи в значительной мере зависит от точности воспроизведения трансформаторами тока амплитуды и фазы линейных токов в течение первых периодов после момента к. з. В этой главе дан исчерпывающий обзор и критическая оценка работ, выполненных у нас и за границей по переходным процессам в трансформаторах тока. В своих выводах автор правильно оценивает роль и влияние предшествующего режима работы и остаточного намагничивания на поведение трансформаторов тока при переходных процессах. К сожалению, совершенно не затронут вопрос о переходных процессах в трансформаторах тока в различных схемах релейной защиты, а рассмотрение ограничено лишь случаем одиночно работающего трансформатора.

Третья глава посвящена органам направления мощности. Почти все современные сколько-нибудь сложные схемы защиты линий передачи обязательно содержат реле мощности. Поэтому наличие в рецензируемой книге главы, в которой дан обстоятельный анализ различных схем включения реле мощности, представляется вполне правильным.

В четвертой главе, наиболее обширной из всех (108 страниц из 424), рассматривается вопрос о дистанционных защитах. Здесь дан подробный и исчерпывающий анализ различных схем включения омметров и исследовано влияние различных факторов на работу дистанционной защиты. В связи с развитием и внедрением в практику различных высокочастотных защит дистанционной защите постепенно отводится роль резервной защиты. Поэтому большой объем этой главы не представляется нам вполне оправданным, тем более, что и ее содержание отличается новизной. Значительный практический интерес представляет весьма подробное рассмотрение упрощенных малорелейных схем, возникших

в связи с изменившейся ролью дистанционной защиты. Влияние дуги на работу дистанционной защиты, токовая компенсация, компенсация напряжения и т. п. могли быть изложены в сокращенном виде.

Пятая глава посвящена вопросу о предотвращении неправильного действия защиты при качаниях. В этой главе дан краткий анализ выражений величин, измеряемых омметрами и органами направления мощности, а также поведения последних при качаниях. Рассмотрены также современные принципы и схемы блокировки защит для предотвращения их неправильного действия при качаниях.

Шестая глава, в которой рассмотрены фильтры симметричных составляющих, является одной из немногочисленных работ, где с исчерпывающей полнотой и в систематизированном виде изложены вопросы теории и расчета этих фильтров. Особо следует отметить данную здесь методику расчета фильтров и фильтрующих схем, которая представляет значительный практический интерес, так как фильтры симметричных составляющих обычно изготавливаются силами работников энергосистемы. Применение автором метода дуальных цепей для преобразования фильтров напряжения в фильтры тока желательно было бы сопроводить достаточно подробным изложением основ этого метода, так как он обычно не рассматривается в общих курсах.

Седьмая и восьмая главы относятся к дифференциально-фазным и направленным высокочастотным защитами. В этих двух главах с необходимой полнотой описаны различные схемы высокочастотных защит и дана их критическая оценка. В девятой главе достаточно подробно рассмотрена весьма актуальная проблема защиты длинных и сильно нагруженных линий электропередачи, а десятая глава посвящена защите шин.

Книга снабжена большим количеством хорошо выполненных чертежей и рисунков. Написана она хорошим языком. Однако, в этом отношении необходимо сделать несколько замечаний. Нельзя вместо термина «индуктивность» пользоваться термином «самоиндукция» (стр. 56). Совершенно нежелательно, по нашему мнению, применять термин «замер». Между тем, автор очень часто пользуется этим термином (и даже термином «замерять») и притом применяет его в самых различных смыслах: и в смысле «измерение», и в смысле «результат измерения» и даже в смысле «величина» или «значение». Во многих формулах второй главы имеется излишний множитель  $10^{-6}$ ; этот множитель можно вводить в формулы только в тех случаях, когда предполагается, что различные величины измеряются единицами различных систем и когда, кроме того, указано, в каких именно единицах измеряется каждая из величин.

Переходя к общей оценке книги, необходимо отметить, что она является собранием соответствующим образом обработанных обширных и интересных теоретических и экспериментальных исследований по различным вопросам релейной защиты высоковольтных сетей. Изложение материала отличается ясностью и высоким научным уровнем. В книге весьма полно отражена ведущая роль советских ученых и инженеров в разработке проблем релейной защиты и вся книга основана на достижениях советской техники релейной защиты. Отмеченные выше недочеты ни в коей мере не должны повлиять на положительную оценку книги, которая, несомненно, принесет значительную пользу инженерно-техническим работникам, имеющим отношение к области релейной защиты. Вместе с тем, эта монография явится хорошим учебным пособием для студентов старших курсов соответствующих специальностей при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Доктор техн. наук, проф. П. Л. КАЛАНТАРОВ

Кандидат техн. наук, доц. Я. Л. РУЗИН

Ленинградский политехнический институт им. Калинина



# Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

(Издания 1949 г.)

\* Дроздов Н. Г. СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. 175 стр., ц. 7 руб. Госэнергоиздат.

Зисман Г. А. МИР АТОМА. (Научно-популярная библиотека.) 65 стр., ц. 1 р. 10 к. Гостехиздат.

\* Костенко М. П. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ. Специальная часть. Допущено в качестве учебного пособия для энергетических и электротехнических вузов и факультетов. 712 стр., ц. 35 р. 25 к. Отдельный выпуск: «Основная литература» (1165 названий), 38 стр., бесплатно. Госэнергоиздат.

Кузнецов П. В., Кондакчан В. С. СПРАВОЧНИК ПО МОНТАЖУ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ. 588 стр., ц. 40 руб. Госэнергоиздат.

Справочник рассчитан на технический персонал, работающий в области монтажа электрооборудования распределительных устройств, производителей работ, мастеров и руководителей монтажных участков, имеющих электротехническое образование. Приведены основные технические условия и указания по технологии монтажа и испытаниям электрооборудования, а также допуски на выполняемые монтажные операции. Описано составление вспомогательных материалов (клея, замазки, покрытия, припой и т. п.); даны чертежи вспомогательных монтажных приспособлений. В основу книги положены руководящие указания и инструкции МЭС, производственные инструкции и обобщенный опыт монтажных организаций, заводские инструкции, ГОСТ. Все содержание книги разбито на пять разделов: Первый раздел (4 главы) — общетехнические и электротехнические сведения, сведения по электромонтажным и строительным материалам. Второй раздел (16 глав) — сведения по технологии монтажа оборудования первичных схем соединения и технические условия на выполнение отдельных операций. Третий раздел (8 глав) — сведения по монтажу оборудования вторичных схем соединений: щитов, приборов измерения и защиты, аккумуляторных батарей. Четвертый раздел (9 глав) — проведение испытаний и наладки электрооборудования во время производства монтажных работ и при сдаче в эксплуатацию. Пятый раздел (3 главы) — сведения по основным вопросам организации и подготовки работ по механизации и рационализации монтажных процессов и по приспособлениям для тяжелых работ. В конце книги помещен подробный алфавитный указатель.

Крылов Н. И. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ РАДИОПРИЕМНИКОВ. 370 стр., ц. 21 руб. Связьиздат.

Курсин Ф. К. ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ. 296 стр., ц. 11 руб. Госэнергоиздат.

Кутмир Ю. М. ОКНО В НЕВИДИМОЕ (электронный микроскоп). Научно-популярная библиотека. 54 стр., ц. 1 р. 20 к. Латгосиздат (на латышском языке).

ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. Современные проблемы науки и техники. 174 стр., ц. 7 руб. Изд-во «Молодая гвардия».

Сборник содержит лекции: С. И. Вавилова «Ленин и современная физика», А. Н. Алеханова «Космические лучи», А. Ф. Капустинского «Атомная энергия», А. И. Берга «Радиоактивность», А. И. Милутина «Реактивная техника», В. И. Коваленкова «Автоматика и телемеханика», А. Б. Чернышева «Новые способы переработки твердого топлива» и Г. М. Кржижановского «Энергетика и ее будущее».

\* Мансуров Н. Н., Попов В. С. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. Изд. 2-е, заново переработанное. Допущено в качестве учебника для техникумов электротехнических специальностей. 488 стр., ц. 16 р. 60 к. Госэнергоиздат.

Охотников В. Д. В МИРЕ ЗАСТЫВШИХ ЗВУКОВ. (Научно-популярная библиотека.) 36 стр., ц. 1 руб. Латгосиздат (на латышском языке).

\* Звездочкой отмечены книги, по которым предполагается опубликование рецензий.

