

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1946 .

12

ЖУРНАЛ
ОСНОВАН
в 1880 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

12
1946
ДЕКАБРЬ

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

СОДЕРЖАНИЕ

<i>М. А. Шателен</i> —Собрание международных энергетических объединений в 1946 г.	3
<i>А. А. Глазунов</i> —Некоторые вопросы электрических станций и сетей	6
<i>Е. М. Цейров</i> —О некоторых вопросах газодинамики воздушного выключателя	14
<i>А. Б. Крикунчик</i> —Упрощение метода расчета токов короткого замыкания для выбора выключателей	23
<i>С. М. Брагин</i> —Исследование электрических характеристик кабельной изоляции на моделях кабеля	23
<i>И. Г. Герценштейн</i> —Распределение пустот в изолирующем слое силовых кабелей	33
<i>А. А. Рабинович</i> —Новые задачи в области электрооборудования для транспорта	33
<i>А. М. Кугушев</i> —О выборе частоты при индукционном нагреве	42
<i>В. И. Вейц</i> —Некоторые вопросы развития энергетики Германии в период войны	48
<i>Ф. А. Горяинов</i> —Время возбуждения регулятора	59
<i>Э. Д. Кравчик</i> —Влияние аксиального смещения ротора на характеристики малых асинхронных двигателей	62
Дискуссии	64
Из истории науки	
<i>А. К. Тимирязев</i> — Александр Григорьевич Столетов (к 50-летию со дня смерти)	68
Стандарты	71
Хроника	75
Библиография	80
Рефераты	83
Указатель материалов, помещенных в журнале Электричество в 1946 г.	88



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

Ответственный секретарь инж. **Я. А. Климовицкий**

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

Собрания международных энергетических объединений в 1946 г.

Член-корреспондент Академии наук СССР М. А. ШАТЕЛЕН

Летом 1946 г. возобновили после войны свою деятельность международные энергетические организации, объединяющие энергетиков всего мира. До войны Союз ССР принимал в работах этих объединений самое деятельное участие. Комитет по участию СССР в международных энергетических объединениях представлял нашу страну в следующих пяти крупнейших международных объединениях:

1. Международная конференция по сетям высокого напряжения электрических систем (Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques) с центром в Париже.

2. Международная электротехническая комиссия (International Electrotechnical Commission) с центром в Лондоне.

3. Мировая энергетическая конференция (World Power Conference) с центром в Лондоне.

4. Международная комиссия по освещению (Commission Internationale de l'Eclairage) с центром в Лондоне.

5. Международная комиссия по большим плотинам (Commission Internationale des Grands Barrages) с центром в Париже.

Комитет организовывал участие СССР в собраниях этих объединений, подготовлял доклады, издавал труды конференций и их рабочих комитетов и т. д.

В начале второй мировой войны деятельность комитета была прекращена и возобновилась лишь весной текущего года. Председателем вновь учрежденного при Министерстве электростанций Комитета по участию СССР в международных энергетических объединениях был назначен академик Б. Е. Веденев, заместителем председателя — член-корреспондент Академии наук СССР М. А. Шателен, членами — проф. А. А. Глазунов, проф. В. А. Голубцов, инж. К. Д. Лаврененко.

Центральные организации всех международных энергетических объединений установили

В связи с возобновлением деятельности международных энергетических организаций вновь создан Комитет по участию СССР в международных энергетических объединениях. Делегация СССР участвовала в состоявшихся летом 1946 г. международных энергетических собраниях, где был принят ряд решений, расширяющих возможности дальнейшего участия нашей страны в этих объединениях. В настоящем номере журнала публикуются статьи заместителя председателя Комитета по участию СССР в международных энергетических объединениях, члена-корреспондента Академии наук СССР М. А. Шателена и проф. А. А. Глазунова, посвященные некоторым вопросам Международной конференции по сетям высокого напряжения электрических систем. Обзоры по другим вопросам этой конференции намечено опубликовать в начале 1947 г.

связь с советским Комитетом и известили его о возобновлении их деятельности и о предстоящих международных собраниях.

Первым таким собранием и было собрание Международной конференции по сетям высокого напряжения электрических систем в Париже в июне 1946 г. Собрание было

многочисленным (800 делегатов). Были представлены официальными делегациями более двадцати стран, а именно: СССР, Англия, Аргентина, Бельгия, Болгария, Канада, Дания, Египет, США, Финляндия, Франция, Индия, Иран, Италия, Мадагаскар, Норвегия, Голландия, Польша, Португалия, Швеция, Швейцария, Чехословакия, Тунис, Турция.

Официальными делегатами были также представлены следующие международные объединения: Международная электротехническая комиссия, Бюро международного союза по телесообщениям, Мировая энергетическая конференция и Международный консультативный комитет по телефонии. Были также делегаты от ряда других научно-технических организаций, например, от Американского института инженеров-электриков, Английского института инженеров-электриков, делегаты от Лондонского университета и других подобных учреждений.

В состав делегации СССР входили: проф. М. А. Шателен (председатель), проф. А. А. Глазунов, инж. К. Д. Лаврененко и проф. Е. А. Руссаковский.

Большинство делегаций представило на конференцию по несколько докладов. К сожалению, позднее получение извещения о созыве конференции помешало делегации СССР подготовить свои доклады и члены делегации могли выступать лишь в порядке участия в прениях. Все их выступления были выслушаны конференцией с большим вниманием.

Всего на конференцию было представлено около 110 докладов, которые были распределе-

ны по трем секциям: 1 — производство, трансформация и отключение тока; 2 — конструкция, изоляция и эксплуатация воздушных и кабельных линий; 3 — эксплуатация, интерконнекция и защита сетей электрических систем. Доклады могут быть разбиты на следующие группы: первая секция: а) постоянный ток; б) генераторы; в) выпрямители (ртутные); г) трансформаторы; д) трансформаторное масло; е) выключатели переменного тока; ж) измерения и измерительная аппаратура; вторая секция: а) конструкция воздушных линий; б) кабели; в) изоляторы; г) электролитическая коррозия; д) телепередача; е) влияние линий сильного тока на линии связи; третья секция: а) координация изоляции; б) координация элементов системы по термическим характеристикам; в) заземление нулевой точки; г) релейная защита; д) параллельная работа электрических систем; е) перенапряжения и защита от них.

Особое внимание конференция уделила вопросам передачи энергии на большие расстояния как постоянным током высокого напряжения, так и трехфазным током при напряжении порядка 400 000 V, а также вопросам преобразования переменного тока в постоянный и обратно, вопросам конструкций опор, изготовления кабелей для высокого напряжения и т. д. Французскими конструкторами были изготовлены образцы подземных моделей кабелей для постоянного тока напряжением до 1 200 000 V между проводами и для переменного тока для напряжений в 400 000 V. Из докладов и прений выяснилось, что исключительный интерес проявила к передаче постоянным током Швеция, которая надеется этим способом передавать энергию шведских и норвежских гидроэлектростанций на континент. Вопрос о таком использовании скандинавских гидроресурсов не нов, он поднимался уже не раз, но решить его при применении трехфазного тока не удавалось.

Вопросу о применении трехфазного тока напряжением порядка 400 000 V более всего уделено внимание во Франции. Около Парижа уже осуществлен опытный участок линии для экспериментирования с этим напряжением, строятся линии с опорами, рассчитанными на передачу энергии при напряжении в 400 000 V, на которых временно монтируются линии в 220 000 V.

Как известно, вопросы о передаче энергии при напряжении порядка 400 000 V разрабатывались в СССР в связи с проблемой передачи энергии проектировавшейся Куйбышевской ГЭС в Москву; были получены очень ценные результаты, представляющие большой научный и технический интерес. В Ленинградском политехническом институте им. Калинина была, например, построена лаборатория, устройство которой позволяет передавать через опытную линию импульсы напряжением до 8 млн. V. Война задержала начатые исследования, имеющие, как показали прения на конференции, большое практическое значение.

Французские инженеры, располагающие уже большим опытом работы с подземным кабелем в

220 000 V, представили доклады и о кабелях более высокого напряжения, до 1 200 000 V постоянного тока.

В прениях с большим вниманием были выслушаны выступления представителей СССР о применяемых у нас для линий электропередач высокого напряжения деревянных опорах и особенно о разработанном в СССР методе ремонта высоковольтных линий под напряжением.

Интерес к работам в СССР был настолько велик, что нам было предложено в виде исключения из правила, по которому все доклады представляются за 3 мес. до конференции, представить до 10 докладов после конференции с тем, чтобы эти доклады были помещены в издаваемых трудах конференции.

При Конференции по сетям высокого напряжения электрических систем в настоящее время возобновили свою работу постоянные рабочие комитеты по отдельным вопросам: 1) по изолирующим маслам; 2) по расчетам воздушных линий; 3) по кабелям и муфтам; 4) по реактивным явлениям; 5) по изоляторам; 6) по выключателям; 7) по линиям с напряжением выше 220 000 V; 8) по постоянному току высокого напряжения.

В дальнейшем решено образовать Комитет по использованию атомной энергии.

Эти комитеты собирались в Париже и некоторые из них представили на конференцию сообщения о своих работах. Комитет по участию СССР в международных энергетических объединениях получил предложение ввести в эти рабочие комитеты своих представителей.

В последние дни конференции были созданы: собрание административного совета и общее собрание конференции. На этих собраниях был принят ряд постановлений, касающихся дальнейшей работы конференции, и произведены выборы в органы управления. Вице-президентом и членом административного совета был избран и представитель СССР М. А. Шателен.

Одним из важных постановлений конференции было признание русского языка равноправным с языками французским и английским, которые до этого были единственными, допускавшимися на конференции. Одновременно Комитет по участию СССР в международных энергетических объединениях получил право издания всех трудов конференции на русском языке. Это решение имеет особое значение не только для СССР, но и для всех славянских стран, для которых русский язык является гораздо более доступным, чем английский и французский.

Работы конференции закончились посещением делегатами наиболее интересных с энергетической точки зрения районов Франции (Альпы, Пиренеи) и осмотром некоторых Парижских крупных электрических станций и подстанций высокого напряжения, а также установок, связанных с передачей энергии по подземному кабелю трехфазным током в 220 000 V.

Следующее пленарное собрание конференции будет происходить в Париже в 1948 г., собрание

же административного совета и некоторых рабочих комитетов намечено на весну 1947 г. в Нью-Йорке.

Второй международной энергетической организацией, собиравшейся в 1946 г., была Международная электротехническая комиссия (МЭК). Как известно, это старейшее из международных электротехнических объединений создано в начале текущего столетия. Задачей Комиссии является разработка разного рода норм, правил, терминологии и т. п. в области электротехники. Комиссия объединяет электротехников почти всех стран мира. За период своего существования МЭК разработала большое количество вопросов, связанных с ее задачами. Все изданные Комиссией нормы и правила, в числе более 30, опубликованы на русском языке Комитетом по участию СССР в международных энергетических объединениях. Уже в период войны были выпущены на русском языке нормы для ртутных преобразователей.

В составе Международной электротехнической комиссии также работает ряд рабочих комитетов по отдельным вопросам, к участию в которых привлечены и представители от СССР.

В июле 1946 г. в Париже было собрано не пленарное собрание Международной электротехнической комиссии, а только собрание Совета комиссии. В заседании Совета приняли участие представители 17 стран, в числе 48 чел. Совет, кроме текущих вопросов (избрание должностных лиц, обсуждение мест и сроков собраний Комиссии и ее рабочих комитетов), занялся, главным образом, вопросами о деятельности рабочих комитетов и об отношениях МЭК со вновь организуемой при Объединенных нациях «Международной координирующей ассоциацией по стандартизации» (International Standards Coordinating Association—ISCA). По второму вопросу было принято решение, сводящееся к тому, что МЭК соглашается принять на себя функции электротехнического сектора новой организации, сохраняя, однако, полную самостоятельность и свои методы работы и продолжая полностью прежнюю деятельность. Детали соглашения должны быть установлены в дальнейшем на специальном совещании, которое должно быть созвано осенью 1947 г. в Лондоне.

Вопрос о деятельности рабочих комитетов и срочности возложенных на них задач вызвал оживленный обмен мнениями. Все комитеты были разделены на четыре группы А, В, С и D. В группу А вошли комитеты, работа которых признается весьма срочной, которые должны собраться еще в текущем году, в группу D — комитеты, работа которых связана с работой по

стандартизации. В группы В и С вошли остальные рабочие комитеты, которые еще должны выполнить некоторые подготовительные работы. Кроме того, создан новый рабочий комитет по сверхвысоким напряжениям. Дальнейшая работа по созыву рабочих комитетов и общего собрания поручена избранному Советом Комитету действия, в состав которого введен представитель СССР М. А. Шателен.

Совет международной электротехнической комиссии принял также предложение о предоставлении русскому языку тех же прав, какими пользуются языки французский и английский.

Третьим международным объединением, с которым советская делегация установила связь для дальнейшей работы, была Мировая энергетическая конференция. При переговорах с генеральным секретарем конференции было определено, что и в Мировой энергетической конференции русский язык признается равноправным с английским и французским и что представитель СССР вводится в руководящие органы конференции.

Таким образом, на имевших место летом 1946 г. международных собраниях был принят ряд решений, с одной стороны, расширяющих возможности участия СССР в трудах международных энергетических объединений (признание русского языка, право издания трудов на русском языке и др.), но в то же время налагающих на советские энергетические организации определенные обязательства. Энергетические организации СССР должны, во-первых, развить деятельность по подготовке своих докладов и сообщений, которые выполняют за рубежом серьезную роль в информации о достижениях советской науки и техники в области энергетики, во-вторых, добиться своевременного издания на русском языке трудов международных организаций.

Эти задачи должны выполняться Комитетом по участию СССР в международных энергетических объединениях при активном содействии всей советской научно-технической энергетической общественности. На Комитете лежит еще важная обязанность всемерно способствовать широкому ознакомлению наших инженеров и научных работников с теми материалами, которые докладываются на международных энергетических собраниях.

Выполнение всех этих задач будет иметь большое значение как для развития мировой научно-технической мысли в области энергетики, так и для дальнейшего прогресса энергетики СССР в новой Сталинской пятилетке.



Некоторые вопросы электрических станций и сетей

(По материалам Международной конференции по сетям высокого напряжения электрических систем, Париж, 1946)

Доктор техн. наук, проф. А. А. ГЛАЗУНОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Одной из самых важных проблем, стоявших в центре внимания Международной конференции по сетям высокого напряжения электрических систем, явилась передача электроэнергии на большие расстояния постоянным током. Основные доклады по этой проблеме были представлены делегатами Швеции. Как выяснилось, в Швеции ведутся крупные работы по изучению и освоению передачи электроэнергии постоянным током. Интенсивная научная разработка этих вопросов в Швеции, повидимому, объясняется следующими обстоятельствами.

Выработка электроэнергии в Швеции достигла величины порядка 18 млрд. kWh. Около 95% энергии вырабатывают гидроэлектрические станции. На севере Швеции имеются еще большие неиспользованные запасы гидроэнергии. Насыщенность Швеции электроэнергией ставит вопрос о транспорте ее в другие страны, что связано с передачей значительных мощностей на большие расстояния. При передаче энергии в европейские страны придется пересекать морские проливы, что может быть осуществлено относительно просто только кабельными линиями. Изготовление кабелей на очень высокие напряжения для постоянного тока несравненно проще и дешевле, чем для переменного тока. Применение постоянного тока в пределах Скандинавского полуострова также даст экономические и технические преимущества.

Директор Государственного бюро по гидроэнергии Швеции W. Borgquist в начале своего доклада привел следующий перечень выполненных установок постоянного тока:

1. Передача Wettingen—Zürich, осуществленная фирмой Броун-Бовери. Протяженность линии 30 км при напряжении 50 kV. На каждом конце линии установлено 6 ртутных выпрямителей. Ток в линии — 10 А. Установка допускала работу в течение 1 h при токе 20 А.

Проблема передачи электроэнергии постоянным током вызвала большой интерес на Международной конференции по сетям высокого напряжения электрических систем. В основных докладах на эту тему дана характеристика выполненных в Швеции установок постоянного тока. Подчеркивается вместе с тем неуклонный прогресс передачи электроэнергии переменным током и рост мощных объединенных систем. В статье дан также обзор докладов по электрическим сетям Франции. Отмечается распространенность сетей 150 kV. Освещены пути решения важных конструктивных вопросов, связанных с проектированием линий электропередачи при напряжении 400 kV. В заключение реферирован доклад английских делегатов о новой схеме коммутации электростанций.

Мощность передачи составляла, следовательно, 500—1 000 kW.

2. Экспериментальная установка на гидроэлектрической станции Biaschina, выполненная Броун-Бовери, с двумя шестигранодными ртутными выпрямителями. Напряжение постоянного тока 33 kV. Выпрямители работали на водяные сопротивления, или на катушки самоиндукции. Установка могла осуществлять преобразование переменного тока в постоянный и обратно. Последовательным включением трех таких выпрямителей при трехфазном выполнении установки можно было получить напряжение постоянного тока 110 kV и ток 400 А, что соответствовало бы мощности передачи 40 000 kW.

3. Установка постоянного тока в США для связи двух несинхронно работающих систем (Carnegie J. Steel Co). Напряжение постоянного тока 30 kV. Установка состоит из 48 одноанодных ртутных преобразователей, выполненных на напряжении 15 kV. Длительный расчетный ток преобразователя 150 и 200 А при двухчасовой работе, максимальный мгновенный ток анода 900 А. Мощность каждой группы преобразователей — 10 000 kW. Эксплуатация установки началась в 1943 г. и дает удовлетворительные результаты.

4. Опытная установка в США Schenectady—Mechanicville на напряжение 27 kV и ток 175 А. Мощность передачи 4 800 kW.

5. Передача постоянным током Elbe—Berlin длиной 160 км при напряжении 2×200 kV с использованием земли в качестве нулевого провода. В каждую фазу включалось последовательно три ртутных преобразователя. Передача осуществлялась кабельной линией. Максимальная передаваемая мощность — 60 000 kW. Расчетная мощность по ряду причин

не передавалась. Наибольшая передаваемая мощность достигала 25 000 kW.

6. Опытная установка в Швеции Trollhättan—Mellerud с передачей длиной 50 km. Напряжение передачи 2×45 kV при токе 72 A, что соответствует мощности 6 500 kW. Предвидена возможность работы по трехпроводной системе с использованием земли в качестве нулевого провода и по системе провод—земля. Система провод—земля позволит изучить влияние тока в земле на рельсы железных дорог, коррозию кабелей, трубопроводов и т. д.

На каждом конце передачи имеется по 12 ртутных преобразователей. Установка еще не закончена полностью. Наибольшая продолжительность ее работы 110 h при напряжении 40 kV и токе 50 A. На обоих концах установки возможно осуществление преобразование переменного тока в постоянный и обратно.

Результаты всех этих опытов передачи постоянным током докладчик считает очень обнадеживающими. Они позволяют ставить вопрос о выполнении промышленных передач постоянного тока, работающих с напряжением 2×250 kV при токе 400 A. Такие линии будут передавать мощности порядка 200 000 kW.

В Швеции приступили к проектированию передачи постоянного тока на напряжение 250 kV и ток 400 A на расстояние 500 km.

Докладчик одновременно указывает, что внедрение постоянного тока не означает прекращение развития передачи энергии переменным током. Опыт работы сетей 220 kV переменного тока в Швеции показал надежность и экономичность их эксплуатации. На сеть 220 kV работают не только электростанции Швеции, но и Норвегии. Суммарная мощность параллельно работающих станций составляет величину порядка 3 млн. kW. Наиболее удаленные друг от друга станции этой сети находятся на расстоянии 1 600 km. По сети передаются мощности до $500 \cdot 10^3$ kW на расстояния 400—600 km. Надежность работы этой системы достигается применением быстродействующего возбуждения, снижением реактивного сопротивления генераторов и трансформаторов, использованием синхронных компенсаторов, быстродействующим повторным включением, автоматическим регулированием мощности на сильно загруженных участках сети и т. д.

В сети 220 kV, протяженностью 2 310 km, в течение 10 лет была только одна авария, повлекшая за собой относительно длительный перерыв в подаче энергии, если не учитывать аварии, вызванные необычными обстоятельствами (например, повреждением линий аэростатами воздушного заграждения и взрывом скалы). На линиях с высоким расположением тросов, при хорошем их заземлении поражаемость линий молниями составляет 0,62 на 100 km линий. При низком положении тросов и плохом заземлении поражаемость — 1,25 на 100 km. Примерно половина ударов молнии приводит к однополюсному замыканию на землю, из которых 75% ликвидируется катушками Петерсена.

С севера Швеции в ее центральную часть идут четыре параллельных линии 220 kW, работающие близко к пределу мощности. Выпадение из работы одной из этих линий, приводящее к уменьшению передаваемой мощности на 100—150·10³ kW, не вызывает расстройства системы, поскольку эта мощность не превышает 3—5% от суммарной мощности системы. Происходит только снижение частоты, примерно на 1%. Передача с севера Швеции сейчас усиливается сооружением еще двух линий 220 kV.

Стоимость передачи энергии переменным током на расстояния, не превышающие 500 km, докладчик оценивает в 3 доллара за 1 киловатт-год. По его мнению передача постоянным током будет выгодна при длине линии порядка 600 km. Сопоставление стоимостей передачи энергии постоянным и переменным токами приведено в таблице.

Стоимость передачи энергии в долларах за 1 киловатт-год

Длина линий, km	Передаваемые мощности, 10 ³ kW					
	200		400		800	
	переменный ток	постоянный ток	переменный ток	постоянный ток	переменный ток	постоянный ток
500 . . .	6,33	5,40	4,41	4,15	3,34	3,32
750 . . .	8,98	7,34	6,15	5,45	4,55	4,06
1 000 . . .	11,70	9,12	7,96	6,83	5,76	4,96

При составлении таблицы было принято:
1) стоимость 1 kWh на станции — 0,16 цента;
2) годовое число часов использования — 8 000;
3) ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и т. д. — 8,5%.

Докладчик утверждает, что повышение напряжения переменного тока до 300—400 kV не должно вызвать каких-либо серьезных затруднений. Новая планируемая линия с севера Швеции в ее центральную часть, протяженностью около 900 km, проектируется для работы при напряжении 220 kV. Конструкция линии допускает в дальнейшем или повысить напряжение переменного тока, или подвесить четыре провода линии постоянного тока. Запроектированный сталеалюминиевый провод с сечением 685/87 mm² и внешним диаметром 38 mm позволит поднять напряжение переменного тока до 300 kV.

По подсчетам доктора Ehrenspreger, стоимость кабеля постоянного тока высокого напряжения будет на 20% выше, чем стоимость воздушной линии. Докладчик считает поэтому правильным вести работы по изысканию конструкций воздушных линий постоянного тока. Современные средства позволяют обеспечить надежную работу линий постоянного тока и при выполнении их воздушными. Стоимость преобразовательных подстанций на отправном и приемном концах оценивается примерно в 7,5 долларов за 1 kW.

Тесно связан с предыдущим докладом доклад профессора Гетеборгского технологического университета. R. Lundholm об опытах по протеканию постоянного тока в земле.

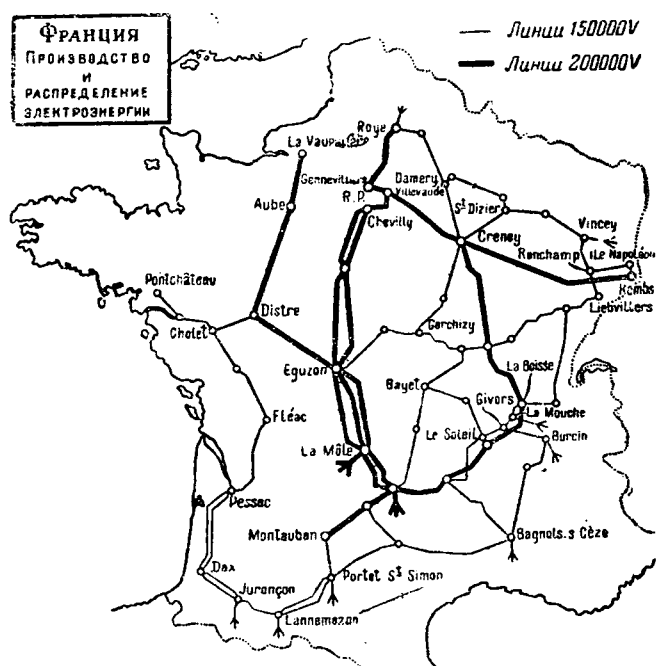


Рис. 1.

Опыты были проведены с целью исследования токов, по оболочкам телеграфных и телефонных кабелей и по железнодорожным рельсам, и для выяснения влияния тока в земле на реле блокировки и сигнализации железных дорог.

Эти опыты имеют для Швеции актуальный интерес.

Большая часть Швеции расположена на скалистых грунтах, покрытых небольшой толщей «мягких» грунтов. Сопротивление скалистых грунтов велико и составляет около $10\,000\ \Omega\cdot\text{м}$. Такая структура почвы определяет протекание тока в верхних слоях почвы, где проложены кабели, и т. д.

Для проведения опытов использовались передвижные преобразователи и существующие линии электропередачи. При одном опыте электроды находились на расстоянии 50 км. При другом опыте электроды были удалены друг от друга на расстояние 315 км. Электроды присоединялись к линии 220 кВ, все три провода которой включались параллельно. Ток в первом опыте был 20 А, во втором — 170 А. Во время второго опыта во избежание расстройств движения и связанных с этим опасностей железнодорожное движение в центральной Швеции было остановлено на 5 мин.

Опыты приводят автора к тому выводу, что при больших токах в земле будет наблюдаться коррозия оболочек кабелей. Район распространения коррозии растет с увеличением силы тока в земле. При токах около 1000 А влияние на кабели скажется на площади с радиусом в несколько десятков километров.

Сигнальные реле железнодорожных линий при некоторых опытах пришли в действие, что долж-

но повлечь за собой расстройство железнодорожного транспорта. Необходимо отметить, что шведские железные дороги оборудованы реле постоянного тока.

Докладчик от шведского государственного бюро по гидроэнергии В. Henning остановился на опытах по исследованию потерь на корону и на радиопомехах, вызываемых линиями постоянного тока. Опыты проводились в Институте высокого напряжения Упсальского университета. Исследовались провода с диаметрами 27,7 и 33,9 мм. До этого времени эксперименты проводились только с проводами средних диаметров. Опыты показали, что: 1) при равных потерях на корону в линиях постоянного и переменного токов максимальное напряжение выпрямленного тока может быть выше на 30% максимального напряжения переменного тока; 2) при одинаковых радиопомехах максимальное напряжение выпрямленного тока должно быть не выше, чем на 10% по сравнению с максимальным напряжением переменного тока.

Кроме указанных докладов от Швеции доктор В. Лапп представил доклад о преобразовательных подстанциях с ртутными выпрямителями.

Второй докладчик по передаче энергии постоянным током — Ehrenspreger (Швейцария) считает, что постоянный ток будет выгодно применять при дальности передачи 200—500 км.

Несколько докладов на конференции было посвящено электрическим сетям Франции.

Конфигурация высоковольтных сетей Франции определяется географическим расположением природных энергетических ресурсов и нагрузок. Некоторое представление об электрических сетях Франции дает рис. 1, на котором показаны основные магистрали 150 и 220 кВ. Линии 220 кВ проходят с юга на север и служат для передачи энергии от гидравлических станций, расположенных в Альпах, Центральном горном массиве и в Пиренеях, в крупные центры потребления, например Париж и т. д.

Линии различных напряжений образуют замкнутую сеть, состоящую из большого числа контуров. Часть контуров образована линиями различных напряжений, связанными через трансформаторы. Основная сеть электрической системы состоит из линий: 220 кВ протяженностью 4300 км, 150 кВ — 7000 км, 120—1100 км и 90 кВ — 3500 км.

Линии 150 кВ, опирающиеся на электростанции и подстанции 220 кВ, служат для передачи и распределения электроэнергии по стране. Линии 120 и 90 кВ выполняют роль распределительных сетей, причем линии 90 кВ в основном распределяют электроэнергию подстанциям электрифицированного железнодорожного транспорта.

Интересно отметить, что во Франции принято решение не строить больше линий с напряжением 120 кВ. Развитие сети будет вестись на напряжениях 220, 150 и 90 кВ. Предполагается

вести напряжение 300—400 kV переменного тока.

Приведенные цифры характеризуют структуру сети и показывают с очевидностью ее большую пропускную способность и эластичность. Нам представляется, что развитие сетей 150 kV определяется правильным экономическим подходом к решению задачи выбора напряжения сети.

Опоры воздушных линий 90—220 kV во Франции выполняются металлическими. Сечения проводов линий выбираются по условиям, близким к экономически выгодной работе. В результате — стоимость сооружения линий 150 kV не на много больше, чем линии 120 kV, а эксплуатационные расходы при передаче и распределении сколько-либо значительных мощностей ниже при напряжении 150 kV. В СССР внедрение напряжения 154 kV задерживается в основном потому, что линии 110 kV сооружают на деревянных опорах, а 154 kV — на металлических. При таких различных конструктивных решениях искажается соотношение стоимостей линий 110 и 154 kV. Это приводит при расстояниях и передаваемых мощностях, характерных для СССР, к неоправданному широкому развитию сетей 110 kV и относительно малому развитию сетей более высокого напряжения. Изучение опыта Франции с этой точки зрения является очень желательным.

Работа сети с многими замкнутыми контурами, образуемыми линиями разных напряжений, требует внимательного изучения вопросов, связанных с распределением мощностей в сети, как при нормальных, так и при аварийных режимах. Неправильное распределение мощностей в сети ведет к значительному увеличению потерь мощности и энергии. Один из типичных коммутационных узлов сети Франции изображен на рис. 2.

Наличие трансформаторной связи и несоответствие сопротивлений линий 150 и 220 kV их пропускным способностям приводит к плохому использованию линий высшего напряжения. Шунтирование линий одного напряжения линиями другого напряжения может повлечь за собой расстройство системы в аварийных режимах. Выпадение из работы какого-либо звена системы может вызвать перегрузку других элементов и их отключение. Все указанные обстоятельства требуют тщательного изучения многих режимов работы системы, что и осуществляется на модели сети переменного тока. Для случаев, не требующих большой точности решений, используются столы постоянного тока. Набор схемы в этих случаях производится по реактивным сопротивлениям элементов системы.

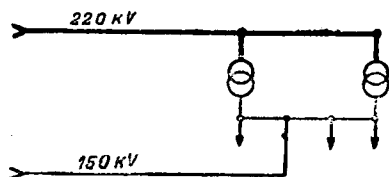
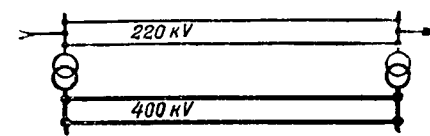
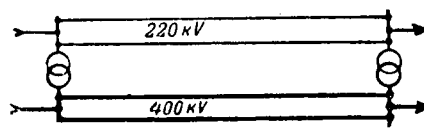


Рис. 2.



а



б

Рис. 3.

Обеспечение требуемого распределения мощностей по сети достигается следующими основными мероприятиями: рациональным присоединением нагрузок, делением сетей низшего напряжения и применением трансформаторов с продольной и поперечной регулировкой напряжения. Идею рационального присоединения нагрузок иллюстрирует схема рис. 3. При питании по схеме рис. 3,а обеспечить нужное распределение мощностей можно только при помощи регулируемых трансформаторов. При питании по схеме рис. 3,б соответствующий подбор нагрузок на различных напряжениях позволит рационально использовать линии обоих напряжений. Присоединение нагрузок в желательном соотношении к шинам различных напряжений подстанции требует учета этого обстоятельства при сооружении и развитии подстанции. Деление сетей низшего напряжения на отдельные участки используется при нормальных и аварийных режимах работы системы. При аварийных режимах деление сети производят соответствующей релейной защитой. При авариях, сопровождающихся снижением частоты, осуществляется автоматическая разгрузка по очередям при помощи реле понижения частоты.

Трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой для установления экономически целесообразного распределения мощностей по сети по Франции почти не используются.