Охотников В. Д. МАГНИТЫ. (Научно-популярная библиотека.) 32 стр., ц. 60 коп. Гостехиздат.

\* Попов В. С. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. Изд. 2-е, заново переработанное. Допущено в качестве учебника для неэлектротехнических техникумов. 496 стр., ц. 15 руб. Госэнергоиздат.

РЕЗОЛЮЦИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СЕССИИ ПО ПЕРЕНАПРАВЛЕНИЯМ 21—26 марта 1949 г. (ВНИТОЭ и МЭС СССР). 8 стр., бесплатно. Изд. ВНИТОЭ.

Рышковский И. Я. ТЯГОВЫЕ ПОДСТАЧКИ. Допущено в качестве учебного пособия для транспортных вузов. 374 стр., ц. 18 руб. Трансжелдориздат.

Селья-Бекман Я. Я. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. 47 стр., ц. 80 коп. Новосибирское обл. изд-во (1948).

Популярная брошюра, содержащая основные сведения об электричестве, написана и отредактирована весьма небрежно. В брошюре много неудачных мест и прямых ошибок. Совершенно недостаточно освещено значение работ русских ученых и изобретателей в истории развития электротехники.

Стекольников И. С. МОЛНИЯ И ГРОМ. (Научно-популярная библиотека.) 36 стр., ц. 1 руб. Латгосиздат (на латышском языке).

ТЕМАТИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАТОРОВ И ИЗОБРЕТАТЕЛЕЙ (МЭП. Завод «Электропровод»). 23 стр., бесплатно. ЦБТИ МЭП.

ТЕМЫ ДЛЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЕЙ И РАЦИОНАЛИЗАТОРОВ ПО ХОЗЯЙСТВУ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (МПС. Главное управление электрификации железных дорог). 40 стр., бесплатно. Трансжелдориздат.

ТРУДЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СЕССИИ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ. (ВНИТОЭ). 203 стр., подписное издание. Госэнергоиздат.

Сборник содержит прочитанные на Всесоюзной научно-технической сессии по электрической изоляции (XXX Пленум Всесоюзного бюро электрической изоляции) доклады: П. П. Кобеко и Г. П. Михайлова «Диэлектрические потери и строение твердых диэлектриков», М. М. Михайлова и Т. И. Дьяченко «Влияние влаги на электрические свойства органических изолирующих материалов», Я. И. Френкеля «Современные представления о природе диэлектриков», Г. И. Скавани «Вещества с высокой и сверхвысокой диэлектрической проницаемостью», В. И. Калитвянского «Новые типы изоляции электрических машин», Б. М. Тареева «Стекланная изоляция и ее применение в электротехнике», В. Т. Ревне «Развитие современного конденсаторостроения», С. М. Брагина «Изолирующие материалы проводов и кабелей», Н. П. Богородицкого «Керамическая изоляция в электротехнике», М. В. Куркина «Трансформаторное масло и его заменители», В. И. Калитвянского и В. М. Дегтева «Технологическое применение высокой частоты для нагрева и сушки диэлектриков» и Р. С. Холодовской «О методе сушки инфракрасным излучением».

УЧЕБНОЕ РУКОВОДСТВО ДЛЯ ВОДИТЕЛЕЙ ТРАМВАЯ. 231 стр., ц. 12 руб. Производственно-технический комбинат Управления московского трамвая.

Книга является коллективным трудом П. В. Калинин, И. А. Нелидова, М. П. Ермолаева и Е. Б. Либина под редакцией главного инженера Управления московского трамвая С. С. Тихомирова. Книга одобрена Методическим советом Управления московского трамвая. В первом разделе книги приводятся краткие сведения из истории городского транспорта Москвы. Второй раздел посвящается хозяйству московского трамвая, в нем рассматриваются подвижной состав, депо и заводы, трамвайные пути, электрохозяйство. Третий раздел посвящен специально подвижному составу, четвертый — работе водителя в депо и на линии, пятый — организации движения, шестой — диспетчерскому руководству движения поездов. Седьмой раздел рассматривает технику безопасности при работе водителя в депо и на линии. В восьмом разделе рассматриваются правила уличного движения.



# Указатель материалов, помещенных в журнале „Электричество“ в 1949 г.

## 1. Тематический указатель

Авторы и название материалов	№ жур-нала	Стр.	Авторы и название материалов	№ жур-нала	Стр.
<b>I. ФИЗИЧЕСКИЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ</b>			<b>II. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ</b>		
Статьи и авторефераты			Статьи и авторефераты		
Адоин Г. Т. — К методу расчета сложных несимметричных режимов	8	29	Вавилов С. И. — Наука и социалистическое производство	8	3
Атабеков Г. И. и Мимикония Л. Г. — Применение комплексных схем замещения для расчета переходных процессов	4	67	Кржижановский Г. М. — Историческая победа Ленинско-Сталинского учения об электрификации	12	3
Бессонов Л. А. — Критические условия при феррорезонансе наприжений	2	61	Поливанов К. М. — О коэффициенте полезного действия передачи энергии через четырехполюсник	12	42
Бессонов Л. А. — Аналитический расчет электрических цепей с учетом гистерезиса	3	47	Дискуссия		
Боголюбов В. Е. — Квазирезонансные колебания в феррорезонансных цепях с подмагничиванием	6	42	По теме «Правила устройства электротехнических установок»	12	78
Борчанинов Г. С. — Устойчивость горения дуги переменного тока	9	64	Заметки и письма		
Бронштейн А. М. — Сопротивление дугового промежутка в процессе восстановления напряжения на нем	4	59	Ермолаева Т. Т. — Об учебнике по электрооборудованию для заводов цветной металлургии	2	85
Говорков В. А. — Расчет электрических и магнитных полей по методу потенциальной сетки	3	52	Золотарев О. И. — Технические термины должны быть точными	9	86
Золотарев О. И. — К вопросу о поверхностном эффекте	2	59	Хроника		
Казовский Е. Я. — Переходные процессы при включении напряжения с изменяющейся частотой	11	33	Опыт творческого содружества ученых и производственников	9	87
Калантаров П. Л. и Нейман Л. Р. — Определения понятий, относящихся к области электромагнитных явлений	2	16	Библиография		
Капцов Н. А. — Физика электрических разрядов в газах и высоком вакууме	1	17	Петров И. И. — «Справочник по электромонтажным работам»	7	89
Карасев Р. И. — Теория открытой электрической дуги большой мощности	10	14	Подольский Л. П. — Книга А. Д. Каплана «Поражение электрическим током и молнией»	7	90
Карасев В. А. — Моделирование вихревого магнитного поля	5	20	Подольский Л. П. и Соколов П. Ф. — Книга В. И. Королькова и Я. К. Гозовского «Техника безопасности в электроустановках»	10	91
Котова Л. Ф. — Применение матричного исчисления к активному линейному четырехполюснику	8	67	<b>III. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, СТАНЦИИ, СЕТИ И ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ</b>		
Кухаркин Е. С. — О олабросе времени разряда длинных стержневых промежутков	5	69	Статьи и авторефераты		
Ливоваров С. П. — Высшие гармоники в электрической цепи, содержащей индуктивность с железом и емкостью	8	38	Бабиков М. А. и Комаров П. С. — Применение дифференциальных уравнений длинных линий к расчету протяженных заземлителей	5	29
Попков В. И. — К теории униполярной короны постоянного тока	1	33	Беляков А. П. — Расчетные соотношения к определению величин емкости и сопротивления растеканию тока между электродами, находящимися в неоднородных средах	5	71
Сканави Г. И. и Нейман Л. Р. — Стабилизация напряжения с применением конденсаторов из титаната бария	7	43	Брук И. С., Маркович И. М., Горюшкин В. И. и Совалов С. А. — Автоматическое распределение активных нагрузок в электроэнергетической системе	9	3
Соколов Н. И. — Построение и применение комплексных схем замещения при сложных несимметричных цепях	8	21	Глазунов А. А. — Пути технического развития и реконструкции электрических сетей больших городов Советского Союза	10	3
Цыпкин Я. З. — Непериодические электрические цепи с переменным и нелинейными параметрами	8	35	Горбатов Н. М. — Расчет токов и напряжений при коротких замыканиях с одновременным обрывом фазы	7	58
Чайнов Г. А. — О зависимости коэффициентов отдачи мощности двух произвольно выбранных точек электрической цепи	12	45	Грибанов М. И. и Никогосов С. Н. — Выбор оптимального напряжения для электроснабжения промышленных предприятий крупных городов	3	3
Дискуссия			Двоскин Л. И. — Технико-экономические сравнения открытых и закрытых распределительных устройств 110 и 15 кВ	12	53
К статье М. Ф. Маликова «О введении в СССР абсолютных электрических и магнитных единиц» и П. Л. Калантаров «О системах единиц измерения электрических и магнитных величин» («Электричество», № 1, 1948)	1	59	Долгинов А. И. — Волновые характеристики линии при высоких напряжениях	9	39
К статье П. Л. Калантарова и Л. Р. Неймана «Определения понятий, относящихся к области электромагнитных явлений» («Электричество», № 2, 1949)	12	76	Долгинов А. И. — Индуцированные напряжения на линиях электропередачи	10	19
Заметки и письма			Долгинов А. И. — Расхождение импульсного тока в дисковом заземлителе	11	62
Алексеев А. Е. — О новой системе единиц измерения электромагнитных величин.	2	85	Зайцев А. И. и Кутявин И. Д. — Расчет линий высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой	9	51
Библиография			Кустовский Г. Г. — Расчет замкнутых сетей со стальными проводами	3	10
Воллерьер Н. Ф. и Лоев Е. Г. — Книга Н. Н. Махова «Курс электротехники и радиотехники»	7	93	Куценко В. А. и Замятин И. М. — Роль регулирующей гидростанции в обеспечении резерва для теплоэнергетической системы	3	67
Зубков П. И. — Книга Г. Ольсона «Динамические аналогии»	3	94	Осеян А. М. — Карбидные и ферросплавные электропечи как потребители сезонной гидроэнергии	8	59
Капцов Н. А. — Книга Л. А. Сена «Столкновения электронов и ионов с атомами газа»	9	92	Разевиг Д. В. и Розенфельд А. С. — Расчет электростатической составляющей индуцированных перенапряжений	12	31
Лурье А. Г. и Зайцев И. А. — Задачник по теоретическим основам электротехники	4	91	Розанов Г. М. — Расчет расщепленных проводов линий 400 кВ	6	5
Страхов С. В. — Книга Г. Г. Скиллинга «Введение в теорию электромагнитных волн»	2	94	Сыромятников И. А. — Вопросы эксплуатации электрической изоляции и требования к поставщикам изоляции	2	32
Янко-Трипицкий А. А. — Книга К. А. Круга «Переходные процессы в линейных электрических цепях»	12	87	Тер-Газарян Г. Н. — Экспериментальное исследование динамических перенапряжений	7	60