Мощности, передаваемые от гидроэлектрических станций, расположенных на юге Франции, в промышленные районы северной части страны, непрерывно возрастают. В 1935 г. передавалось $250 \cdot 10^3$ kW, в 1945 г. — $500 \cdot 10^3$ kW. В 1955 г. предполагается передавать около 1 000 000 kW. Такое возрастание передаваемой мощности при использовании только напряжения 220 kV приведет к необходимости сооружения большого числа параллельных линий, что вызовет большие капитальные и эксплуатационные расходы и значительно усложнит эксплуатацию сети. Отметим, что в настоящее время с юга на север Франции уже идут три цепи 220 kV.

Указанные соображения заставили при строительстве нового участка сети Breuil—Paris предвидеть возможность применения более высокого напряжения, чем 220 kV. Следующей возможной ступенью считается напряжение 350—400 kV. Ввести это напряжение немедленно не позволяет отсутствие соответствующих трансформаторов и аппаратуры. Требуется, кроме то-

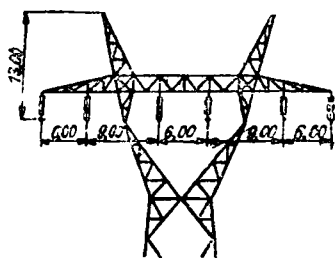


Рис. 4.

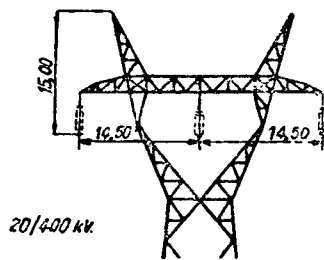


Рис. 5.

го, проведение ряда научно-исследовательских работ. Было принято поэтому решение построить опоры, на которых сначала будет подвешено две цепи 220 кВ, затем линия будет перемонтирована на одноцепную, работающую с напряжением 350—400 кВ.

Опора, допускающая переход от двух цепей к одной цепи повышенного напряжения, при рациональном использовании материалов, должна иметь горизонтальное расположение проводов. При подвеске цепей 220 кВ расстояния между проводами будут 6—9 м (рис. 4). При монтаже линии 400 кВ расстояние между проводами составит 14,5 м (рис. 5). Полная высота нормальной промежуточной опоры — 39,2 м, а до нижнего обреза траверзы — 29,2 м. Тросы на линии 400 кВ будут выше проводов на 15 м, а на линии 220 кВ выше на 12 м. Общий вид опоры дан на рис. 6.

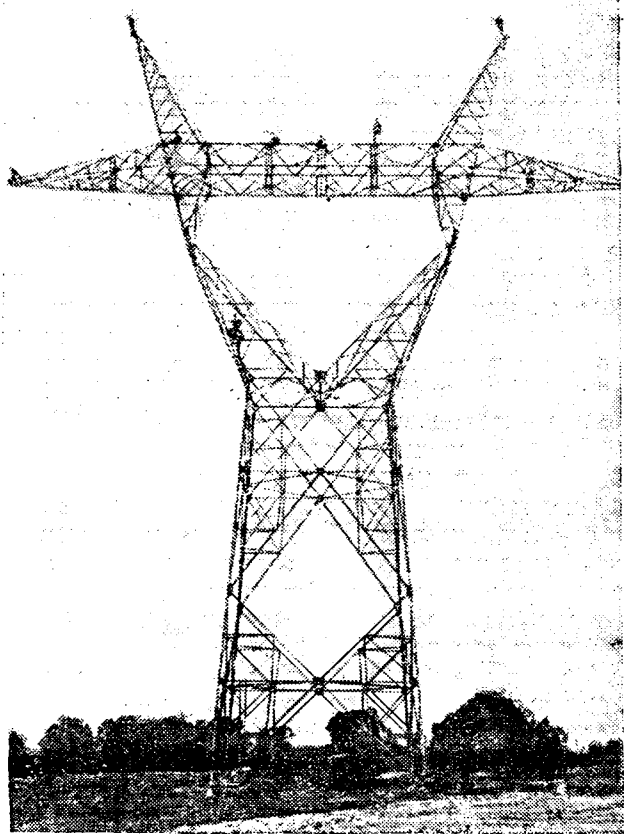


Рис. 6.

Удлинение гирлянды изоляторов с 3 м при 220 кВ до 5 м при напряжении линии 400 кВ компенсируется уменьшением стрелы провеса провода. Уменьшение стрелы провеса достигается не перенапряжением материала провода, а за счет увеличения сечения провода. На линиях 220 кВ провод имеет внешний диаметр 26,4 мм (сечение 411 мм²), в то время как при напряжении 400 кВ потребуется провод с диаметром около 50 мм. Средний пролет на линии — 518 м. Расход металла на 1 км составляет 37 т. При сооружении двух одноцепных линий 220 кВ расход металла на 1 км составил бы 40 т. Ко времени нашего пребывания в Париже опоры были установлены.

Вопрос о типе провода для линии 400 кВ окончательно еще не решен. От пустотелого витого сталеалюминиевого провода отказались из опасений возможной коррозии его сердечника под действием сконденсировавшейся внутри провода влаги. Рассмотрены еще две конструкции провода. Одна — с внутренним пустотелым сердечником из пластмассы, покрытым однослойным повивом стальных проволок и однослойным повивом круглых алюминиевых проволок, поверх которых наложен повив из фасонных алюминиевых проволок. Диаметр провода — 45 мм. От этой конструкции провода также пришлось отказаться ввиду неясности вопроса о стойкости пластмассы при длительной работе провода. Проектанты считают, что при сооружении линии 400 кВ необходимо исходить из срока службы линии 50 лет.

Конструкция провода, которая считается наиболее целесообразной, состоит из стального сердечника, свитого из 37 стальных проволок. На сердечник накладываются два повива из трубчатых алюминиевых проволок, поверх которых имеется повив из фасонных алюминиевых проволок, обеспечивающих гладкую цилиндрическую поверхность. Диаметр провода 45 мм.

В последнее время возникла идея о возможности использования для линии 400 кВ проводов, подвешенных на линиях 220 кВ. Проводятся экспериментальные работы, целью которых является исследование линии с «расщепленными проводами». Каждая фаза линии будет состоять из двух параллельно включенных проводов, перевешиваемых с линий 220 кВ, смонтированных на этих же опорах. Первые опыты, проводимые на специально выстроенном участке линии, преследовали цель выяснить работу провода под действием электродинамических усилий, возникающих при прохождении тока по двум параллельным проводам, удаленными друг от друга на расстоянии нескольких десятков сантиметров. Опыты показали, что при токах ожидаемых по линии, будет наблюдаться сближение и соприкосновение проводов одной и той же фазы. Борьбу с этим явлением предполагается вести установкой «распорок», удерживающих провода на определенном расстоянии друг от друга. Число «распорок» определяется опытами. Изменение расстояния между проводами одной и той же фазы повело бы к значительному изменению па-

раметров передачи, поскольку от расстояния между проводами зависит самоиндукция и емкость линии.

Возникают большие сомнения в возможности значительного снижения градиентов электрического поля за счет подвески только двух проводов. Французские инженеры отдают себе отчет в трудности этой задачи и проверку потерь на корону предполагают произвести опытным путем.

Bianchi дал в своем докладе описание интересных конструкций опор, применяемых в последнее время на итальянских воздушных линиях с напряжением 70—230 kV. Один из типов опор линий 230 kV изображен на рис. 7. Нижняя часть опоры, высотой 0,4—0,5 от общей высоты опоры, выполнена в виде пирамиды с небольшим уклоном граней. Нижняя часть опоры «повернута». Квадрат, получаемый при сечении базы опоры горизонтальной плоскости, расположен так, что одна из диагоналей совпадает с направлением трассы линии. Впервые такой поворот основания опоры был осуществлен на линии 287 kV от гидроэлектростанции Boulder-Dam. На основание опоры поставлены две трехгранные пирамиды, поддерживающие траверзу. Тросы укрепляются в вершинах треугольных пирамид, составляющих единую конструкцию с траверзой опоры. Траверза также имеет треугольное сечение.

Опоры для линий 70—110 kV имеют обычную схему. Опоры изготавливаются из тонкостенных труб специальной стали, имеющей повышенную механическую прочность. Соединение всех элементов опор производится сваркой. При проектировании опор делались испытания целых звеньев опор, причем нагрузки доводились до разрушающих.

Докладчик подчеркивает, что применение труб и сварки позволило отказаться в ряде случаев от конструирования звеньев опор по обычной принятой форме, при которой звенья дают в сечении квадрат или прямоугольник. Трехгранная форма звеньев часто является наиболее рациональной и позволяет получить нужную механическую прочность при наименьшем расходе металла.

Применение труб из специальной стали и использование новых схем позволило значительно снизить вес и стоимость опор воздушных линий. Новые конструкции дают 50% экономии металла и до 20% экономии первоначальных затрат. Докладчик считает, что при более тщательном проектировании и лучшей организации работ по изготовлению опор сбережения в первоначальных затратах составят величину порядка 30%.

Интересно отметить, что во Франции для опор воздушных линий также применяется сталь повышенной механической прочности. Добавим, что изготовление опор во Франции всегда велось из сталей, имеющих более высокую механическую прочность, чем наша сталь марки Ст-3. Использование сталей типа Ст-3 считается невыгодным из-за большого веса опор.

Последнее время в Италии вследствие повышения стоимости окраски опор перешли на применение оцинкованной стали.

Е. Evgard (Бельгия) сделал сообщение об «эластичной» линии электропередачи. На одном из участков линии 30 kV с металлическими опорами в 1936 и 1938 гг. были разрушены три соседних пролета линии в результате подвижки почвы. Разрушались опоры и рвались провода. Линия на этом участке реконструирована. Применены железобетонные фундаменты с широким основанием и относительно небольшой глубины. Введена эластичная подвеска проводов, устраняющая жесткое соединение проводов с опорами. Провода натянуты противовесами. После реконструкции линия работает удовлетворительно, несмотря на продолжающуюся подвижку грунта и связанное с этим перемещение опор. Наблюдаемые подвижки опор — велики, например, в 1938 г. было отмечено перемещение одной из опор примерно на 6 м.

По электрическим станциям и подстанциям, если не считать докладов, относящихся к электрическим машинам и аппаратам, был представлен всего один доклад. Английские делегаты S. Mirrey и I. Christie дали доклад о новой схеме коммутации электростанций.

Рациональной следует считать схему коммутации, обеспечивающую соответствующую надежность работы, гибкость эксплуатации, хорошие ремонтные условия при относительно невысоких затратах. Целый ряд электростанций использует схему с двойной системой шин. Схема обеспечивает надежность питания потребителей, позволяет использовать генераторы

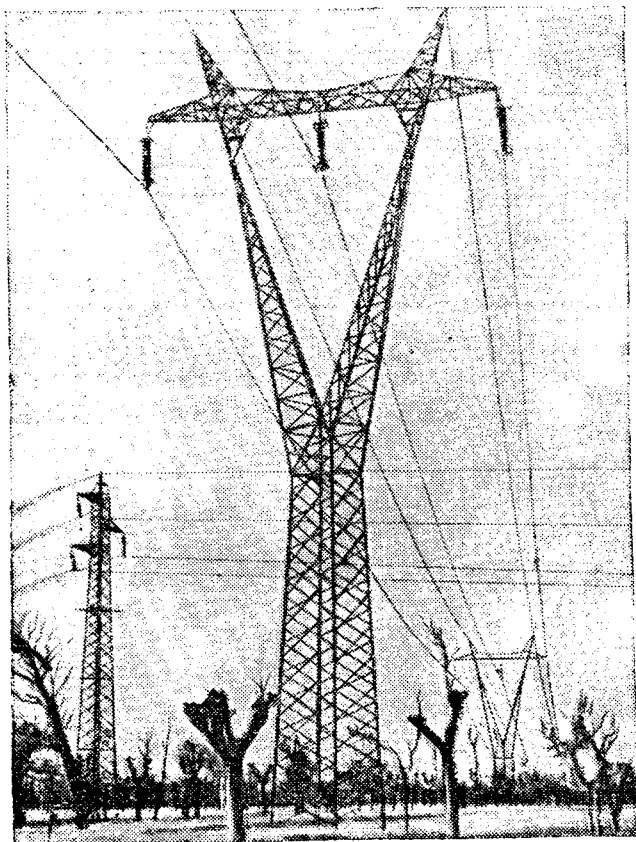


Рис. 7.

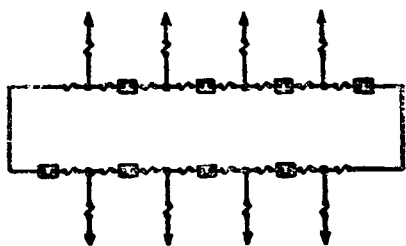


Рис. 8.

ры для испытаний отдельных цепей, допускает секционирование для распределения нагрузок и уменьшения токов короткого замыкания. Двойная система шин является целесообразной на станциях, имеющих большое число генераторов и отходящих фидеров. Она целесообразна также для изолированно работающих станций, т. е. не связанных с электрической системой. Опыт эксплуатации показал, что в случаях передачи большой мощности и требования непрерывности электроснабжения в схеме с двойной системой шин питание должно вестись от различных секций шин и должно быть осуществлено полное разделение двух систем шин друг от друга. При этом не должно быть выноса контактов от обеих систем шин в общую камеру для устройства селективного переключателя. Схема с двойной системой шин при выполнении этих условий требует очень больших затрат и становится неэкономичной.

При дальнейшем рассмотрении схем коммутации авторы доклада исходят из следующих положений:

1. Ряд электростанций, присоединенных к английской сетке (Grid) и отдающих или принимающих большие мощности, являются базовыми станциями. Эти станции имеют небольшое число мощных машин и небольшое число фидеров. Поэтому стоимость соединительных выключателей с необходимыми устройствами составляет большую долю стоимости распределительного устройства.

2. Современные выключатели и комплектные распределительные устройства не требуют столь частых осмотров и ремонтов, в которых нуждались старые типы выключателей и распределительные устройства с открытой установкой аппаратуры.

Неэкономичность схемы с двойной системой шин, в особенности при больших мощностях выключателей и высоких напряжениях, заставляет искать новые схемы коммутации. Наиболее отвечающими поставленным ранее условиям являются две схемы: петлевая (mesh), называемая у нас схемой многоугольника, и кольцевая.

Схема многоугольника (рис. 8) не имеет шин. Управление каждой цепью осуществляется двумя выключателями. Основным преимуществом этой схемы является отсутствие шин. Недостатки этой схемы следующие. Защитные реле и измерительные приборы необходимо включать на две группы трансформаторов тока, работающих параллельно, что усложняет цепи вторичной коммутации. Все трансформаторы тока должны быть выбраны не по току цепи, ко-

торую они обслуживают, а по току, протекающему по петле при одном разомкнутом выключателе. Выбор их по этому параметру удорожает установку, а главное, создает затруднения в регулировке реле и подборе трансформаторов тока для измерительных целей, в особенности при большой разнице в токах по цепи и суммарного по петле при размыкании одного из выключателей. Выключатели также должны быть выбраны не по току цепи, а по току в разомкнутой петле.

Основным недостатком петлевой схемы авторы доклада считают отключение двух выключателей и разрыв кольца в случае повреждения какой-либо цепи. Если по каким-либо причинам кольцо уже разомкнуто, например при ремонте одного из выключателей, то отключение одной цепи приводит к делению станции на независимые работающие части. Нарушения в работе не наступит, если в каждой из отделившихся частей будет сохранен баланс мощностей. В противном случае может наступить расстройство работы системы.

Кольцевая схема, допускающая присоединение такого же числа цепей, что и петлевая, имеет ряд преимуществ и более рациональна. Основное отличие кольцевой схемы (рис. 9) от петлевой — установка выключателей в станционных цепях, а не в кольце. Кольцо секционируется разъединителями. Нормальная работа происходит при замкнутом кольце. При ремонтах разъединители отключают соответствующий выключатель и небольшой участок «шин». Основным преимуществом кольцевой схемы является то, что отключение любой цепи при ремонтах не отзывается на надежности работы остальных цепей. Распад станции на отдельные части исключен. Устраняются, кроме того, затруднения, связанные с выбором трансформаторов тока и выключателей не по току цепи, а по полному току, протекающему по кольцу. Развитие кольцевой схемы при расширениях может вестись без перерыва питания потребителей.