Авторы и название материалов	№ жур-нала	Стр.	Авторы и название материалов	№ жур-нала	Стр.
Чалидзе Н. М., Златев Н. А. и Варьян Ю. А. — К вопросу о схемах коммутации крупных гидроэлектростанций	11	44	Медунов В. К. — Аналитический расчет характеристики асинхронного двигателя при динамическом торможении	8	50
Чернин А. Б. — Действие избирательного органа минимального напряжения на приемном конце линии с односторонним питанием при однофазном отключении и АПВ	1	49	Никитин В. П. и Кузяцкий П. П. — Оптимальный переходный процесс потока шунтового двигателя при регулировании скорости выше основной	5	59
Обзоры и рефераты			Оркина Б. Г. — Температурные напряжения в роторных стержнях двигателей с глубоким пазом	9	32
Бахчев М. С. — Регулирование напряжения последовательно включенными конденсаторами	9	78	Полевой В. А. — Схемы замещения трансформаторов с расщепленными обмотками	10	59
Гершенштейн И. Г. — Основные тенденции в развитии городских электрических сетей за рубежом	8	69	Пухов Г. Е. — Об устойчивости установившегося режима сериесного синхронного компенсатора	5	65
* Буткевич Ю. В. — Отключение цепей высокого напряжения	2	60	Саловский И. М. — Электродинамика коллекторных электрических машин	4	13
* Глазунов А. А. — Механическая часть воздушных линий силового тока	2	76	Сапонов Н. А. — Переходные явления при пуске короткозамкнутых электродвигателей	12	10
* Жданов П. С. — Передача электроэнергии на большие расстояния	2	72	Сапожников А. В. — Изоляция сухих трансформаторов	3	73
* По материалам Международной конференции по электрическим системам. Париж, 1948 г.			Сиунов Н. С. — К вопросу рационального проектирования крупных тихоходных электрических машин	3	70
Дискуссии			Чечет Ю. С. — Расчет вспомогательной обмотки однофазных асинхронных микродвигателей	2	48
К статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского «Экономически целесообразная шкала стандартных напряжений в диапазоне 10—220 кВ» (Электричество, № 11, 1948)	5	79	Шерман Г. И. — Определение эксплуатационных характеристик синхронных генераторов с учетом насыщения	5	61
Хроника	6	74	Шильднер Л. М. — Экспериментальное исследование размагничивающего действия реакции якоря	6	54
Всесоюзная научно-техническая сессия по вопросам электроснабжения промышленных предприятий	4	82	Шильднер Л. М. — Аналитический метод учета размагничивающего действия поперечной реакции якоря при больших перегрузках	10	46
Из опыта работы			Обзоры и рефераты		
Лившиц Д. С. — Расчетные нагрузки электросетей	12	60	Сапожников А. В. и Шинцер Л. М. — Стандарты на трансформаторы в зарубежных странах и ГОСТ	9	74
Библиография			В. ЭЛЕКТРОПРИВОД		
Веников В. А. — Книга И. М. Марковича «Токи короткого замыкания и устойчивость параллельной работы электрических систем»	2	93	Статьи и авторефераты		
Волоцкий Н. В. — Книга Б. Л. Айзенберга «Замкнутая электрическая сеть без сетевых автоматов»	8	94	Барский С. З. — Шахтная подъемная машина с нонным приводом	4	29
Городский Д. А. — Книга П. С. Жданова «Устойчивость электрических систем»	5	92	Булгаков А. А. — Теория работы нонного электропривода в области прерывистых токов	3	13
Мельников Н. А. — Книга С. А. Ульянова «Короткие замыкания в электрических системах»	9	93	Дружинин Н. Н. — Исследование электромеханических процессов электропривода с упругой связью	3	21
Пиотровский Л. М. — Книга Н. А. Поляка «Нормальные режимы работы турбогенераторов»	2	91	Касьянов В. Т. — Асинхронная машина при переменной частоте	2	33
IV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТРАНСФОРМАТОРЫ			Коновалов Н. И. — Новый способ построения характеристик к. п. д. асинхронных двигателей	1	55
Статьи и авторефераты			Мееров М. И. — Исследование системы регулирования и управления двигателя реверсивного прокатного стана с электромагнитными регуляторами	7	16
Алабьев М. И. — Определение реакции коммутационных токов в машинах постоянного тока	4	19	Морозов Д. И. и Дружинин Н. Н. — Теория переходных процессов электропривода с упругой связью при переменном радиусе натяжения	11	20
Андрянов В. Н. — Устойчивость синхронного генератора при работе от ветродвигателя на мощную сеть	10	16	Рубцов П. А. — Электропривод молочных сепараторов	5	14
Аронов Р. Л. — Проектирование пусковой диаграммы	10	42	Савастеев В. Г. — Переходные процессы нонного электропривода	11	26
Балагуров В. А. — Последовательный конденсатор во вторичной цепи магнето	10	64	Дискуссии		
Балыгин И. Е. — Поведение плавких предохранителей при ударных токах большой силы	4	70	К статье Б. М. Яковлева «Спрямоляющее число в расчетах электроприводов» (Электричество, № 6, 1947)	7	80
Белыев И. В. — Зависимость скольжения асинхронного двигателя от напряжения	4	69	Библиография		
Вольдек А. И. — Индукционный регулятор с соединением обмоток статора и ротора в общий треугольник	7	55	Петров И. И., Петров В. И., Гейлер Л. Б., Снайский М. М. и Лейбович Е. А. — О книге А. Г. Меклер «Электропривод крановых механизмов»	4	92
Голубев Д. В. — Выбор наилучшего воздушного зазора в магнитной цепи катушки	5	39	Ринкевич С. А. — О книге А. Т. Голован «Электропривод. Теоретические основы»	6	91
Ермолин Н. П. — Расчет ампервитков токов коммутации в машинах постоянного тока	3	19	VI. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА		
Иоффе А. Б. — О нагреве закрытых неветилируемых электрических машин при кратковременных режимах работы	3	34	Статьи и авторефераты		
Камень И. М. — Работа асинхронного двигателя при несимметричных схемах и сопротивление нулевой последовательности	10	57	Минов Д. К. — Электрическое спаривание осей при электрической тяге	6	14
Карасев В. А. и Каганов З. Г. — Распространение воли в обмотках электрических машин	4	3	Михайлов М. И. — Влияние контактной сети электропуть однофазного тока на цепи связи и защитные мероприятия	7	10
Карасев М. Ф. — К вопросу о расчете коммутации машин постоянного тока	7	30	Некрасов О. А. — Испытания тяговых двигателей по методу искусственной токовой нагрузки	2	67
Каспржак Г. М. — Асинхронная короткозамкнутая регулируемая машина малой мощности	2	63	Розенфельд В. Е., Крайцберг М. И. и Техменев Б. Н. — Рудничный электровоз переменного тока с конденсаторными двигателями	7	37
Каспржак Г. М. — Расчет рабочих параметров асинхронных микродвигателей	11	64	Сидоров Н. Н. — К вопросу классификации сериесных характеристик тяговых электродвигателей	8	16
Киклевич П. А. — Влияние неравномерного воздушного зазора на характеристики и эксплуатационную надежность асинхронных электродвигателей	12	15	Степанов А. Д. — Устойчивость автоматического регулирования дизель-электрического пассажирского транспорта	6	24
Комар В. Г. — Регулирование напряжения генераторов постоянного тока магнитными усилителями	4	14	Филаретова А. С. — Электромагнитная сеть бесконтактной сети и приемного витка экипажа высокочастотного транспорта	9	63
Коновалов Н. И. — Дальнейшее развитие характеристик асинхронных двигателей в системе относительных единиц	5	67	Обзоры и рефераты		
Левитский А. М. — Определение реактивной мощности синхронных генераторов	6	60	Шильднер Л. М. и Захаренко Д. Д. — Электрификация железнодорожного транспорта на однофазном токе	8	75
Лехман И. Я. — К вопросу об инерционности серводвигателей постоянного тока с независимым возбуждением	10	49			

Авторы и название материалов	№ жур-наля	Стр.	Авторы и название материалов	№ жур-наля	Стр.
<b>Заметки и письма</b>			<b>Хроника</b>		
Марквардт К. Г. — Ответ на замечания С. Е. Кузьява и Н. Н. Сидорова	3	89	Первая Всесоюзная научно-техническая сессия по ртутным выпрямителям	11	93
<b>Хролика</b>			<b>Библиография</b>		
Всесоюзный съезд ВНИТО городского электро-транспорта	3	92	Воробьев А. А. — Книга М. Ливингстона, М. Розе, М. Намиас «Циклотрон»	1	92
Конференция по вопросам эксплуатации трамвайных вагонов нового типа	6	88	Егоров-Кузьмин А. С. — Книга Д. Фиск, Г. Хаг-струм, П. Гатман «Магнитроны»	4	94
<b>Библиография</b>			Зилитинский С. И. и Шаров Н. В. — Книга Г. Дж. Рейх «Теория и применения электронных приборов»	10	98
Изыуров В. А. — Книга М. П. Кутыловского и А. И. Федотова «Подвижной состав трамвая»	5	93	<b>X. АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, ТЕХНИКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И НИЗКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА</b>		
<b>VII. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА</b>			<b>Статьи и авторефераты</b>		
<b>Статьи и авторефераты</b>			Атабеков Г. И., Сапир Е. Д., Соловьев И. И. — Высоковольтные защиты ЦНИЭЛ МЭС	9	7
Богданский И. И. — О перспективах развития сель-ской электрификации Украинской ССР	10	8	Буйлов А. Я. — Методика расчета электромагнита постоянного тока	3	39
Захарин А. Г. — Принципы объединения сельских электростанций в местные системы	11	37	Валеев Х. С. — Высоковольтные высокочастотные статитивные конденсаторы	3	63
Краснов А. А. — Комплексная электрификация сель-ского хозяйственного производства	11	3	Зелях Э. В. и Великий Я. И. — Пьезоэлектрические фильтры	5	52
Секторов В. Р. — Режим работы и типы ветроволь-трических установок для сельских районов	10	33	Ивахненко А. Г. и Парра И. К. — Триггерное уст-ройство для измерения и регистрации угла выбега ро-тора синхронных машин	11	67
Цыганов Л. Я. — Передвижной многоскоростной элек-тропривод для сельского хозяйства	6	51	Иносов В. Л. и Цукерник П. В. — Компаундирова-ние мощных синхронных генераторов с электромагнит-ным корректором напряжения	9	15
<b>Заметки и письма</b>			Мельников А. М. — Некоторые исследования приме-нения металлических растворителей плавких вставок пре-дохранителей	6	9
К статье А. П. Златковского «Вопросы оборудования сельских электрических установок»	4	81	Негневский И. Б. — Магнитный усилитель в релей-ном режиме	4	46
<b>Хроника</b>			Петров Б. П. — Основные принципы автоматического управления электроподвижным составом постоянного тока	5	3
Всесоюзная научно-техническая сессия по вопросам электроэнергетического оборудования для электрификации сельского хозяйства	1	84	Пивоваров С. П. — Электромагнитный стабилизатор напряжения с последовательно включенной емкостью в первичной обмотке	7	65
Всесоюзная научно-техническая сессия по вопросам применения электроэнергии в сельскохозяйственном про-изводстве	10	86	Попомаренко В. К. — Одноэлементное трехфазное реле направления энергии	7	25
<b>Библиография</b>			Пясецкий С. Р. — Электромашинный регулятор с критическим самовозбуждением	8	10
Теплицкий Я. С. — Книга «Справочник по электри-фикации сельского хозяйства»	10	90	Развиг Д. В. — Защита вращающихся машин, рабо-тающих на воздушные сети, от атмосферных перенапря-жений	9	45
<b>VIII. ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ (ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА, ГРОЗОЗАЩИТА)</b>			Сыромятников И. А. — Задачи эксплуатации в обла-сти электроавтоматики и релейной защиты	7	3
<b>Статьи и авторефераты</b>			Хализов Г. П. — О методах автоматического управ-ления ускорением электродвигателей	5	9
Балыгин И. Е. — Спечение главного канала молнии	7	47	Штейн В. М. — Эквивалентные схемы многополюс-ников	7	63
Бурдесдорф В. В. — Исследование грозовозащиты энер-госистем	2	21	Юров Ю. Я. — Влияние газовых пленок на сопро-тивление контактов	6	47
Гохберг Б. М. — Газонаполненные конденсаторы	3	76	<b>Обзоры и рефераты</b>		
Калинин Е. И. — Параметры емкостного делителя	8	45	Ренне В. Т. — Новости в области конденсаторо-строения	9	79
Линияченко Н. И. — Восстановление напряжения в двухчастотном контуре	11	53	<b>Заметки и письма</b>		
Морозов М. М. — Советское сильноточное конде-саторостроение и его ближайшие задачи	11	10	Атабеков Г. И. и Смиродинский Я. М. — К теории преобразования фильтров симметричных составляющих	4	81
Розанов Г. М. — Выпускающие зажимы для линий 220 кВ в гололедных районах	3	80	О пусковом органе фильтровой высокочастотной за-щиты	6	85
Цейров Е. М. — Влияние электрической дуги на по-ток воздуха в гасительной камере воздушного выклю-чателя	11	50	<b>Хроника</b>		
<b>Обзоры и рефераты</b>			В Институте автоматики и телемеханики АН СССР	5	86
Линияченко И. П. — Гашение дуги струей воздуха	1	73	<b>Библиография</b>		
Линияченко И. Н. — Мощные выключатели	4	79	Буйлов А. Я. и Петров В. И. — Книга В. А. Буз-гакова «Электрическая аппаратура управления»	1	89
<b>Хроника</b>			Калантаров П. Л. и Рузин Я. Л. — Книга Г. И. Атабекова «Релейная защита высоковольтных сетей»	12	89
Научно-техническая сессия в Ленинграде по вопро-сам перенапряжений	8	87	Русakov Л. З. — Книга «Расчет сложных фильтров»	1	91
<b>IX. ИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА</b>			Черобров Н. В. — Книга Г. И. Атабекова и А. М. Федосеева «Современная релейная защита»	1	88
<b>Статьи и авторефераты</b>			<b>XI. КАБЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА</b>		
Бутаев Ф. И. — Влияние ионных токов на устойчи-вость дуги возбуждения ртутного выпрямителя	9	37	<b>Статьи и авторефераты</b>		
Гинес А. Ф. — Перекрытия анодных токов	8	41	Брагин С. М. — Перспективы развития высоковольт-ных электрических кабелей	4	51
Ратгауз И. И. и Белоус В. А. — Бесконтактные за-рядные устройства	12	48	Гроднев И. И. — Экранирование коаксиальных и симметричных кабелей	5	76
Ривкин Г. А. — Построение круговых диаграмм для регулирования ионных преобразователей	9	18	<b>Обзоры и рефераты</b>		
Соколов А. А. — Основы прикладной электроники	1	13	Брагин С. М. — Высоковольтные кабельные линии и их эксплуатация	4	76
Соколов А. А. — Электронные усилители постоян-ного тока	10	74	<b>XII. СВЕТОТЕХНИКА</b>		
Соколов А. А. и Литвинов А. М. — Сервисный на-клад на лампы в инверсных режимах	4	74	<b>Статьи и авторефераты</b>		
Сущик Н. Г., Зайцев П. В. и Рыбаков О. Н. — Малогабаритный электронный микроскоп	12	6	Ермолинский Н. Н. — Светотехнические принципы построения зеркальных ламп	4	61
Федорова И. А. — Влияние мощной ртутно-выпрям-ительной нагрузки на устойчивость системы	12	30	Карасев В. А. — Новая система безнакального за-жигания люминесцентных ламп для шахт и химической промышленности	12	10
<b>Обзоры и рефераты</b>					
Комар В. Г. — Голупроводниковый усилитель	7	75			
<b>Консультации</b>					
Об использовании компаундной машины постоянного тока как машинного усилителя	9	81			