Кольцевая схема благодаря наличию секционированного кольца, по гибкости в эксплуатации равноценна схеме с двойной системой шин. Считается возможным несколько колец соединять между собой, образуя при этом из отдельных колец общее кольцо. Отдельные кольца соединяются между собой непосредственно или, если это необходимо, через реакторы.

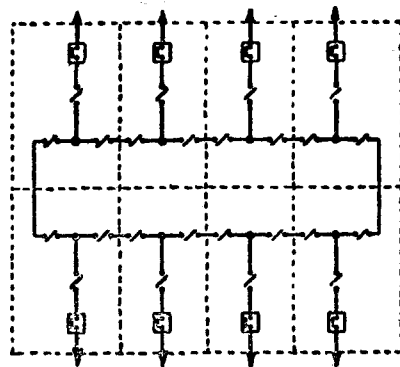


Рис. 9.

Авторы указывают, что при секционировании кольца выключателями схема не может рассматриваться как кольцевая, а должна считаться схемой с одиночной секционированной системой шин.

Впервые кольцевая схема была применена в Англии в 1934 г. на открытой подстанции 66 kV с использованием обычного типа аппаратов. Имеется установка с напряжением 33 kV, выполненная по кольцевой схеме. На этой установке применено комплектное распределительное устройство с заполнением камер газом фреон, имеющим электрическую прочность, в 4,2 раза большую, чем воздух (близкую к электрической прочности масла). В 1941 г. было пущено в работу комплектное распределительное устройство на 66 kV с масляным заполнением, имеющее кольцевую схему. Это распределительное устройство установлено на крупной электрической станции. Распределительное устройство, как и предыдущие два, размещены в здании. Следующая установка с кольцевой схемой была выполнена на напряжение 33 kV с применением комплектного распределительного устройства с воздушной изоляцией. Воздух, заполняющий комплектное устройство, находится под давлением, несколько превышающем атмосферное, и подвергается очистке. Наличие утечки воздуха из камер распределительного устройства предотвращает скопление в них ионизированного воздуха.

Возможность применения схемы кольца, секционированного разъединителями, для установок 132 kV, по мнению авторов доклада должна быть тщательно проанализирована. Кольцевая схема коммутации не допускает устройство байпасов, позволяющих производство ремонтов и осмотров линейных выключателей без отключения линий сети. Байпасы могут быть выполнены только при наличии двойной системы шин или при устрой-

стве специальной трансферной системы шин, т. е. в случаях, когда имеется шиносоединительный выключатель, который и заменяет отключаемый выключатель. При кольцевой схеме устройство трансферной системы шин невозможно.

Несмотря на указанные обстоятельства, авторы все же считают, что кольцевая схема может применяться и на напряжениях 132 kV. Основными мотивами высказываемого положения они считают следующие: Современные электрические станции и подстанции работают в электрических системах, имеющих необходимый резерв в сети, и потому временные отключения линий не могут нарушить питание потребителей, вызвать расстройство работы электросистемы и т. д. Кроме того, на современных электростанциях и подстанциях устанавливается более совершенная аппаратура, чем на выполненных в прежние время установках. Новейшая аппаратура имеет большую надежность и требует меньшего количества отключений для производства ремонтов и осмотров. Ремонт новых выключателей может быть осуществлен быстрее, чем старых, например, многообъемных масляных выключателей. Для ремонта контактов последних требуется спуск масла, работа производится в баке выключателя и т. д., что значительно увеличивает продолжительность ремонта.

Приведенные соображения заставляют авторов доклада считать, что на современных станциях и подстанциях устройство байпасов не является необходимым, как это имело место на прежних установках.

В заключении авторы указывают, что кольцевая схема может применяться в случаях, когда число отходящих цепей не превышает вдвое число питающих цепей. Мотивировки этого положения в докладе не приведено.



О некоторых вопросах газодинамики воздушного выключателя

Кандидат техн. наук Е. М. ЦЕЙРОВ

Всесоюзный электротехнический институт

Воздушный выключатель высокого напряжения представляет собой своеобразный пневматический аппарат, служащий для выключения электрических цепей. Все операции в нем производятся сжатым воздухом.

Основной операцией, как и для выключателя любого другого типа, является гашение электрической дуги. Этому вопросу всегда уделяется весьма большое внимание. Гашение дуги — сложнейшее физическое явление, представляющее интерес как для физиков, так и для техников, и ему посвящена обширная научно-техническая литература. Если рассматривать это явление не изолированно, а как часть общего процесса выключения электрической цепи воздушным выключателем, то необходимо уделить внимание и вспомогательным процессам (работе клапанны-распределительных механизмов выключателя, наполнению гасительной камеры сжатым воздухом, движению ее контактов и т. д.). Вспомогательные процессы оказывают решающее влияние на гашение дуги. Именно они определяют параметры сжатого воздуха, производящего гашение и момент, когда оно становится возможным. Особое значение приобретают эти процессы в связи с требованиями предельно сократить собственное время отключения выключателей. Без ясного представления об их характере и умения их рассчитывать невозможно создать рациональный аппарат. Эти важные элементы процесса выключения электрической цепи не освещены ни в нашей, ни в зарубежной печати, и автор вынужден был заняться их изучением в процессе работы над конструкцией воздушных выключателей.

Принципы устройства пневматической части воздушного выключателя. Рассмотрим работу и принцип устройства основной пневматической части воздушного выключателя высокого напряжения. На схеме (рис. 1) показано включенное положение. Чтобы произвести отключение цепи, необходимо с помощью специального оперативного устройства открыть клапан 3 выключателя.

В связи с намечающимся широким внедрением воздушных выключателей в энергосистемах СССР исследование газодинамики этих аппаратов и разработка методики их пневматического расчета имеют важное значение. В статье впервые освещаются некоторые вопросы газодинамики и расчета пневматики воздушных выключателей, в том числе вопросы расчета питания сжатым воздухом, дифференциального клапана и механизма дугогасительной камеры.

Это повлечет за собой открытие главного пускового клапана 4, открывающего доступ сжатому воздуху в камеру 6 через воздухопровод 5. С этого момента начинается процесс наполнения камеры сжатым воздухом. Давление воздуха в ней стремится поднять поршень 9, механически связанный с подвижным контактом 8. Когда давление воздуха на этот поршень станет равным силе нажатия пружины 11, поршень вместе с ним и подвижный контакт начнут подниматься. В связи с этим между контактами 8 и 7 возникнет электрическая дуга. Когда контакт 8 достаточно удалится от контакта 7, произойдет гашение дуги (при ближайшем прохождении тока через нуль) потоком воздуха, протекающим через внутренние полости контактов. Опыт показывает, что для успешной работы подобной гасительной камеры необходимо соблюдать по крайней мере два условия.

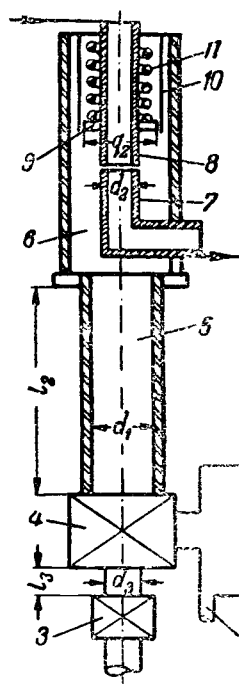


Рис. 1. Принципиальная схема выключателя.

1—резервуар сжатого воздуха; 2—подача воздуха от компрессорной установки; 3—вспомогательный клапан; 4—главный пусковой клапан; 5—воздухопровод из изолирующего материала; 6—камера из изолирующего материала; 7 и 8—неподвижный и подвижный контакты; 9—поршень; 10—цилиндр; 11—спиральная пружина.

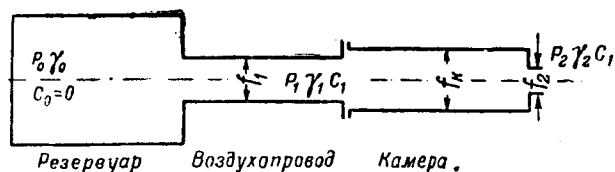


Рис. 2. Схема к определению сечения воздухопровода.

Во-первых, давление воздуха в ней к моменту гашения дуги и в течение всего процесса гашения должно быть достаточно высоким. Во-вторых, движение подвижного контакта должно начинаться только при наличии в камере достаточного для гашения дуги давления. После того, как контакт начнет перемещаться, его дальнейшее движение должно быть весьма быстрым с тем, чтобы в предельно короткий срок подготовить условие (достаточную длину дугового промежутка), при котором возможно гашение дуги.

Стремление эксплуатирующих организаций иметь максимально быстродействующий выключатель выдвигает еще дополнительное условие о сокращении общего времени действия аппарата. Общее время действия складывается из собственно времени действия клапана 3, включая его электромагнитное устройство, времени работы клапана 4, продолжительности наполнения камеры и воздухопровода, продолжительности расхождения контактов и времени, потребного для гашения дуги. Рациональное выполнение указанных условий является основной задачей пневматического расчета выключателя. Материал, изложенный ниже, не претендует на общность и законченность, и относится к выключателям высокого напряжения с гасительной камерой, имеющей полые контакты.

Сечение воздухопровода, питающего камеру. Условия гашения дуги требуют, чтобы к моменту предельного расхождения контактов, когда выхлопные отверстия d_2 (рис. 1) полностью открыты и, следовательно, расход воздуха максимален, давление его поддерживалось в камере достаточно высоким.

Давление воздуха в камере зависит в основном от двух причин. Прежде всего, от давления воздуха в резервуаре. Во-вторых, от отношения сечений выхлопных отверстий контактов и воздухопровода, питающего камеру сжатым воздухом. Если это отношение больше единицы, то давление воздуха в камере никогда не сможет достигнуть величины, равной хотя бы половине давления воздуха в резервуаре. Чтобы приблизить степень сжатия воздуха в камере к давлению его в резервуаре, необходимо при заданных сечениях выхлопных отверстий правильно выбрать сечение воздухопровода. Найдем зависимость между указанными величинами.

При заданных — величине давления воздуха в резервуаре, давлении воздуха в камере при полностью открытых выхлопных отверстиях и суммарной площади отверстий — искомой величиной будет сечение воздухопровода. Примем следующие допущения: 1) давление воздуха в резервуаре в процессе отключения неизменно. Это

очень близко к истине, так как обычно за время одного отключения давление падает незначительно (в пределах 5%), это тем более справедливо для момента гашения; 2) движение воздуха — установившееся; 3) характер процесса — адиабатический.

В дальнейшем различаются два случая: а) сечение воздухопровода больше сечения выхлопных отверстий ($f_1 > f_2$); б) сечение воздухопровода меньше сечения выхлопных отверстий ($f_1 < f_2$).

Схема питания камеры сжатым воздухом представлена на рис. 2. На рисунке давление, удельный вес и скорость воздуха обозначены p , γ и c . Индексом 0 отмечены величины, относящиеся к резервуару, 1 — к воздухопроводу, 2 — к камере и индексом 2 — величины, относящиеся к выхлопным отверстиям. Примем, что в первом случае $f_1 = f_2$, а во втором $f_1 < f_2$. Пренебрегая всеми видами потерь и считая, что переход от одного сечения к другому выполнен плавным, напишем следующие соотношения, связывающие между собой параметры потока воздуха в схеме, приведенной на рис. 2.

Согласно закону сохранения энергии

$$i_1 + A \frac{c_1^2}{2g} = i_2 + A \frac{c_2^2}{2g}, \quad (1)$$

где i_1 и i_2 — теплосодержание воздуха в cal/kg;

$A = \frac{1}{427}$ cal/kgm — тепловой эквивалент работы;

c_1 и c_2 — скорость воздуха в m/sec; $g = 9,81$ m/sec².

Согласно закону сплошности

$$\mu_1 c_1 \gamma_1 f_1 = \mu_2 c_2 \gamma_2 f_2, \quad (2)$$

где γ_1 и γ_2 — удельные веса воздуха в kg/m³; μ_1 и μ_2 — коэффициенты истечения; f_1 и f_2 — сечения отверстий в м². В рациональной конструкции выключателя входные отверстия имеют более или менее плавные закругления и $\mu_1 = \mu_2 \approx 1$.

Согласно законам движения газа его скорость и давление в критическом (минимальном) сечении определяются выражениями:

$$c_{kp} = \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \frac{p_0}{\gamma_0}} \quad (3)$$

$$p_{kp} = p_0 \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{1}{1-k}}, \quad (4)$$

где k — показатель адиабаты.

Когда $f_1 > f_2$, критическим будет сечение f_2 . Величины c_2 и p_2 определяются выражениями (3) и (4), скорость же c_1 из (2).

Выполнив простейшие преобразования, найдем (положив $\frac{p_1}{p_0} = \epsilon_1$ и $k = 1,4$):

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)_{f_1 > f_2} = 0,258 \sqrt{\frac{1}{\epsilon_1^{1,43} - \epsilon_1^{1,72}}}, \quad (5)$$

В случае $f_1 < f_2$ критическим является сечение f_1 . Тогда уже величины c_1 и p_1 определяются выражениями (3) и (4).

Полагая $\frac{p_2}{p_0} = \epsilon_2$, имеем:

$$\left(\frac{f_1}{f_2} \right)_{f_1 < f_2} = 3,87 \sqrt{\epsilon_2^{1,4} - \epsilon_2^{1,72}}. \quad (6)$$

Формула (5) действительна в области

$$1 \geq \varepsilon_1 \geq \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{1-k}}$$

а формула (6), когда

$$\left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{k}{1-k}} \geq \varepsilon_2 \geq 0.$$

По этим формулам построена кривая (рис. 3), позволяющая легко находить соотношение $\frac{f_1}{f_2}$ при заданном ε .

Процесс наполнения камеры сжатым воздухом и работа ее механизма. Схема питания камеры сжатым воздухом представлена на рис. 4. Там же дана схема нормального механизма, служащего для раздвижения контактов. Введем следующие обозначения: V_k — объем камеры и воздухопровода, соединяющего ее с резервуаром сжатого воздуха; q_5 — площадь поршня, поднимающего подвижный контакт; $F_{пр}$ — сила пружины, препятствующая движению поршня.

Будем рассматривать процесс наполнения камеры сжатым воздухом в предположении, что впускной клапан открывается мгновенно. Следует различать следующие состояния: а) наполнение при неподвижных контактах и, следовательно, при закрытых выхлопных отверстиях и б) наполнение при открывающихся и открытых выхлопных отверстиях. Естественно, оба эти состояния могут иметь место либо в надкритической области давлений, либо в подкритической. В современных выключателях стремятся иметь давление воздуха в камере к моменту гашения дуги как можно более высоким, и можно уверенно считать, что надкритическая область давлений будет пройдена при замкнутых контактах. Исследуемый процесс, следовательно, распадается на три периода: 1) наполнение камеры в надкритической области; 2) наполнение камеры в подкритической области; 3) то же, что и п. 2, но при условии утечки воздуха из камеры через открывающиеся выхлопные отверстия. Основной целью исследования являются определение: а) продолжительности наполнения камеры сжатым воздухом до определенного заданного давления и б) продолжительности полного расхождения контактов.

Решение поставленных задач проведем, воспользовавшись известными в газодинамике методами определения продолжительности наполнения и опораживания объемов, в предположении адиабатичности процесса.

Исходным здесь и в дальнейшем будет служить выражение для секундного расхода (kg) воздуха через отверстие

$$G_c = \varphi \mu f \sqrt{p_0 \gamma_0}, \quad (7)$$

где p_0 — давление и γ_0 — удельный вес воздуха в области, откуда происходит истечение; φ — коэффициент, характеризующий, в какой области давлений происходит истечение — надкритической или подкритической.

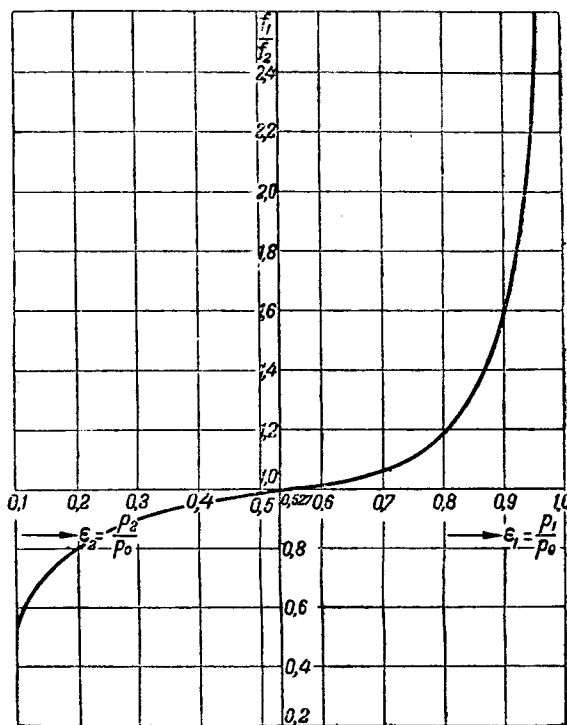


Рис. 3. Кривая для определения сечения воздухопровода.

Для надкритической области, когда $\frac{p}{p_0} \leq 0,528$ (где p — давление той среды, в которую происходит истечение),

$$\varphi = \varphi_n = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2gk}{k+1}} = 2,15. \quad (7a)$$

Для подкритической области — для $\frac{p}{p_0} \geq 0,528$,

$$\varphi = \varphi_n = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}. \quad (7b)$$

Согласно (7) вес воздуха, поступившего в сосуд за бесконечно малое время dt , $dG = G_c dt$. Это же количество воздуха можно представить в виде $d(V\gamma)$. Таким образом,

$$G_c dt = d(V\gamma). \quad (8)$$

Это основное уравнение, которое в том или ином виде будет встречаться при решении большинства газодинамических задач расчета воздушного выключателя.

Первый период. Обозначим, как и ранее, давление в резервуаре через p_0 и будем считать его постоянным. Введем для удобства выкладок понятие об относительном давлении воздуха в камере $\varepsilon = \frac{p}{p_0}$. Для рассматриваемой надкритической области согласно (7) и (7a) G_c не зависит от противодавления p . Поэтому соотношение (8) после замены в нем γ на p через уравнение адиабаты: $p_0 \gamma^k = p \gamma_0^k$, сейчас же интегрируется.

Имеем:

$$t_1 = \frac{V_k}{2,15 \mu_1 f_1} \sqrt{\frac{\gamma_0}{p_0}} \left(\varepsilon_{кр}^{\frac{1}{k}} - \varepsilon_a^{\frac{1}{k}} \right). \quad (9)$$

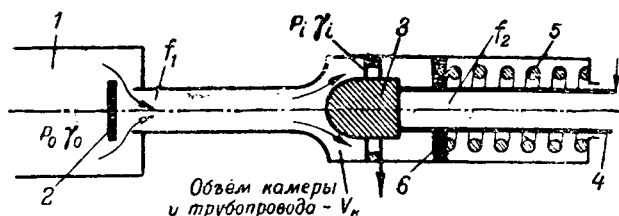


Рис. 4. Схема устройства гасительной камеры.

1-резервуар; 2-клапан; 3, 4-неподвижный и подвижный контакты, 5-пружина; 6-поршень.

Здесь t_1 — время заполнения камеры до критического относительного давления; $\epsilon_{кр} = 0,523$, $\epsilon_a = \frac{p_a}{p_0}$ — относительная величина атмосферного давления.

Второй период. Процесс наполнения перешел в подкритическую область и G_c зависит от противодавления. Теперь ψ подчиняется уравнению (76). Уравнение (8) после ряда преобразований и выполнения квадратуры дает:

$$t_2 = \frac{V_k}{\mu_1 f_1 \sqrt{2 g k (k-1)}} \sqrt{\frac{\gamma_0}{p_0}} 2,3 \lg 2,37 \frac{1 - \sqrt{\frac{k-1}{k} (1 - \epsilon_{mp})}}{1 + \sqrt{\frac{k-1}{k} (1 - \epsilon_{mp})}}, \quad (10)$$

где ϵ_{mp} — относительное давление, при котором начинается движение контактов.

Третий период. Начало третьего периода наполнения камеры сжатым воздухом определяется моментом, когда давление в ней достигло величины, при которой начинается движение контактов. Назовем это давление давлением трогания и обозначим через p_{mp} . Относительное давление трогания будет $\epsilon_{mp} = \frac{p_{mp}}{p_0}$. Давление трогания легко определить из равенства сил, давящих снизу и сверху на поршень механизма (рис. 4). Сила, стремящаяся привести поршень в движение, поднять его (рис. 4), равна $p q_5$, сила, препятствующая этому, $F_{np} + p_a q_5$.

При равенстве сил:

$$p_{mp} q_5 = F_{np} + p_a q_5,$$

отсюда

$$\epsilon_{mp} = \frac{F_{np}}{q_5 p_0} + \epsilon_a. \quad (1.)$$

При движении контактов открываются выхлопные отверстия, и камера не только получает некоторое количество воздуха, но и теряет его. Секундный прирост весового количества воздуха будет разностью расходов воздуха через питающее и выхлопное отверстия. Процесс наполнения попрежнему находится в подкритической области, процесс же опорожнения в надкритической относительно атмосферного давления, поскольку давление воздуха в камере практически во много раз выше атмосферного. Следовательно,

$$G_c = \varphi_n \mu_1 f_1 \sqrt{p_0 \gamma_0} - \psi \varphi_n \mu_2 f_2 \sqrt{p \gamma},$$

где $f_2 = \pi d_2 l$ (d_2 — диаметр выхлопного отверстия; l — ход контактов); ψ — некоторый коэффициент, роль которого будет выяснена ниже.

Согласно (8) имеем после преобразований:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{k}{V_k \gamma_0} \epsilon^{\frac{k-1}{k}} \left[\mu_1 f_1 \sqrt{p_0 \gamma_0} \sqrt{2 g \frac{k}{k-1} \left(\epsilon^{\frac{2}{k}} - \epsilon^{\frac{k+1}{k}} \right)} - 2,15 \psi \mu_2 \pi d_2 l \sqrt{p_0 \gamma_0 \epsilon^{\frac{1+k}{k}}} \right], \quad (12)$$

К (12) присоединим уравнение движения контактов, которое согласно законам механики имеет вид (трением, весом подвижных частей и ростом силы нажатия пружины с ходом контакта пренебрегаем):

$$\frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{1}{m} (q_5 p_0 \epsilon - F_{np} - q_5 p_0 \epsilon_a), \quad (13)$$

где m — масса подвижных частей.

Следует иметь в виду, что уравнение (12) неточное. Второй член правой его части описывает процесс истечения воздуха из некоторого сосуда в предположении, что скорость воздуха в самом сосуде равна нулю. В нашем же случае этот сосуд представлен камерой, относительно небольшого объема, являющейся по существу трубопроводом с определенной скоростью течения воздуха в нем. Выясним размер ошибки. Определим из (12) максимальную величину относительного давления в камере и сравним ее с той же величиной, но определенной по теоретически точной формуле (5). Максимальное значение ϵ по (12) легко получить, приравняв нулю квадратную скобку. Имеем (полагаем $\mu_1 = \mu_2$ и $\psi = 1$):

$$\epsilon_{\max} = \left[\frac{\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 2 g \frac{k}{k-1} + 2,15^2}{\left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 2 g \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}}$$

Если, например, положить $\frac{f_1}{f_2} = 1,3$, то $\epsilon_{\max} = 0,97$, в то время как по (5) $\epsilon_{\max} = 0,845$. Разница — ощутительная и с ней надо считаться. Для этой цели и введен коэффициент ψ . Он определяется выражением:

$$\psi = \frac{0,12}{\frac{f_1}{f_2}} \frac{\left[2 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 g \frac{k}{k-1} + 2,15^2 \psi^2 \right]^3}{\left[2 \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^2 g \frac{k}{k-1} \right]^{2,5}}, \quad (14)$$

Для частного случая, когда $\frac{f_1}{f_2} = 1,3$, $\psi = 1,245$.

Коэффициент ψ — величина переменная, зависящая как от отношения $\frac{f_1}{f_2}$, так и от величины ϵ . Однако, учесть все

эти факторы не представляется пока возможным. Таким образом, уравнение (12) дает точный результат при определении ψ по (14) только при полностью открытых выхлопных отверстиях. С этим приходится мириться. Решение (12) и (13) не может быть приведено к квадратурам. Бессильны здесь также и приближенные методы, в частности разложение некоей функции в ряд, — ряд расходится почти для всех значений аргумента. Остаются два пути: численное интегрирование, которых мы широко пользовались при расчете выключателей, и упрощение действительных физических условий с тем, чтобы придать системе уравнений вид, приводящийся к решению.

Второй путь привел (приложение 1) к приближенным, но достаточно точным выражениям для l и ϵ :

$$l = \frac{1}{\epsilon_{cp} b} \left[\frac{\sqrt{(Aab \epsilon_{cp})^2}}{2} \epsilon^2 - \sqrt{Aab \epsilon_{cp}} t - e^{-\sqrt{Aab \epsilon_{cp}} t} + 1 \right]; \quad (15)$$

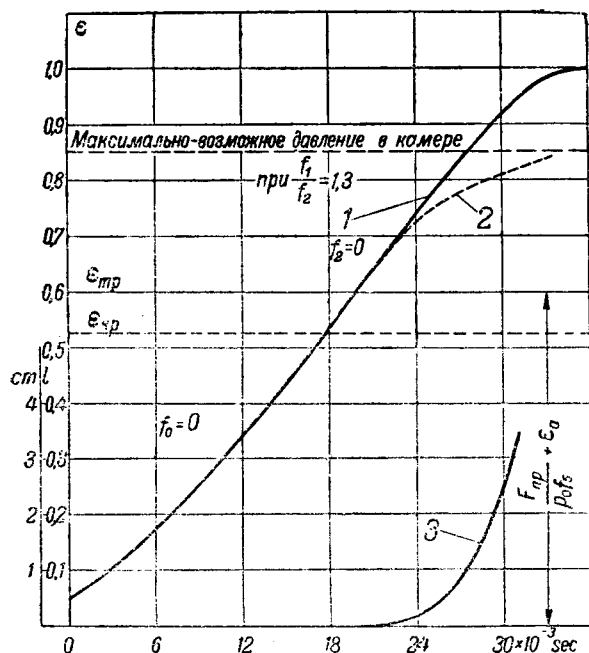


Рис. 5. Кривые наполнения камеры сжатым воздухом и движения контактов.

$$\varepsilon = \varepsilon_{mp} + a \left[\frac{1}{\sqrt[3]{Aab\varepsilon_{cp}}} + \frac{\sqrt[3]{Aab\varepsilon_{cp}}}{2} t^2 - \frac{\sqrt[3]{(Aab\varepsilon_{cp})^2}}{6} t^3 - \frac{1}{\sqrt[3]{Aab\varepsilon_{cp}}} e^{-\sqrt[3]{Aab\varepsilon_{cp}} t} - 0,8 t \right]. \quad (16)$$

Обозначения, встречающиеся здесь, приведены в приложении.

С помощью полученных уравнений рассчитан один конкретный случай, и результаты расчета представлены в виде кривых на рис. 5. Кривая 1 соответствует процессу наполнения камеры при отсутствии выхлопа. Кривая 2 — тому же процессу, но при наличии увеличивающегося по ходу контактов сечения выхлопа. Кривая 3 — иллюстрирует процесс расхождения контактов. В том случае, если выхлопные отверстия уже открылись, но полное расхождение контактов еще не достигнуто, уравнение (15) становится неприменимым, и дальнейший расчет следует продолжать, учитывая, что давление в камере больше не растет. Легко получить из (13) для данного случая следующую формулу:

$$l = A(\varepsilon_{max} - \varepsilon_{mp}) \frac{t^2}{2} + \left(\frac{dl}{dt} \right)_0 t + l_0, \quad (17)$$

где $A = \frac{q_5 p_0}{m}$, $\left(\frac{dl}{dt} \right)_0$ — скорость контактов к моменту достижения максимального давления и l_0 — путь, пройденный контактом к этому же времени.

Полученные выше выражения указывают путь сокращения времени наполнения камеры сжатым воздухом. Он заключается в повышении начального давления p_0 и сокращении объема камеры.

Формулы (15) и (17) являются основными для определения продолжительности расхождения контактов.

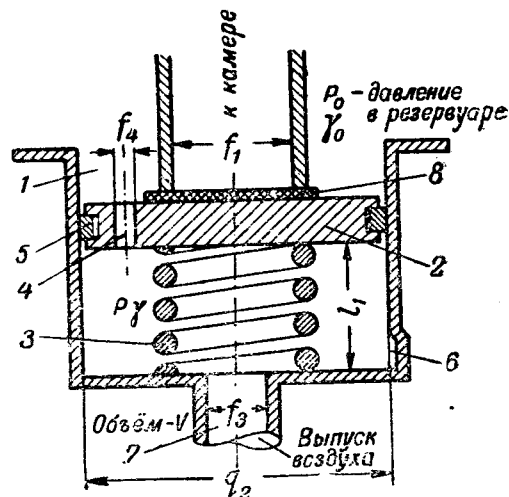


Рис. 6. Схема дифференциального клапана.

1 — резервуар; 2 — поршень клапана; 3 — пружина; 4 — перепускное отверстие; 5 — уплотняющее кольцо; 6 — подпитывающий канал; 7 — паразитный объем; 8 — уплотняющая прокладка.

Конкретный расчет для случая $q_5 = 40 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, $m = 0,3 \text{ sec}^2 \text{ кг м}$, $l = 0,035 \text{ м}$ и $\varepsilon_{mp} = 0,6$ показал: сила нажатия пружины должна достигать 440 кг (при $p_0 = 20 \text{ кг/см}^2$), а время расхождения контактов $t = 0,0285 \text{ sec}$, т. е. около трех полупериодов. Для сокращения времени вдвое площадь поршня следовало бы увеличить в 8 раз, т. е. взять равным 320 см^2 . Сила пружины возросла бы при этом до 3250 кг. Ни то, ни другое нецелесообразно. Следует признать, что при данной конструкции механизма, так широко применяющейся в современных воздушных выключателях, нет реальной возможности добиться времени, меньшего или даже равного 0,01 sec. (т. е. одному полупериоду). С этой точки зрения механизм следует считать неудовлетворительным.

Главный пусковой клапан. В качестве еще одного типичного примера, дающего наглядное представление о характере задач встречающихся при расчете пневматики выключателя, рассмотрим работу его главного пускового клапана (рис. 1). Этот клапан, соединяющий гасительную камеру с резервуаром сжатого воздуха, является важнейшим элементом выключателя. Он должен на короткое время открыть выпускное отверстие, через которое происходит наполнение камеры, и возможно быстро, по соответствующей оперативной команде, закрыть его. Первое требование связано с необходимостью сократить общее время процесса отключения, второе — с условиями повторного включения и сокращением расхода воздуха. Его размеры, естественно, должны быть достаточными для пропуска необходимого количества воздуха.

Находят широкое применение два типа клапанов. Так называемый дифференциальный клапан (рис. 6) и клапан прямого действия (рис. 7).

Из рис. 6 видно, что если выпускное отверстие (сечение f_3) дифференциального клапана закрыто, то давление воздуха в объеме V_1 и ре-

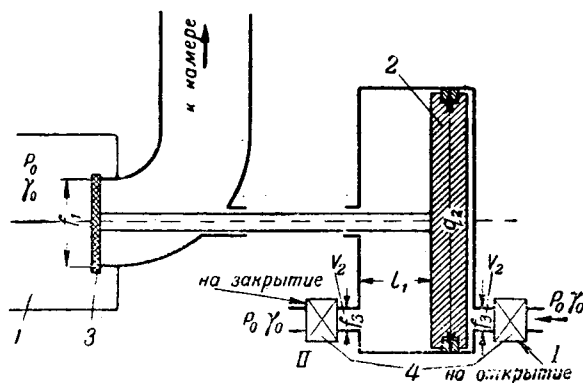


Рис. 7. Схема клапана прямого действия.

1—резервуар; 2—поршень; 3—клапан; 4—вспомогательные клапаны.