Авторы и название материалов	№ жур-наля	Стр.	Авторы и название материалов	№ жур-наля	Стр.
Клюев С. А. — Экономика осветительных установок с люминесцентными лампами	6	56	Коломиец Б. Т. — Фотосопрогнывания	3	57
Комар В. Г. и Сажин Л. И. — Автоматическое регулирование и стабилизация света в кинотеатрах с помощью селеновых выпрямителей и дросселей насыщения	10	72	Кривезинцев В. А. — Основные вопросы изоляции обмоточных проводов	9	58
Островский М. А. — К вопросу расчета призматических светоглишков	6	38	Ренне В. Т. — Расчет диэлектрической проницаемости пропитанной бумаги	1	57
Из опыта работы			Обзоры и рефераты		
Рябов М. С. — Осветительные установки промышленных предприятий	7	68	Дуков В. М. — Поляризация и диэлектрические потери твердых и жидких диэлектриков в полях сверхвысокой частоты	7	72
Хроника			Казарновский Л. Ш. — Развитие магнитных материалов	6	68
В Комиссии по светотехнике при Отделении технических наук АН СССР.	5	84	Ренне В. Т. — Непроводящие угольно-керамические сопротивления поверхностного типа	9	77
ХIII. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРОМОДЕЛИРОВАНИЕ			Хроника		
Статьи и авторефераты			Всесоюзная научно-техническая сессия по электрической изоляции	1	85
Арутюнов В. О. — О расчете погрешностей электроизмерительных приборов	8	54	Уральская научно-техническая сессия по электрической изоляции	9	90
Боднер В. А. и Волощенко Н. Ф. — Графический расчет неуравновешенных мостов постоянного тока	11	79	Библиография		
Бугаков А. А. — Теория и расчет индуктивных мостиковых фазорегуляторов	8	7	Богородицкий Н. П. — Справочник по электрической изоляции	8	91
Быков М. А. — Новый вид полного уравнения двойного моста и его применение	8	65	Валеев Х. С. — Книга Н. П. Богородицкого и И. Д. Фридрихера «Высокочастотные неорганические диэлектрики»	11	94
Горюнов И. И. — Погрешности индукционных счетчиков при пониженном напряжении	9	53	Яманов С. А. — Книга Л. И. Рабкина и Н. Н. Шольца «Магнитодиэлектрики и феррокатушки»	3	95
Иванов Л. И. — Частный случай устранения индуктивных помех при измерении импульсного падения напряжения на активном сопротивлении	5	74	ХV. ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ И ЭЛЕКТРОСВАРКА		
Каганов З. Г. — Осциллоскоп для регистрации импульсов	1	52	Статьи и авторефераты		
Кальман В. С. — Моделирование релейных сетей	8	63	Нетушил А. В., Исаев К. Б. и Федоров С. К. — Применение системы формул Максвелла для расчета сопротивлений между электродами при электропрогреве бетона	6	56
Карандеев К. Б. — О классификации методов электрических измерений	7	51	Струнский Б. М. — Сравнение двух схем короткой сети для электропечей с прямоугольными ваннами	10	68
Карандеев К. Б. — О происхождении многоплечих мостовых схем	11	71	Хроника		
Кротков И. Н. — Чувствительность электрических измерительных цепей	10	55	Всесоюзное научно-техническое совещание по рудно-термическим электропечаем	2	89
Кузиковский Л. Ф. — Прибор для непосредственного измерения удельного сопротивления электролитов	6	73	Обсуждение книги по электротермии в Ленинградском и Московском отделениях ВНИТОЭ	12	82
Майоров Ф. В. — Магнитострикционное измерение деформаций в деталях машин.	4	56	Библиография		
Нетушил А. В. и Корзун И. В. — Измерение электрических характеристик полупроводников методом замещения	2	69	Сисоян Г. А. — Книга Г. И. Бабата, Г. В. Дершварпа, А. Д. Свенчанского, М. Я. Смелянского «Электрические промышленные печи»	7	87
Соколов А. А. — Пути усовершенствования логометров	5	43	Тареев Б. М., Нетушил А. В., Архангельский М. А. и Парини Е. П. — Книга И. П. Бердинских «Сушка и склейка древесных материалов в поле токов высокой частоты»	5	94
Фюрстенберг А. И. — Метод точного измерения емкости и индуктивности	11	75	Фейгин В. И. — Сборник «Электротермия»	5	95
Холоров Т. Я. — Частотные искажения при воспроизведении однократных процессов	9	30	ХVI. СТАНДАРТЫ И НОРМЫ		
Чугунов С. С. — Нелинейный элемент расчетного стола переменного тока	5	24	Вашура Б. Ф. — Об определении перегрева обмоток по действующему стандарту	8	85
Элькинд Ю. М. — Детекторный стрелочный частотомер резонансного типа	5	43	Лившиц С. М. — Основные требования к стандартам на электрооборудование	8	78
Элькинд Ю. М. — Установка для проверки частотомеров с использованием иссушей частоты радиостанции	9	23	Литваков У. М. — Электротехнические стандарты	12	72
Обзоры и рефераты			Панас Г. С. — Стандартизация автотракторного электрооборудования	6	64
Горелик Б. В., Левинзон А. З. и Юдовина С. А. — Электрические и оптические гигрометры	1	80	Соловьев В. Е. — Системы механических единиц	7	77
Заметки и письма			Сыркин М. Е. и Файнштейн Э. Г. — Нормирование нагрева электрических машин	3	84
Фюрстенберг А. И. — О приборе для проверки конденсаторов, предложенном В. М. Лукашом	6	86	Заметки и письма		
Хроника			Столов Л. И. — К заметке Ю. Л. Мукосева «Устаревший стандарт тормозит развитие электрохозяйства страны»	6	85
Совещание по электрическому моделированию физических явлений	11	91	Шницер Л. М. — По поводу замечаний Б. Ф. Вашуры	8	86
Библиография			Шукрюров Н. Р. и Трифель М. С. — К составлению электротехнических правил и норм	5	82
Гинзбург С. А. — Книга Ф. Е. Темникова и Р. Р. Харченко «Электрические измерения неэлектрических величин»	8	92	ХVII. ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ		
Каганов З. Г. — Книга Я. Л. Быховского, В. Л. Бакинскогo «Импульсные измерения линий электропередачи и электросвязи»	9	94	Статьи и заметки		
Майоров Ф. Б. — Книга Л. Я. Волчок «Электрические методы измерений в двигателях внутреннего сгорания»	6	94	Богуславский Г. А. — А. С. Попов и адмирал С. О. Макаров	12	89
Хашинский В. П. — Книга А. И. Лурье «Электрические измерения в сетях сильного тока»	8	93	Брон О. В. — М. О. Доливо-Добровольский — изобретатель искрогасительной решетки	9	71
ХIV. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ			Галонеч Ю. М. — Из истории русского трамвая	6	29
Статьи и авторефераты			Рожонский Б. И. — Электромагнитическая машина В. Кайданова	1	73
Богородицкий И. П. — Вопросы электрической изоляции в производстве средств связи и в высокочастотной технике	3	72	Рожонский Б. И. — Новые материалы о деятельности В. В. Петрова	11	83
Вуля Б. М. — Современное состояние физики диэлектриков	1	3	Савиро Д. Н. — А. Н. Лодыгин и электрификация летательных аппаратов	11	33
Залесский А. М. и Зингерман А. С. — Исследование импульсной прочности изоляции электрических машин	2	9	Библиография		
			Книга М. А. Шателена «Русские электротехники второй половины XIX века»	5	
			Бельский Л. Д. — «Павел Николаевич Яблочков». Библиографический указатель	9	35



Авторы и название материалов	№ жур-нала	Стр.	Авторы и название материалов	№ жур-нала	Стр.
<b>XVIII. РАЗНОЕ</b>					
<b>Статьи и авторефераты</b>					
Балыгин И. Е. — Воспламеняемость смесей паров бензина и воздуха от электрических искр с ограниченной мощностью	11	81	Научно-техническое общество при ВЗЭИ Днепропетровский горный институт им. Артема.	4	89
Шмаргунов К. Н. и Нейман Л. Р. — Электромеханический факультет Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина	2	4	Диссертации В Азербайджанском отделении ВНИТОЭ Всесоюзный электротехнический институт им. Ленина. Диссертации В НТО Московского энергетического института им. Молотова В Киевском межобластном отделении ВНИТОЭ В Ленинградском электротехническом институте им. Ульянова (Ленина)	5 5 6 7 9 10	85 86 89 85 89 87
<b>Хроника</b>					
[Совещания, конференции, заметки] Научная сессия Киевского политехнического института, посвященная 50-летию со дня его основания О конкурсе на соискание премии им. Л. И. Мандельштама	1 1	83 86	[Юбилейные и памятные даты] День радио — 7 мая Приветствие Ленинградскому политехническому институту им. М. И. Калинина	6 2 3	87 93 3
Сессия Академии наук СССР, посвященная истории отечественной науки Новаторы электротехники — лауреаты Сталинских премий за 1948 г. Академик Б. А. Введенский — К присуждению золотой медали им. А. С. Попова Киевская конференция читателей журнала «Электричество»	2 6 6 7	86 3 88 82	75-я годовщина смерти Б. С. Якоби 150-летие со дня рождения А. С. Пушкина Профессор В. К. Аркадьев Профессор С. А. Бургуев Профессор Г. Н. Петров Профессор Л. М. Пиотровский Профессор Л. И. Сиротинский Профессор В. Н. Степанов Профессор Б. А. Телешев Профессор Н. Д. Шюрупа Профессор Ю. С. Чет	7 8 10 5 11 10 1 12 12	82 90 85 88 85 87 85 86
Совещание по координации научной деятельности энергетических учреждений Ленинградская конференция читателей журнала «Электричество» Белорусская конференция энергетиков Научно-техническая сессия Азербайджанского индустриального института им. Азизбекова Свердловская конференция читателей журнала «Электричество»	7 8 9 9 12	83 88 88 91 81	[Некрологи] Анатолий Яковлевич Буйлов Александр Александрович Вульф Академик Г. О. Графтио Памяти И. Д. Усманкина	10 4 6 2	89 90 93 90
[В научных обществах и институтах] В НТО Московского энергетического института им. Молотова Подготовка инженеров-электриков в Киевском политехническом институте Киевский политехнический институт. Диссертации В Московском энергетическом институте им. Молотова	1 3 4 4	87 91 87 88	<b>Библиография</b> Гейлер Л. Б. — «Немецко-русский политехнический словарь» и «Французско-русский политехнический словарь» О книге А. С. Касаткина и М. А. Перекалина «Электротехника»	7 2	91 91

## 2. Алфавитный указатель авторов

Абрамович Г. П. — 9,84  
Адоин Г. Т. — 8,29  
Алексеев А. Е. — 2,85  
Алябьев М. И. — 4,19  
Амирбекян С. А. — 6,76  
Андрянов В. Н. — 10,26  
Аронов Р. Л. — 10,42  
Артемьев А. И. — 9,83  
Арутюнов В. О. — 8,54  
Архангельский М. А., Тареев Б. М., Нептушия А. В. и Парини Е. Н. — 5,94  
Атабеков Г. И. и Мамиконян Л. Г. — 4,67  
Атабеков Г. И. и Смородинский Я. М. — 4,81  
Атабеков Г. И., Санир Е. Д. и Соловьев И. И. — 9,7  
Бабинов М. А. и Комаров Н. С. — 5,29  
Багагуров В. А. — 10,64  
Бахыгин И. Е. — 4,70; 7,47; 11,81  
Барский С. З. — 4,29  
Башарин А. В. — 10,87  
Баяхчев М. С. — 9,78  
Белоус В. А. и Ратгауз И. И. — 12,48  
Белькинд Л. Д. — 9,95  
Беляев И. В. — 4,69  
Беляков А. Г. — 5,71  
Бесмертный И. С. — 5,80  
Бессонов Л. А. — 2,61; 3,47  
Богданкин П. И. — 10,8  
Боголюбов В. Е. — 6,42  
Богородицкий П. П. — 3,72; 8,91  
Богуславский Г. А. — 12,69  
Боднер В. А. и Волощенко Н. Ф. — 11,79  
Большаков Я. М. — 5,81  
Борчанинов Г. С. — 9,58  
Брагин С. М. — 4,51; 7,6  
Брон О. Б. — 9,71  
Бронштейн А. М. — 4,39  
Брук И. С., Маркович И. М., Горушкин В. И. и Совадов С. А. — 9,3  
Будко И. А. — 12,37  
Будко И. А. и Еврепнов М. Г. — 10,85  
Буйлов А. Я. — 3,39  
Буйлов А. Я. и Петров В. И. — 1,89  
Бугаков А. А. — 3,13; 8,7  
Бунько В. А. — 5,85  
Бургдорф В. В. — 2,21  
Бургуев С. А. — 5,79

Бутаев Ф. И. — 9,37  
Буткевич Ю. В. — 2,80  
Быков М. А. — 8,65  
Вавилов С. И. — 8,3  
Валесв Х. С. — 3,63; 11,94  
Варлазарян А. И. — 6,78  
Варьяш Б. А., Чалидзе И. М. и Златев Н. А. — 11,44  
Вашура Б. Ф. — 8,85  
Великий Я. И. и Зелях Э. В. — 5,52  
Веников В. А. — 1,87; 2,93; 7,85  
Волднер Н. Ф. и Лоев Е. Г. — 7,93  
Волоцкий Н. В. — 9,94  
Волощенко Н. Ф. и Боднер В. А. — 11,79  
Вольск А. И. — 7,55  
Воробьев А. А. — 1,92  
Вух Б. М. — 1,3  
Галонен Ю. М. — 6,29  
Галонен Ю. М. и Файн А. Г. — 3,92  
Гейлер Л. Б. — 7,91  
Гейлер Л. Б., Петров И. И., Петров В. И., Синяйский М. М. и Лейбович Е. А. — 4,92  
Геликонский С. А. и Глазунов А. А. — 6,83  
Герценштейн И. Г. — 8,69  
Гикис А. Ф. — 8,41  
Гинзбург С. А. — 8,92  
Глазунов А. А. — 2,76; 10,3; 12,78  
Глазунов А. А. и Геликонский С. А. — 6,83  
Говорков В. А. — 3,52  
Голубев Д. В. — 5,39  
Горбатов Н. М. — 7,58  
Горелик Б. В., Левинзон А. З. и Юдовина С. А. — 1,80  
Городский Д. А. — 5,92  
Горушкин В. И., Брук И. С., Маркович И. М. и Совадов С. А. — 9,3  
Горюнов П. П. — 9,53  
Горюнов Ф. А. — 9,81  
Гохберг Б. М. — 3,76  
Грибанов М. Н. и Никогосов С. Н. — 3,3  
Григоров К. В. — 11,88  
Гроднев И. И. — 5,76  
Грудинский П. Г. — 6,79  
Гуревич Е. Я. — 9,85