зервуаре одинаково. Давление воздуха в камере в нормальных условиях равно атмосферному. Поршень-клапан испытывает, следовательно, более сильное давление снизу, чем сверху, вследствие чего он плотно закрывает отверстие f_1 , через которое происходит питание камеры. Чтобы открыть клапан, необходимо понизить давление в объеме V . Чтобы его закрыть, надо прекратить выпуск воздуха из того же объема; тогда давление снизу станет равным давлению сверху на поршень-клапан и пружина $F_{пр}$ поднимет его, и отверстие f_1 закроется. Отметим характерные особенности работы дифференциального клапана: 1) запирающее действие клапана обусловлено давлением того же сжатого воздуха, выпуск которого предотвращается; 2) открытие клапана производится пневматически — путем снижения давления с одной стороны клапана-поршня, в то время как с другой его стороны оно неизменно; 3) закрытие клапана происходит после выравнивания давления с обеих сторон поршня-клапана, силой пружины.

Из рис. 7 легко установить характерные особенности работы клапана прямого действия: 1) запирающее действие клапана обусловлено давлением сжатого воздуха; 2) открытие производится воздухом путем повышения давления по одну сторону поршня; 3) закрытие производится за счет повышения давления с другой стороны поршня.

Исследуем более подробно работу дифференциального клапана, оставляя в стороне клапан прямого действия.

Открытие дифференциального клапана происходит путем выпуска воздуха из объема V через специальный канал сечением f_3 . Работа его распадается на два периода.

Холостой ход. Объем V освобождается от сжатого воздуха до величины давления, при котором силы, давящие на поршень сверху и снизу, уравниваются.

Рабочий ход. Происходит дальнейший выход воздуха из объема V и движение поршня (следовательно, открытие отверстия f_1) под действием разности сил

$$\Delta F = p_0(q_2 - f_1) + p_a f_1 - (p q_2 + F_{орп}),$$

где p_0 — давление воздуха в резервуаре; q_2 — площадь поршня; f_1 — площадь впускного отверстия (сечение воздухопровода); p — давление воздуха под поршнем, p_a — давление атмосферы и $F_{орп}$ — начальная сила нажатия пружины (весом поршня пренебрегаем). Объем V складывается из объема $V_1 = q_2 l$ — объема той части цилиндра, где

происходит перемещение поршня, и паразитного объема V_2 , состоящего из объемов выпускной трубки сечением f_3 и устройств, служащих для выпуска воздуха. Сила, стремящаяся открыть впускное отверстие — передвинуть поршень вниз, определяется выражением:

$$F_{откр} = p_0(q_2 - f_1) + p_a f_1 [kg].$$

Сила, препятствующая открытию клапана, определяется выражением $F_{закр} = p q_2 + F_{орп}$, где p — давление воздуха в объеме V , равное при закрытом клапане p_0 (трением покоя пренебрегаем).

Как было сказано, открытие клапана происходит благодаря выпуску воздуха из объема V . Вследствие падения давления в этом объеме уменьшается сила $F_{закр}$. В момент, когда $F_{откр} = F_{закр}$,

$$p_{тр} = \frac{p_0(q_2 - f_1) + p_a f_1 - F_{орп}}{q_2}. \quad (18)$$

Учитывая, что p_0 лежит обычно не ниже нескольких kg/cm^2 , а истечение воздуха из объема V происходит непосредственно в атмосферу ($p_a \approx 10 \frac{4 kg}{m^2}$), можно

утверждать, что величина давления p к началу движения поршня не достигнет критического значения, равного по отношению к атмосферному давлению $1,89 \cdot 10^4 kg/m^2$. Это позволяет более просто установить общую формулу для времени холостого хода.

Продолжительность холостого хода. Как видно из рис. 6, объем V не только теряет воздух через f_3 , но и получает его через неплотности между стенками цилиндра и уплотняющим кольцом, а также через специальное перепускное отверстие f_4 , служащее для более быстрого закрытия клапана. Воспользовавшись основным уравнением (8), получим:

$$(2,15 \mu_3 f_3 \sqrt{p \gamma} - \varphi \mu_4 f_4 \sqrt{p_0 \gamma_0}) dt = -V d\gamma, \quad (19)$$

где p и γ — параметры воздуха в объеме V ; f_4 — суммарное сечение всех каналов, подпитывающих объем V . Знак минус появляется в связи с тем, что происходит опоражнивание объема.

Коэффициент φ в первый период опоражнивания определяется по (7б), поскольку p больше критического значения, соответствующего p_0 . Когда давление p падает ниже критического значения, φ определяется по (7а). Следовательно, в самом общем случае время холостого хода представляется как сумма двух времен — времени опоражнивания до достижения критического давления и последующего промежутка.

При точных расчетах приходится, так или иначе, решать уравнение (19). Практически величиной f_4 без всякого ущерба можно пренебречь. Тогда, проинтегрировав (19), найдем

$$t_{хол} = \frac{2V}{2,15(k-1)\mu_3 f_3} \sqrt{\frac{\gamma_0}{p_0}} (\epsilon_{тр}^{\frac{1-k}{2k}} - 1), \quad (20)$$

где $\epsilon_{тр} = \frac{p_{тр}}{p_0}$.

Продолжительность рабочего хода. Если допустить, что f_4 не превышает 10% от f_3 (практически это всегда выполняется), то присоединяя к уравнениям газодинамики уравнение движения поршня, можно определить продолжительность рабочего хода клапана. Так как при данном процессе поршень будет передвигаться, то объем V непрерывно уменьшается:

$$V = V_1 + V_2 = q_2(l_1 - l) + V_2,$$

где l — ход поршня, равный при полном открытии значению l_1 .

Различаем здесь также два состояния: а) опоражнивание объема V до достижения критического, относительно

атмосферного, давления и б) опорожнение после достижения критического давления. Воспользовавшись (7), (7а) и (7б), получим после простейших преобразований:

$$2,15 \mu f_3 \sqrt{p_0 \gamma_0} \varepsilon^{\frac{1+k}{2k}} dt = -\gamma_0 d(V \varepsilon^{\frac{1}{k}}), \quad (21)$$

подкритическая область

$$\mu f_3 \sqrt{p_0 \gamma_0} \varepsilon^{\frac{1+k}{2k}} \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} dt = -\gamma_0 d(V \varepsilon^{\frac{1}{k}}). \quad (22)$$

Напоминаем, что здесь $V = f(l)$ — величина переменная и не может быть вынесена из-под знака дифференциала, как это делалось ранее. Присоединим к (21) и (22) уравнение движения поршня, которое, если пренебречь весом подвижных частей и трением, имеет вид:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{1}{m} [p_0(q_2 - f_1) + p_k f_1 - (F_{онр} + \beta l) - q_2 p] = A - \frac{q_2 p_0}{m} \varepsilon - \beta l, \quad (23)$$

где m — масса подвижных частей в $\text{kg sec}^2/\text{m}$; p_k — давление воздуха в камере, равное при закрытом клапане атмосферному давлению p_a (ради простоты и в дальнейшем при открытом клапане считаем $p_k = p_a$). β — коэффициент, учитывающий возрастание силы пружины при сжатии,

$$A = \frac{p_0(q_2 - f_1) + p_a f_1 - F_{онр}}{m}.$$

$$v_n = At_j + \frac{(k-1)q_2 p_0}{B_m(k+1)} \left[\left(Bt_j + \varepsilon_{mp} \right)^{\frac{1-k}{2k}} - \varepsilon_{mp}^{\frac{1-k}{2k}} \right], \quad (27)$$

Решение системы уравнений возможно лишь численными методами. Чтобы все же получить приближенное решение, годное для практических целей, приходится прибегнуть опять-таки к единственному остающемуся у нас пути, а именно — упростить действительный физический процесс. Прежде всего можно пренебречь возрастанием силы пружины с ее сжатием, так как ход l_1 поршня вообще невелик и мало отразится на общей силе пружины. Кроме того, вообще увеличение силы пружины целиком скомпенсируется ростом p_k , величина которого также зависит от хода поршня l (благодаря росту давления воздуха в камере). Затем, учитывая, что падение давления в объеме V при достаточно большом отверстии f_3 происходит весьма быстро (во всяком случае значительно быстрее, чем происходит уменьшение объема V вследствие перемещения поршня), полагаем $V = \text{const}$. При этих допущениях время движения поршня в надкритической области давлений (до момента, когда давление в объеме V станет равным $1,89 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$)

$$t_j = \frac{2V}{2,15(k-1)\mu f_3} \sqrt{\frac{\gamma_0}{p_0}} \left(\varepsilon^{\frac{1-k}{2k}} - \varepsilon_{mp}^{\frac{1-k}{2k}} \right). \quad (24)$$

Ход поршня в надкритической области:

$$l = A \frac{t^2}{2} - \frac{(k-1)q_2 p_0}{Bm(k+1)} \left[\frac{k-1}{2B} (Bt + \varepsilon_{mp})^{\frac{1-k}{2k}} + \varepsilon_{mp}^{\frac{1-k}{2k}} t - \frac{k-1}{2B} \varepsilon_{mp}^{\frac{1}{k}} \right], \quad (25)$$

где

$$B = \frac{2,15(k-1)\mu f_3}{2V} \sqrt{\frac{p_0}{\gamma_0}}.$$

Если к моменту достижения критического давления движение поршня не прекратилось, то дальнейший расчет производится в подкритической области давления.

Для подкритической области следовало бы проинтегрировать (22), подставить результат в (23) и найти после двукратного интегрирования l . Возможно более простое решение. Будем пренебрегать, начиная с подкритической области, величиной остаточного давления в объеме V , равного в максимуме всего $(1,89 - 1) 10^4 \text{ kg/m}^2$. Тогда

$$l = \frac{A}{2} t_i^2 + v_n t_i + l_n, \quad (26)$$

где v_n — скорость поршня при давлении, равном $1,89 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^2$, l_n — ход поршня к этому же моменту. Очевидно, общее рабочее время открытия клапана $t_{раб} = t_j + t_i$. Порядок расчета таков:

Определяем по (24) для $\varepsilon = \varepsilon_{кр}$ время опорожнения, т. е. t_j . Затем по (25) строим график пути l в зависимости от t ($0 \leq t \leq t_j$). Если в указанных пределах изменения совершилось полное открытие клапана, то по графику легко находится искомое рабочее время. В противном случае обращаемся к (26) и строим второй график. Значение l_n (ход при $t = t_j$) находим из первого графика. Значение v_n получаем из следующей формулы:

Определив по графику t_i и зная t_i , определяем $t_{раб}$.
Общее время работы клапана

$$t_{откр} = t_{хол} + t_j + t_i = t_{хол} + t_{раб}. \quad (28)$$

Сокращение времени, потребного для открытия клапана, можно достичь путем предельного снижения всех составляющих времени, входящих в (28). Время холостого хода, как показывает (20), пропорционально объему V и обратно пропорционально сечению f_3 выпускного отверстия, оно также зависит от ε_{mp} , уменьшаясь с увеличением последнего. Так как ε_{mp} представляет собой относительное давление трогания, то согласно (18) оно растет с ростом p_0 , q_2 и уменьшением f_1 и $F_{онр}$. Время рабочего хода, с одной стороны, зависит от скорости опорожнения объема V и с этой точки зрения согласно (24) условия сокращения длительности процесса опорожнения ничем абсолютно не отличаются от тех же условий для холостого хода. С другой стороны, согласно (23) оно будет тем меньше, чем больше будет ускорение поршня, которое растет с уменьшением массы, уменьшением площади f_1 и начальной силы пружины $F_{онр}$, а также с увеличением v_0 и q_2 .

Перейдем к процессу закрытия клапана.

Величину давления воздуха, при котором наступает обратное движение поршня, — давление обратного трогания, получим из равенства сил, давящих на него сверху и снизу:

$$p_{тро} = p_0 - \frac{F_{нр}}{q_2}, \quad (29)$$

где $F_{нр} = F_{онр} + \beta l$, $p_{тро}$ — давление обратного трогания поршня.

Процесс наполнения объема V (равного в начальный момент V_2) сложен. Он распадается на три периода. Первый период — $V = V_2 = \text{const}$ поршень неподвижен, а процесс наполнения протекает в надкритической области. Второй период — $V = \text{const}$, но процесс наполнения находится в подкритической области. Третий период — $V = \text{var}$ — поршень двигается, процесс наполнения остается в подкритической области. Применяя те же рассуждения и законы, что и ранее, найдем следующее:

Первый период

$$t_I = \frac{\left(\frac{1}{\varepsilon_{kp}} - \frac{1}{\varepsilon_v}\right) V_2}{2,15 \mu (f_4 + f_{подн})} \sqrt{\frac{\gamma_0}{p_0}}, \quad (30)$$

$\varepsilon_{kp} = 0,528$, а $\varepsilon_v = \frac{p_v}{p_0}$ (p_v — давление в объеме V_2 до закрытия f_3).

Второй период

$$t_{II} = \frac{V_2}{\mu (f_4 - f_{подн})} \sqrt{\frac{\gamma_0}{2 g p_0 k (k-1)}} 2,3 \lg 2,37 \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{k-1}{1 - \varepsilon_{mp} k}}}{1 + \sqrt{1 - \frac{k-1}{1 - \varepsilon_{mp} k}}} \quad (31)$$

Третий период. Продолжительность третьего периода t_{III} можно вычислить по формуле (приложение 2):

$$l = a \lg 0,5 (e^{bt} + e^{-bt}),$$

где l — ход поршня в м, $a = \frac{4,6 \mu_4 f_4 g m}{q^2 \gamma_0}$ и

$$b = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{q^2 \gamma_0 F_{np}}{2 \mu_4 f_4 g}}. \quad (32)$$

Общее время закрытия клапана

$$t_{зкр} = t_I + t_{II} = t_{III}. \quad (33)$$

Рассматривая (30), (31) и (32), приходим к выводу, что продолжительность первого периода зависит исключительно от величины паразитного объема V_2 и общей величины площади подпитывающих отверстий $f_4 + f_{подн}$. Продолжительность второго периода обусловлена еще дополнительно величиной ε_{mp} и уменьшается вместе с ней. Продолжительность третьего периода при заданной величине l_1 находится в сложной зависимости от целого ряда параметра клапана (32). При требовании быстрого закрытия снижение длительности третьего периода нуждается во внимательном конструировании.

Весьма важную роль, в особенности при большом паразитном объеме V_2 , играет размер сечения подпитывающего канала $f_{подн}$. Как видно из рис. 6, этот канал вступает в работу только тогда, когда поршень находится в крайнем нижнем положении. Следовательно, подпитывающий канал совершенно не влияет на открытие клапана (вернее не мешает процессу открытия). Но в процессе закрытия его роль весьма существенна, так как именно с его помощью осу-

ществляется быстрое заполнение объема V_2 . Размеры $f_{подн}$ зависят от величины объема V_2 и определяются вариантными расчетами. В пределах оно может быть взято настолько большим (примерно удвоенная величина f_3), что давление в объеме V_2 до закрытия f_3 будет держаться на уровне p_{mp} , это означает, что из общего времени закрытия клапана исключается почти полностью времена холостого хода t_I и t_{II} . Таковы в основном пути повышения быстродействия дифференциального пускового клапана. Ясно, что все сказанное выше целиком применимо и к малому дифференциальному клапану.

Таким же путем возможно проанализировать работу клапана прямого действия и прийти к выводу, что при прочих равных условиях клапан прямого действия обеспечивает большее быстродействие, чем дифференциальный клапан.

Заключение. В статье приведены выдержки из газодинамических исследований, послуживших базой для пневматического расчета опытного образца воздушного выключателя на 110 kV, 2500 kVA отключаемой мощности, разработанного в 1945 г. в лаборатории выключающей аппаратуры ВЭИ. Испытания этого выключателя в лабораторных условиях и в электрической системе Мосэнерго показали его вполне удовлетворительные качества, чему, очевидно, в немалой степени способствовала правильно рассчитанная и спроектированная пневматика выключателя. В связи с намечающимся широким внедрением воздушных выключателей в энергосистемах СССР работы по изучению газодинамики этих аппаратов следует расширить и углубить с целью выработать стройную и проверенную методику их полного пневматического расчета.