Давидян Д. Б. — 6,78  
Двоскин Л. И. — 12,53  
Долгинов А. И. — 9,39; 10,19; 11,62  
Дружинин Н. Н. — 3,21  
Дружинин Н. И. и Морозов Д. П. — 11,20  
Дуков В. М. — 7,72  
Евреинов М. Г. и Будко И. А. — 10,85  
Егоров-Кузьмин А. С. — 4,94  
Ермолаева Т. Т. — 2,85  
Ермолин Н. П. — 3,29  
Ермолинский Н. Н. — 4,61  
Жданов П. С. — 2,72  
Зайко А. А. — 9,89  
Зайцев А. И. и Кугавин И. Д. — 9,51  
Зайцев И. А. и Лурье А. Г. — 4,91  
Зайцев П. В., Сункин Н. Г. и Рыбаков О. Н. — 12,6  
Залесский А. М. и Зингерман А. С. — 2,9  
Залесский А. М. и Каменский М. Д. — 4,90  
Замятина И. М. и Кушенков В. А. — 3,67  
Захарин А. Г. — 11,37  
Захарин А. Г. и Эбин Л. Е. — 6,76  
Захарченко Д. Д. и Шильдинер Л. М. — 8,75  
Зейлидзон Е. Д. — 4,81  
Зелях Э. В. и Великий Я. И. — 5,52  
Земский В. А. — 1,61  
Зидитинкевич С. И. и Шаров И. В. — 10,93  
Зингерман А. С. и Залесский А. М. — 2,9  
Златев Н. А., Чалидзе И. М. и Варьяш Ю. А. — 11,41  
Златковский А. П. — 4,81; 6,76  
Золотарев О. И. — 2,59; 9,86  
Зубков П. И. — 3,91  
Иванов Л. И. — 5,74  
Ивахненко А. Г. и Парра И. К. — 11,67  
Изъяров В. А. — 5,93  
Иносов В. Л. и Цукерник Л. К. — 9,15  
Ипошников А. И. — 7,80  
Июффе А. Б. — 3,34  
Исаев К. Б., Нептушия А. В. и Федоров С. К. — 6,56  
Каганов З. Г. — 1,52; 9,94  
Каганов З. Г. и Карасев В. А. — 4,3



Казарновский Л. Ш. — 6,68  
 Казовский Е. Я. — 11,33  
 Калантаров П. Л. — 1,67  
 Калантаров П. Л. и Нейман Л. Р. — 2,16  
 Калантаров П. Л. и Рузин Я. Л. — 12,89  
 Калинин Е. В. — 8,45  
 Калининский М. Л. — 4,87  
 Кальман В. С. — 8,63  
 Каменский М. Д. и Залесский А. М. — 4,90  
 Каменский М. Д. — 6,82  
 Камсы И. М. — 10,37  
 Капцов Н. А. — 1,17, 9,92  
 Караев Р. И. — 10,14  
 Карандеев К. Б. — 7,51; 11,71  
 Карасев В. А. — 5,20; 12,10  
 Карасев В. А. и Каганов З. Г. — 4,3  
 Карасев М. Ф. — 7,30  
 Каспржак Г. М. — 2,63; 11,64  
 Касьянов В. Т. — 2,38  
 Киклевич Н. А. — 12,15  
 Клементьев С. Д. — 8,90  
 Кляев С. А. — 5,56  
 Клячкин Л. М. — 11,93  
 Коломиец Б. Т. — 3,57  
 Комар В. Г. — 4,24; 7,75  
 Комар В. Г. и Сажин Л. И. — 10,72  
 Комаров Д. Т. — 10,56  
 Комаров Н. С. и Бабинов М. А. — 5,29  
 Конавалов Н. И. — 1,55; 5,67  
 Корзун И. В. и Негушия А. В. — 2,69  
 Корольков Н. В. — 11,91  
 Костенко М. П. — 12,85  
 Котова Л. Ф. — 8,67  
 Крайцберг М. И., Розенфельд В. Е. и Техменев Б. Н. — 7,37  
 Краснов А. А. — 11,3  
 Крачковский Н. Н. — 6,74  
 Кржижановский Г. М. — 12,3  
 Крикунчик А. Б. — 6,81  
 Кротков И. Н. — 10,35  
 Куликовский Л. Ф. — 5,73  
 Кунцкий Н. П. и Никитин В. П. — 5,59  
 Кунц И. С. — 6,89  
 Кустовский Г. Г. — 3,10  
 Кутявин И. Д. и Зайцев А. И. — 9,51  
 Кухаркин Е. С. — 5,69  
 Куцнов В. А. и Заматина И. М. — 3,67  
 Лебедев М. М. — 5,79  
 Левинзон А. З., Горелик Б. В. и Юдовина С. А. — 1,80  
 Левитский А. М. — 6,60  
 Лейбович Е. А., Петров И. И., Петров В. И., Гейлер Л. Б. и Синайский М. М. — 4,92  
 Лехтман И. Я. — 10,49  
 Лившиц Д. С. — 12,60  
 Лившиц С. М. — 8,78  
 Линиченко Н. Н. — 1,76; 4,79; 11,59  
 Литваков У. М. — 12,72  
 Литвинов А. М. и Соколов А. А. — 4,74  
 Лоев Е. Г. и Волкерс Н. Ф. — 7,93  
 Лурье А. Г. и Зайцев И. А. — 4,91  
 Майоров Ф. В. — 4,56; 6,94  
 Маликов М. Ф. — 1,70  
 Мамиконян Л. Г. и Атабеков Г. И. — 4,67  
 Марквардт К. Г. — 3,89  
 Маркин А. Б. и Матвеев Г. А. — 7,83  
 Маркович И. М., Брук И. С., Горушкин В. И. и Савалов С. А. — 9,3  
 Матвеев Г. А. и Маркин А. Б. — 7,83  
 Медунов В. К. — 8,50  
 Месров М. В. — 7,16  
 Мелькумов А. М. — 6,9  
 Мельников Н. А. — 4,89; 9,93  
 Мянов Д. К. — 6,14  
 Михайлов М. И. — 7,10  
 Морозов М. М. — 11,10  
 Морозов Д. П. и Дожинин Н. Н. — 11,20  
 Мотовилов В. В. — 9,88  
 Пегневский И. Б. — 4,46  
 Нейман Л. Р. и Калантаров П. Л. — 2,16  
 Нейман М. Д. и Скнави Г. И. — 7,43  
 Нейман Л. Р. и Шмаргунов К. Н. — 2,4  
 Некрасов О. А. — 2,67  
 Нестеренко А. Д. и Орловский А. В. — 3,91

Негушия А. В., Исаев К. Б. и Федоров С. К. — 6,56  
 Негушия А. В. и Корзун И. В. — 2,69  
 Негушия А. В., Тареев Б. М., Архангельский М. А. и Парини Е. П. — 5,94  
 Никитин В. П. и Кунцкий Н. П. — 5,59  
 Никитосов С. Н. и Грибанов М. Н. — 3,3  
 Оркина Б. Г. — 9,32  
 Орловский А. В. и Нестеренко А. Д. — 3,91  
 Осепян А. М. — 8,59  
 Островский М. А. — 6,38  
 Парини Е. П., Тареев Б. М., Негушия А. В. и Архангельский М. А. — 5,94  
 Парра И. К. и Иващенко А. Г. — 11,67  
 Периханян Г. Н. — 6,75  
 Петров Б. П. — 5,3  
 Петров И. И. — 7,89  
 Петров В. И. и Буйлов А. Я. — 1,89  
 Петров В. И., Петров И. И., Гейлер Л. Б., Синайский М. М. и Лейбович Е. А. — 4,92  
 Петров И. И., Петров В. И., Гейлер Л. Б., Синайский М. М. и Лейбович Е. А. — 4,92  
 Пивоваров С. П. — 7,65; 8,38  
 Пиотровский Л. М. — 2,91  
 Плисс Г. С. — 5,81; 6,64  
 Подольский Л. П. — 7,90  
 Подольский Л. П. и Соловьев П. Ф. — 10,91  
 Полесов В. А. — 10,59  
 Поливанов К. М. — 1,63  
 Пономаренко В. К. — 7,25  
 Попков В. И. — 1,33  
 Поляков М. Ф. и Скворцов П. Ф. — 10,85  
 Привезенцев В. А. — 9,58  
 Пухов Г. Е. — 5,65  
 Пасецкий С. Р. — 8,10  
 Разевиг Д. В. — 9,45  
 Разевиг Д. В. и Розенфельд А. С. — 12,31  
 Ремнев В. Ф. — 12,76  
 Ратгауз И. И. и Белоус В. А. — 12,48  
 Ренне В. Т. — 1,57; 9,77; 7,9  
 Ржонский Б. Н. — 1,73; 11,86  
 Ривкин Г. А. — 9,38  
 Ринкевич С. А. — 6,90; 9,1  
 Розанов Г. М. — 3,80; 6,5  
 Розанов С. П. — 12,85  
 Розенфельд В. Е., Крайцберг М. И. и Техменев Б. Н. — 7,37  
 Розенфельд А. С. и Разевиг Д. В. — 12,31  
 Рокотян С. С. и Соколов Б. В. — 12,79  
 Рубцов П. А. — 5,14  
 Рузин Я. Л. и Калантаров П. Л. — 12,89  
 Русаков Л. З. — 1,91  
 Рыбаков О. Н., Сушкин Н. Г. и Зайцев П. В. — 12,6  
 Рыбов М. С. — 7,68  
 Савастеев В. Г. — 11,26  
 Садовский И. М. — 4,13  
 Сажин Л. И. и Комар В. Г. — 10,72  
 Сазонов Н. А. — 12,20  
 Сапиро Л. Н. — 11,83  
 Сапир Е. Л., Атабеков Г. И. и Соловьев И. И. — 9,7  
 Сапожников А. В. — 3,78  
 Сапожников А. В. и Шницер Л. М. — 9,74  
 Секторов В. Р. — 10,33  
 Сидоров Н. Н. — 8,16  
 Синайский М. М., Петров И. И., Петров В. И., Гейлер Л. Б. и Лейбович Е. А. — 4,92  
 Сисоян Г. А. — 2,89; 7,87  
 Сивнов Н. С. — 3,70  
 Скнави Г. И. и Нейман М. Д. — 7,43  
 Скворцов П. Ф. и Гоярков М. Ф. — 10,85  
 Смирнов К. А. — 6,80  
 Смолодинский Я. М. и Атабеков Г. И. — 4,81  
 Савалов С. А., Брук И. С., Маркович И. М. и Горушкин В. И. — 9,3  
 Соколов А. А. — 1,13; 5,43; 10,74  
 Соколов А. А. и Литвинов А. М. — 4,74

Соколов Б. В. и Рокотян С. С. — 12,79  
 Соколов М. В. — 5,84  
 Соколов Н. И. — 8,21  
 Соловьев В. Е. — 1,59; 7,77  
 Соловьев И. И., Атабеков Г. И. и Сапир Е. Д. — 9,7  
 Соловьев П. Ф. и Подольский Л. П. — 10,91  
 Сонимский М. С. — 2,90  
 Степанов А. Д. — 6,24  
 Столов Л. И. — 6,85  
 Страхов С. В. — 2,94  
 Струнский Б. М. — 10,68  
 Сушкин Н. Г., Зайцев П. В. и Рыбаков О. Н. — 12,6  
 Сыркин М. Е. и Файнштейн Э. Г. — 3,84  
 Сыромятников И. А. — 2,32; 7,3  
 Тайн А. А. — 4,82  
 Тареев Б. М. — 1,86  
 Тареев Б. М., Негушия А. В., Архангельский М. А. и Парини Е. П. — 5,94  
 Теплицкий Я. С. — 6,77; 10,90  
 Тер-Газарян Г. Н. — 7,60  
 Техменев Б. П., Розенфельд В. Е. и Крайцберг М. И. — 7,37  
 Трифель М. С. и Шукоров Н. Р. — 5,82  
 Уткина Л. С. — 8,87  
 Файн А. Г. — 6,88  
 Файн А. Г. и Галонин Ю. М. — 3,92  
 Файнштейн Э. Г. и Сыркин М. Е. — 3,84  
 Федорова И. А. — 12,30  
 Федоров С. К., Негушия А. В. и Исаев К. Б. — 6,56  
 Фейгин В. И. — 5,96  
 Филаретова А. С. — 9,68  
 Фюрстенберг А. И. — 6,86; 11,75  
 Хализев Г. П. — 5,9  
 Хашинский В. П. — 8,93  
 Ходоров С. А. — 1,83  
 Ходоров Т. Я. — 9,30  
 Хрунов Н. П. — 5,86  
 Цейров Е. М. — 11,50  
 Цейлин М. И. — 6,81  
 Цеку Н. А. — 5,86; 9,91  
 Цивьян Я. А. — 6,51  
 Цукерник Л. В. и Иносов В. Л. — 9,15  
 Цыпкин Я. З. — 8,35  
 Чалидзе И. М., Златев Н. А. и Варьян Ю. А. — 11,44  
 Чаянов Г. А. — 12,45  
 Чернин А. Б. — 1,49  
 Чернобровов Н. В. — 1,88  
 Чечет Ю. С. — 2,48  
 Чугунов С. С. — 5,24  
 Шадрин А. К. — 1,87  
 Шаров И. В. и Зилитинкевич С. И. — 10,93  
 Шерман Г. И. — 5,61  
 Шильдинер Л. М. — 6,54; 10,46  
 Шильдинер Л. М. и Захарченко Д. Д. — 8,75  
 Шипков С. Н. — 11,89  
 Шмаргунов К. Н. и Нейман Л. Р. — 2,4  
 Шницер Л. М. — 8,86  
 Шницер Л. М. и Сапожников А. В. — 9,74  
 Штейн В. М. — 7,63  
 Шукоров Н. Р. и Трифель М. С. — 5,82  
 Эбин Л. Е. и Захарин А. Г. — 6,76  
 Элькинд Ю. М. — 5,48; 9,23  
 Юдовина С. А., Горелик Б. В. и Левинзон А. З. — 1,80  
 Юров Ю. Я. — 6,47  
 Яковлев Б. М. — 7,81  
 Яманов С. А. — 3,95  
 Янко-Тринидский А. А. — 9,82; 12,87  
 Яхинсон Б. И. — 1,62



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ОТКРЫТА ПОДПИСКА

на **1950** год

НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Орган Академии наук СССР, Министерства электростанций СССР  
и Министерства электропромышленности СССР

*Основан в 1880 г. Русским техническим обществом*

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников, ведущих работу в различных областях электротехники.

Журнал широко освещает основные теоретические и практические вопросы, связанные с развитием электротехники и электрификации народного хозяйства СССР.

Основные тематические разделы журнала: современные физические и общетеоретические вопросы электричества и электротехники; электрические системы, станции, сети и передача электроэнергии на дальние расстояния; электропривод и электрификация отраслей промышленности; электрификация транспорта; электрификация сельского хозяйства; электрические машины и трансформаторы; техника высоких напряжений (высоковольтная аппаратура и грозозащита); кабельная техника; ионно-электронные преобразователи; прикладная электроника; автоматика, техника релейной защиты; электросварка и высокочастотная электротермия; светотехника; электрические измерения и приборы; электротехнические материалы; электротехнические стандарты, правила, нормы и терминология.

Журнал «Электричество» уделяет особое внимание вопросам внедрения новой передовой техники в области электрификации народного хозяйства СССР.

Журнал систематически освещает вопросы истории русской электротехники.

Кроме основных научно-технических материалов, в журнале помещаются: Дискуссии; Обзоры и рефераты; Хроника; Критика и библиография.

В журнале принимают участие виднейшие ученые и специалисты — электротехники Советского Союза.

**Годовым подписчикам на журнал будет выслан в качестве приложения специальный Календарь-Справочник на 1950 г.**

**ПРИНИМАЕТСЯ  
ПОДПИСКА**

Городскими и районными  
отделениями Союзпечати

12 номеров в год  
(144 печатных листа)

**ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:**

<b>12</b>	месяцев	<b>96</b>	руб.
<b>6</b>	"	<b>48</b>	"
<b>3</b>	"	<b>24</b>	"