Автор считает своим долгом отметить, что при разработке изложенных вопросов им были использованы указания доктора техн. наук, проф. Г. В. Буткевича. Инженер Н. Е. Коган-Ратмирова оказала автору помощь при проверочных расчетах и вычислениях.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Решение системы уравнений (12) и (13) наталкивается на непреодолимые трудности. Возможно получить приближенный результат, упростив действительный физический процесс. Отметим прежде всего тот факт, что относительное давление воздуха в камере при открытых выхлопных отверстиях никогда не может достигнуть $\varepsilon = 1$ и практически не превышает величины $\varepsilon_{\max} = 0,85$. С другой стороны, относительное давление трогания в среднем можно принять равным 0,6. Таким образом, в процессе расхождения контактов и, следовательно, открытия выхлопных отверстий, относительное давление в камере в среднем изменяется в пределах $0,6 \leq \varepsilon \leq 0,85$.

Преобразуем далее (12) и введем для сокращения письма следующие обозначения:

$$a = \frac{k \mu_1 f_1 \sqrt{2 g p_0 \gamma_0 \frac{k}{k-1}}}{V_k \gamma_0}; \quad b = \frac{2,15 \mu_2 \pi d_2}{\mu_1 f_1 \sqrt{2 g \frac{k}{k-1}}}; \quad (1,2)$$

$$A = \frac{q_5 p_0}{m} \quad \text{и} \quad B = \frac{q_5 p_0 \varepsilon_a = F_{np}}{m}. \quad (2,2)$$

Тогда

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = a \left(\sqrt{\varepsilon^2 - \varepsilon^{\frac{3k-1}{k}}} \right) - b l \varepsilon^{\frac{3k-1}{2k}}, \quad (3,2)$$

$$\frac{d^2 l}{dt^2} = A \varepsilon - B. \quad (4,2)$$

Простым вычислением легко убедиться, что функция

$\sqrt{\varepsilon^2 - \varepsilon^{\frac{3k-1}{k}}}$	0,523	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9
$\varepsilon^{\frac{3k-1}{2k}}$	0,218	0,218	0,218	0,2	0,182	0,158

Функция $\varepsilon^{\frac{3k-1}{2k}}$ резко зависит от ε . Ход ее изменения таков:

ε	0,523	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9
$\varepsilon^{\frac{3k-1}{2k}}$	0,49	0,57	0,66	0,78	0,81	0,89

Чтобы радикально упростить решение системы уравнений (12) и (13), пойдем на далеко ведущее упрощение,

положив функцию $\varepsilon^{\frac{3k-1}{2k}}$ постоянной, равною некоторому среднему значению $\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon_{mp} + \varepsilon_{max}}{2}$. Выясним, для

иллюстрации, как велико будет при этом преувеличение расхода воздуха через выхлоп при значениях $\varepsilon_{mp} = 0,6$, $\varepsilon_{max} = 0,85$.

ε	0,6	0,7	0,8	0,85
Расход увеличивается в: . . .	1,27	1,10	0,93	0,91

Взвешивая эти погрешности, следует иметь в виду, что наибольшее отклонение получается при меньших ε , когда выхлопные отверстия только начали открываться и когда, следовательно, расход воздуха определяется не столько величиной давления ε в камере, сколько сечением открывающихся отверстий. При указанных двух упрощениях имеем из (3,2)

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = a(0,2 - b \varepsilon_{cp} l), \quad (4,3)$$

дает

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{A} \frac{d^3 l}{dt^3},$$

отсюда

$$\frac{d^3 l}{dt^3} A a (0,2 - b \varepsilon_{cp} l).$$

Последнее уравнение легко интегрируется. Окончательные результаты решения (12) и (13) приведены в основном тексте.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Начало третьего периода совпадает с моментом обратного трогания поршня клапана. Учитывая, что к этому времени давление p в объеме V будет весьма близко к давлению p_0 (практически разность $p_0 - p = 0,2 \text{ kg/cm}^2$), воспользуемся выражением для весового расхода воздуха для весьма малых разностей давления, имеющем вид:

$$G = \mu f \sqrt{p_0 \gamma_0} \sqrt{2g \frac{p_0 - p}{p_0}} = \mu_4 f_4 \sqrt{2g p_0 \gamma_0} \sqrt{1 - \varepsilon} \text{ kg/sec.}$$

Отсюда дифференциальное уравнение наполнения объема примет вид:

$$\mu_4 f_4 \sqrt{2g p_0 \gamma_0} \sqrt{1 - \varepsilon} dt = \gamma_0 d(V \varepsilon^{\frac{1}{k}}),$$

$$V = V_2 + q_2 l.$$

где

Уравнение движения поршня (если пренебречь трением, его весом и уменьшением силы нажатия пружины с ходом поршня):

$$\frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{1}{m} [F_{np} - q_2 (p_0 - p)] = \frac{1}{m} [F_{np} - q_2 p_0 (1 - \varepsilon)]$$

Уравнение наполнения можно значительно упростить.

Относительное давление ε почти равно единице, и вели-

чина $\varepsilon^{\frac{1}{k}} = \varepsilon^{\frac{5}{7}}$, следовательно, еще более близка к ней.

Очевидно, что последняя величина в процессе движения поршня будет изменяться весьма мало, оставаясь близкой к единице. Будем поэтому считать ее постоянной и равной единице, иначе говоря, будем полагать, что изменение весового количества воздуха в объеме происходит, главным образом, за счет изменения самого объема; что, в сущности говоря, и соответствует действительным физическим условиям. Тогда

$$\mu_4 f_4 \sqrt{2g \frac{p_0}{\gamma_0}} \sqrt{1 - \varepsilon} = q_2 \frac{dl}{dt}. \quad (5,4)$$

Решая (5,4) совместно с (5,3), находим:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{F_{np}}{m} - \frac{q_2^3 \gamma_0}{2 \mu_4 f_4 g m} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2,$$

Положим:

$$\frac{dl}{dt} = x; \quad \frac{d^2 l}{dt^2} = \frac{dx}{dt},$$

тогда

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F_{np}}{m} - \frac{q_2^3 \gamma_0}{2 \mu_4 f_4 g m} x^2,$$

последнее легко интегрируется.

Литература

1. К. И. Страхович. Прикладная газодинамика. ОНТИ, 1937.
2. Дж. Скарборо. Численные методы математического анализа. ГТИИ, 1931.
3. В. Шюле. Техническая термодинамика, т. 1, кн. 1, ОНТИ, 1937.



Упрощение метода расчета токов короткого замыкания для выбора выключателей

Инж. А. Б. КРИКУНЧИК

Теплоэлектропроект

В 1944 г. были изданы «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору по режиму короткого замыкания аппаратуры и проводников в электрических установках высокого напряжения», утвержденные техническим отделом НКЭС. Руководящие указания (РУ) были составлены Н. Г. Гейниным, Б. И. Розенбергом и С. А. Ульяновым, кривые затухания и кривые фиктивного времени построены инженерами А. Б. Черниным и В. Я. Швагером. Руководящие указания отражают ту практику по расчету токов к. з. и выбору аппаратуры, которая установилась у нас за последние годы. Расчет производился по методу кривых затухания с учетом действия автоматических регуляторов напряжения. Составители РУ исходили из значительной продолжительности расчетного времени отключения выключателя, равного сумме собственных времен выключателя и реле. Поэтому кривые затухания построены только для периодической слагаемой тока к. з., и при определении отключаемой мощности выключателей аperiodическая слагаемая тока к. з. не учитывается, считая что для момента времени $t \geq 0,15$ sec влияние аperiodической слагаемой практически не сказывается (§ 29 РУ). Рекомендуются (§ 80 РУ) при отсутствии специальных данных для расчетного наименьшего времени отключения принимать это время равным для нормальных выключателей 0,20 sec. и для быстродействующих выключателей 0,15 sec. В практике наших проектных организаций выключатели по отключаемой мощности выбирались и выбираются для расчетного времени отключения 0,20 sec. по кривым затухания для периодической слагаемой тока к. з.

Расчет тока к. з. по методу кривых затухания имел также широкое применение в США. Представляет поэтому интерес сравнение наших РУ с принятым недавно Американским институтом инженеров-электриков новым упрощенным методом расчета токов к. з. для выбора выключателей [Л. 1—3], который также очень близок к нормам расчета токов к. з., применяемым для

Доказывается, что «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания», изданные в 1944 г., приводят в определенных случаях к неправильным результатам при выборе выключателей. На основе анализа этих указаний и сравнения их с нормами, принятыми в других странах, устанавливается возможность и целесообразность применения упрощенных методов расчета. Разобран вопрос о расчете токов короткого замыкания в установках низкого напряжения.

тех же целей в Англии и некоторых других странах.

Прежде всего сравним величины расчетного времени отключения. По нашим РУ для нормальных выключателей принято расчетное время от-

ключения 0,20 sec., а по американским нормам расчета—0,0666 sec. (4 периода для тока частоты 60 Hz); для быстродействующих выключателей — по нашим РУ—0,15 sec. и соответственно по американским нормам — 0,05; 0,033 и 0,0166 sec. (3,2 и 1 периоды для частоты тока 60 Hz [Л. 3]).

Руководящие указания совершенно правильно указывают, что именно собственное время выключателя, понимаемое как время с момента подачи импульса на отключающую катушку привода до начала расхождения дугогасящих контактов, входит как составная часть в расчетное время отключения. Это находится в соответствии с ГОСТ 687-41 на «Выключатели высоковольтные», в § 30 которого указывается, что: «Отключаемый ток принимается равным эффективному значению тока короткого замыкания I_e в момент расхождения контактов с учетом аperiodической составляющей...».

В этом отношении определение нашего ГОСТ совпадает целиком с определением стандарта Американского института инженеров-электриков на масляные выключатели [Л. 4].

Между тем, в РУ и для собственного времени выключателя и для времени действия выключателя, понимаемое как время с момента подачи импульса на отключающую катушку выключателя до момента полного погашения дуги, приняты одни и те же величины—0,15 sec., для нормальных выключателей и 0,1 sec. для быстродействующих выключателей¹.

¹ Ср. § 61 и 80. Значения для собственного времени отключения выключателя в § 80 получаются путем вычитания из указанных в этом параграфе величин расчетного наименьшего времени отключения выключателя собственного времени действия реле для наиболее быстродействующей из применяемых в современной практике защиты, приравненного в том же параграфе РУ 0,5 sec.

Судя по значениям расчетного времени отключения выключателя, принятых в американских нормах расчета, в них учитывается релейная защита с минимальным временем действия, в несколько раз меньшим, чем 0,05 sec. В статье, обосновывающей новые нормы расчета [Л. 3], указывается, что даже при применении медленно действующей защиты нет гарантии в том, что к. з. не изменит свой характер и что через выключатель не потечет больший ток во время процесса выключения. Всегда имеется, кроме того, опасность уменьшения выдержки времени защиты во время эксплуатации, что также потребует от выключателя разрыва большего тока. Американские нормы расчета исходят из следующих величин времен действия различных выключателей и расчетных наименьших времен отключения (число периодов указано для частоты 60 Hz):

Время действия выключателя (время отключения до погасания дуги)		Расчетное время отключения выключателя	
периодов	sec.	периодов	sec.
8	0,1333	4	0,0666
5	0,0833	3	0,05
3	0,05	2	0,0333
2	0,0333	1	0,0166

Сравним эти величины с данными некоторых типов выключателей, установленных в наших энергосистемах. Завод «Электроаппарат» указывал следующие времена действия для своих выключателей: МГФ-11 и МГФ-13—0,1 sec., МГГ-223, МГГ-229 и МГГ-529—0,15 sec; для выключателей, которые освобождались заводом перед войной—МО-35 и МО-110—0,12—0,15 sec., МОИ-35—0,06—0,08 sec [Л. 5]. Завод «Электроаппарат» в своей технической информации указывает следующие собственные времена отключения некоторых типов выключателей (до начала расхождения дугогасительных контактов): ВМ-5—200А—0,06 sec.; ВМ-35—0,08 sec.; МКП-274—0,08 sec. Все эти выключатели по своим временам действия приближаются к восьмипериодным выключателям. Перед войной в наших системах появилось некоторое количество воздушных выключателей (со сжатым воздухом) на напряжения 10, 110 и 150 kV. В ближайшее время число таких выключателей в эксплуатации значительно возрастет, в будущем же эти выключатели по всем данным будут наиболее распространенным типом выключателей установок высокого напряжения. По временам действия эти выключатели соответствуют, как правило, трехпериодным выключателям.

Из приведенных выше данных следует прийти к тому выводу, что выбор выключателей по отключаемой мощности нельзя делать для расчетного времени отключения 0,20 и 0,15 sec., а также нельзя делать по кривым затухания, учитывающим только периодическую слагаемую тока к. з.

Величины постоянной времени затухания апериодической слагаемой тока к. з. T_a для гене-

раторов завода «Электросила» серии Т, на 3 000 об/мин составляют 0,128 sec для 6 000 kW, 0,162—0,177 для 12 000 kW, 0,210—0,222 для 25 000 kW, 0,270 для 50 000 kW и 0,378 для 100 000 kW [Л. 6]. Эти значения показывают, что не принимать во внимание апериодической слагаемой тока к. з. при определении отключаемой мощности выключателей нельзя и что это тем более справедливо, чем больше мощность генераторных единиц и чем ближе электрически место к. з. к генераторам. Апериодическая слагаемая тока к. з. должна обязательно учитываться, а при этом нельзя пользоваться только кривыми затухания тока к. з., приведенными в РУ.

Расчеты по методу кривых затухания с учетом апериодической слагаемой тока к. з. сравнительно сложны, так как доля апериодической слагаемой зависит, помимо других факторов, еще от соотношения постоянных схемы до точки к. з. Расчет по методу кривых затухания имеет, кроме того, некоторые общеизвестные недостатки.

В связи с ростом электрических систем и связей между ними часто значения сопротивлений получаются за пределами кривых затухания. Часто источники питания находятся к тому же в резко отличающихся условиях по отношению к точке к. з. В этих условиях приходится прибегать к искусственному приему деления системы на несколько групп, из которых каждая питает место к. з. независимо. Группы выбираются таким образом, чтобы генераторы каждой группы были приблизительно одинаково электрически удалены от места к. з. Неправильным делением на группы можно внести в расчет большую ошибку (в примере, приведенном в § 36 РУ, ошибка получается при $t=0,2$ sec. до 14% и при $t=1,5$ sec., до 42%). Часто в расчетах имеют место ошибки из-за смещения базисной мощности с действительной мощностью системы. Дальнейшее уточнение методики расчетов делает их еще более длительными и сложными; возможные ошибки становятся еще более вероятными.

Усложнения и уточнения в расчетах токов к. з. не имеют большого смысла, так как в исходных данных для расчетов (мощности установок, ее схемы, мощности системы и связи с ней, постоянных машин и других элементов схемы) допуски настолько велики, что они влияют на результат расчета в несравненно большей мере, чем некоторые упрощения в методе расчета. Все большее распространение быстродействующей релейной защиты и уменьшение времени действия выключателей позволяют применять упрощенные методы расчета тока к. з. для выбора аппаратуры.

С этой точки зрения большой интерес представляет упрощенный метод расчета тока к. з. [Л. 1, 2]. По этому методу для каждой точки определяется максимальное эффективное значение периодической слагаемой тока к. з. для разных видов повреждений — по определенным формулам. Для выбора отдельных видов

аппаратуры эта величина умножается на простые коэффициенты, сведенные в нормах расчета в таблицу. Так, для выключателей высокого напряжения предлагаются в общем случае следующие коэффициенты для определения тока отключения: для восьмипериодного или более медленно действующего выключателя—1,0; для пятипериодного—1,1; для трехпериодного—1,2 и для двухпериодного выключателя—1,4.

Исключение предлагается делать только для выключателей, установленных в генераторных распределительных устройствах при мощности к. з. более 500 000 kVA (определенной до применения множительного коэффициента). Для этих условий предлагаются следующие коэффициенты для определения тока отключения: для восьмипериодного или более медленно действующего выключателя—1,1; пятипериодного—1,2; трехпериодного—1,3 и для двухпериодного выключателя—1,5.

При определении максимального эффективного значения периодической слагаемой тока к. з. для этого случая синхронные генераторы учитываются по сверхпереходному реактивному сопротивлению, синхронные двигатели—по переходному реактивному сопротивлению, индукционные двигатели не учитываются. Влияние синхронных двигателей учитывается в меньшей степени, чем синхронных генераторов, по следующим соображениям.

Синхронные двигатели обычно работают с коэффициентом мощности около единицы, поэтому напряжение за их сверхпереходным и переходным реактивными сопротивлениями только немного выше напряжения на выводах. Синхронные двигатели повышают коэффициент мощности нагрузки, следовательно, косвенным образом они снижают э. д. с. генераторов системы. Обычно мощности отдельных синхронных двигателей намного меньше мощности генераторов поэтому они имеют меньшие значения постоянных времени и затухание посылаемых синхронными двигателями токов к. з. происходит быстрее, чем у генераторов. Влиянием индукционных двигателей считают возможным пренебречь для времен в 2 или более периодов [Л. 3].

Указанные выше коэффициенты для определения тока отключения выключателей выведены путем сопоставления результатов расчетов по более точному методу для различных характеристик сети—для паротурбинных генераторов и гидрогенераторов, для электрически близких и удаленных точек к. з.

Коэффициенты для выключателей с временем действия более восьми периодов (в большинстве случаев выключатели старых типов) предлагается принимать такие же, как для восьмипериодных выключателей, на том основании, что современные выключатели более эффективны, чем выключатели старых типов, и поэтому выбор выключателей старых типов должен быть выполнен с большим запасом надежности.

Указанные выше промежутки времени, для которых определяются токи отключения выключателей, настолько малы, что влияние появления

углового сдвига э. д. с. генераторов при к. з. и изменения возбуждения под действием автоматических регуляторов напряжения незначительно и может не учитываться при расчете тока к. з. Это положение остается справедливым и при применении столь малоинерционных способов автоматического регулирования напряжения как компаундирование и электронные регуляторы. Вычисленные указанным выше способом значения токов к. з. можно считать надежными также в тех случаях, когда какие-нибудь из указанных выше классов выключателей будут размыкать свои контакты в большие промежутки времени [Л. 3].

Максимальное эффективное значение тока к. з. для первой полуволны, включающее периодическую и аperiodическую слагаемые тока к. з., определяется в общем случае путем умножения максимального эффективного значения периодической слагаемой тока к. з. на коэффициент 1,6, но при этом учитывается сверхпереходное реактивное сопротивление как синхронных генераторов, так и синхронных и индукционных двигателей. При напряжении 5 000 V и ниже, учитывая более малое значение отношения реактивного сопротивления к активному, которым обусловлено более сильное падение аperiodической слагаемой в течение первой полуволны, рекомендуется во всех случаях² пользоваться коэффициентом 1,4 вместо 1,6.

Сравнение результатов выбора для установок высокого напряжения выключателей по РУ 1944 г. и новым американским нормам расчета приводит к следующим выводам.

Для электрически удаленных точек сети для восьмипериодных и более медленно действующих выключателей результат будет один и тот же. Лишь для более быстродействующих выключателей по американским нормам в этих случаях получится соответственно большая разрывная мощность выключателей.

Для электрически близких точек сети—для генераторных станций и узловых подстанций, по американским нормам расчета получаются значительно большие разрывные мощности выключателей. Особенно большая разница получается для генераторных распределительных устройств. Правда, часто у выключателей для напряжений генераторных распределительных устройств при выборе определяющим фактором является не столько разрывная мощность, сколько ударный ток к. з. (максимальное мгновенное значение полного тока к. з.). Величины же ударного тока к. з. получаются почти одинаковыми по нашим РУ и по американским нормам расчета. Но для выключателей на напряжение 35 kV и выше определяющими всегда будет не ударный ток к. з., а разрывная мощность, и различие в методах расчета будет иметь большое значение. Таким образом, для наиболее ответственных установок выбор выключателей по РУ 1944 г. дает значи-

² За исключением тех случаев, когда наибольшая часть мощности к. з. питается от близких расположенных генераторов.

тельно заниженные значения разрывной мощности.

Аналогичные приведенным выше множительные коэффициенты американские нормы расчета тока к. з. дают также для выбора воздушных выключателей на напряжение 600 V и ниже, трубчатых разрядников, предохранителей и установок защитных реле как быстродействующих, так и действующих с выдержкой времени.

Относительно выбора предохранителей следует отметить, что по последним РУ предохранители по режиму к. з. выбираются без учета аperiodической слагаемой тока к. з. (§ 88). По американским же нормам расчета, учитывая очень малое время действия предохранителя, его разрывная мощность определяется эффективным значением за первые полпериода полного тока к. з., определенного на основе сверхпереходного реактивного сопротивления как генераторов, так и синхронных и индукционных двигателей.

Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания 1944 г. относятся только к электрическим установкам высокого напряжения (свыше 1 kV), как это оговорено в заглавии и в предисловии. Этим как бы подчеркивается, что методология расчета токов к. з. в установках более низкого напряжения (ниже 1 kV) должна быть иной. Американские же нормы расчета не делают такого различия — нормы относятся как к установкам высокого, так и низкого напряжений. Учитывается то, что воздушные выключатели низкого напряжения (600 V и ниже) часто имеют мгновенное выключение и размыкают свои контакты в течение первой половины периода. Ток отключения этих выключателей определяется умножением на коэффициент 1,25 максимального эффективного значения периодической слагаемой тока к. з., определенной с учетом сверхпереходного реактивного сопротивления как генераторов, так и синхронных и индукционных двигателей. Коэффициентом 1,25 учитывают относительно большую долю активного сопротивления в цепях низкого напряжения (отношение $\frac{X}{R}$ редко бывает больше десяти), что приводит к резкому уменьшению постоянной времени аperiodической слагаемой тока к. з.

Вряд ли в каком-либо другом вопросе проектирования электрических установок было столько неопределенности, противоречий и путаницы, как в вопросе расчета тока к. з. для установок низкого напряжения. Для установок низкого напряжения предлагались большие произвольные снижающие коэффициенты для токов к. з., определенным по методам, принятым для установок высокого напряжения. Доказывалось, что токи повреждения, превышающие некоторую произвольную величину, в установках низкого напряжения не имеют места. Часто пытались ввести некоторую произвольную величину сопротивления в цепь низкого напряжения. Так, например, одна инструкция рекомендовала при расчете токов к. з. в сетях с напряжением до 500 V включать сопротивление дуги, учитываемой величиной

0,05 Ω , что приводило к снижению значения тока к. з. до небольшой величины. Развитие таких взглядов привело к тому, что предписывалось для установок низкого напряжения не рассчитывать токи к. з., исходя из того положения, что для таких установок любая аппаратура будет устойчива при к. з. Между тем, опыт доказывает ошибочность таких взглядов и правильность тех положений, которые нашли отражение в американских нормах расчета токов к. з. Еще в 1933 г. были опубликованы ценные результаты работы, выполненной в ВЭИ А. Я. Буйловым и И. Д. Ногаевым [Л. 7], которая касалась определения сопротивления низковольтной дуги перемещенного тока. Проведенные ими опыты показали, что сопротивление дуги в установках низкого напряжения при токах в несколько тысяч ампер значительно ниже 0,05 Ω . При токах порядка 6 000—8 000 А оно снижается до 0,002—0,003 Ω , при дальнейшем увеличении тока эта величина может быть еще меньше. Больше того, к. з. не во всех случаях будет происходить через дугу. Поэтому, так же как в установках высокого напряжения, не следует учитывать сопротивление дуги, а вести расчет для условия металлического к. з.

Данные интересных опытов опубликованы в статье А. Э. Андерсона [Л. 8]. В этих опытах к. з. на напряжении 440 V получены были токи до 120 000 А эффективных. Замеренные величины токов к. з. очень близко совпали с расчетными значениями для соответствующих условий установок, определенными в основном по тем же методам, какие применяются при расчете токов к. з. установок высокого напряжения. Опыты и расчеты показали, что при вычислении реактивных сопротивлений систем низких напряжений небольшие сопротивления приобретают большое значение и все элементы цепи, включая трансформаторы тока, выключатели, шины и провода должны быть приняты во внимание. Учет активного сопротивления элементов цепи, оказывая большое влияние на величину постоянной времени аperiodической составляющей тока к. з., во многих случаях не окажет заметного влияния на максимальное эффективное значение периодической слагаемой тока к. з. В некоторых случаях активное сопротивление элементов цепи может все же значительно влиять и на эту последнюю величину. Тщательная проверка в каждом случае должна показать, имеет ли учет того или другого небольшого сопротивления существенное значение.

Из изложенного необходимо сделать следующие **выводы**:

1. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания, утвержденные Техническим отделом НКЭС в 1944 г., при выборе выключателей по отключаемой мощности приводят в определенных условиях установок (в основном вблизи генерирующих станций) к неправильным результатам.

2. Все большее распространение быстродействующих выключателей и быстродействующей релейной защиты позволяет применять упрощен-

ный метод расчета токов к. з. для выбора аппаратуры, что избавит от длительных и сложных расчетов, а результаты сделает более надежными.

3. Расчет токов к. з. в установках низкого напряжения должен производиться в основном теми же методами, что и в установках высокого напряжения. Аппаратура и другие элементы установок низкого напряжения должны выбираться в соответствии с результатами этих расчетов.

Литература

1. AIEE Committee. Simplified Calculation of Fault Currents. El. Eng., p. 59—511, № 10, 1942.

2. AIEE-Committee. Revisions Made to „Simplified Calculation of Fault Currents“. El. Eng., p. 65, № 2, 1944.

3. W. M. Hanna, H. A. Travers, C. F. Wagner, C. A. Woodrow and W. F. Skeats. System Short-Circuit Currents. Proposed New Calculating Procedure for Application of Interrupting Devices and Relays. El. Eng., № 9, Transactions Section, pp. 877—881, 1941.

4. Standards of the American Institute of Electrical Engineers, № 19, 1938. Oil Circuit Breakers, § 19—207.

5. Труды I Всесоюзного совещания по высоковольтной аппаратуре, Ленинград, стр. 51, 55 и 58, 1938.

6. Ленинградский электромашиностроительный завод „Электросила“ им. Кирова. Турбогенераторы серии Т₂. Технический справочник, Ленинград, 1945.

7. А. Я. Буйлов и И. Д. Ногаев. Сопротивление низковольтной дуги переменного тока. Электричество, № 12, стр. 36—39, 1933.

8. A. E. Anderson. Short Circuit Currents How such currents in low-voltage a—c systems can be reliably calculated, GER, pp. 316—319, № 6 и pp. 399—401, № 7, 1943.

Из решения Технического совета Министерства электростанций СССР

Технический совет Министерства электростанций СССР 20 мая с. г. рассмотрел вопрос об изменении и уточнении методов расчета токов короткого замыкания и выбора выключателей и принял следующее решение:

1. Считать, что предстоящие в связи с новым пятилетним планом усовершенствования в аппаратостроении и релестроении, появление импортных быстродействующих выключателей и реле и прогресс в методике расчета токов короткого замыкания ставят на очередь вопрос о пересмотре «Руководящих указаний по расчету токов короткого замыкания».

2. Считать целесообразным на ближайший период, сохранив действующие «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания» и внести в них поправки для выбора выключателей, установленных вблизи генерирующих устройств, дополнить их рекомендациями по выбору быстродействующих (воздушных) выключателей, снабженных быстродействующей защитой, и инструкцией по выбору выключателей, у которых маркировка параметров по отключающей способности произведена по методам, отличающимся от союзного стандарта или американского стандарта.

3. Поручить Техническому отделу организовать работу по внесению поправок и дополнений к руководящим указаниям.

4. Одновременно начать подготовительные работы по пересмотру руководящих указаний в двух направлениях: 1) упрощения рекомендации для выбора аппаратуры при проектировании; 2) уточнения метода для расчетов в эксплуатационных условиях.

5. Для систематической работы над вопросами, связанными с расчетами короткого замыкания, выбором аппаратуры и своевременного обобщения опыта и научных исследований, утвердить постоянную комиссию при Техническом совете (комиссия по токам коротких замыканий) в составе: И. А. Сыромятников (председатель), С. А. Ульянов, Н. Н. Щедрин, И. М. Маркович и Б. И. Розенберг, — с участием представителей Министерства электропромышленности СССР.

6. Признать необходимым продолжать работы Теплоэлектропроекта по составлению руководящих указаний по расчету токов короткого замыкания в установках низкого напряжения. Поручить Техническому отделу Министерства электростанций организовать эту работу.



Исследование электрических характеристик кабельной изоляции на моделях кабеля

Доктор техн. наук, проф. С. М. БРАГИН

Московский энергетический институт им. Молотова

Развитие высоковольтной кабельной техники в значительной мере определяется возможностью быстро и надежно измерять электрические свойства и в особенности электрическую прочность и надежность работы новых типов кабеля.

Электрическая прочность кабельной изоляции зависит не только от свойств примененных для изготовления изолирующего слоя материалов, но и от характера технологических операций по изготовлению кабельной изоляции. При современном состоянии кабельной техники плотность наложения бумажных лент, величина зазоров между стыками лент, степень сушки и качество пропитки определяют качество кабеля едва ли не в большей степени, чем качество примененной для изготовления кабельной бумаги и пропитывающей массы. Таким образом, действительные значения электрической прочности кабельной изоляции того или иного рода могут быть получены только путем испытания изготовленного в определенных условиях кабеля интересующей нас конструкции. Такой способ проверки качества новых конструкций кабеля дорог и требует весьма много времени. Значительно скорее и дешевле можно было бы решать те же вопросы в том случае, если вместо кабеля можно было бы изготовить физически подобную ему модель и, подвергнув ее испытаниям и исследованиям в интересующем нас направлении, установить хотя бы сравнительным путем преимущества или недостатки новой модели по сравнению с заранее исследованной «стандартной» моделью.

Сравним преимущества и недостатки обоих методов исследования.

В первом случае исследование производится на самом объекте (кабеле), но зато испытания электрической прочности значительно осложняются из-за необходимости применения очень высокого напряжения для пробоя образцов кабеля, что требует длительной и дорогостоящей подготовки концовка кабеля к испытаниям, ограничивает по этой причине число испытаний и осложняет получающиеся зависимости появлением «концевого» эффекта и других физических

Разработан способ сравнительного испытания качества кабельной изоляции различных выполнений на малых моделях. Описана лабораторная установка для сушки и пропитки моделей кабелей с бумажной изоляцией. Изготовление и испытание таких моделей значительно дешевле и требует меньше времени, чем изготовление и испытание опытных кабелей с различными вариантами выполнения изоляции.

процессов (высокочастотные разряды), которые влияют на снижение пробивной прочности.

Во втором случае исследование производится на модели кабеля,

которая изготавливается так, чтобы обеспечить некоторое физическое подобие между ней и кабелем. Результаты испытания электрических свойств и, в особенности, пробивной прочности изоляции могут быть получены достаточно быстро и на сколько угодно большом количестве образцов, так как стоимость модели значительно ниже стоимости кабеля. Пробивное напряжение модели в несколько раз ниже пробивного напряжения моделируемого кабеля, и поэтому пробой моделей не представляет затруднений.

Резюмируя, можно сказать, что в первом случае объект испытания достоверен, а во втором лишь с какой-то степенью вероятности может считаться физически подобным интересующему нас кабелю, но зато результаты испытаний во втором случае и по количеству измерений и по их качеству выше. Определить вероятность физического подобия модели и является главной и основной задачей моделирования физических процессов.

Еще в 1941 г. Кабельной лабораторией МЭИ им. Молотова были начаты работы по моделированию основных технологических процессов изготовления высоковольтных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией. Тогда же была создана установка, воспроизводящая в уменьшенном масштабе основной процесс в технологии изготовления высоковольтных кабелей, а именно, процесс сушки и пропитки кабельной изоляции. Работа по окончании войны была возобновлена, и в 1945—1946 гг. проведен ряд исследований, касающихся основных вопросов кабельной техники. В качестве модели кабеля был принят цилиндрический конденсатор, получающийся при намотке на латунную трубку диаметром 11 или 19 мм и длиной 150—180 мм изолирующего слоя толщиной 1 или 0,5 мм из рулона кабельной бумаги, в котором предварительно сделаны прорезы так,

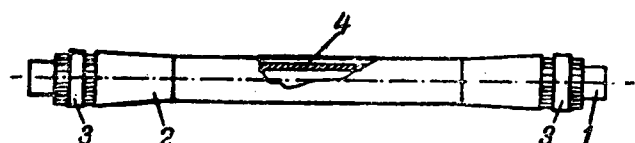


Рис. 1.

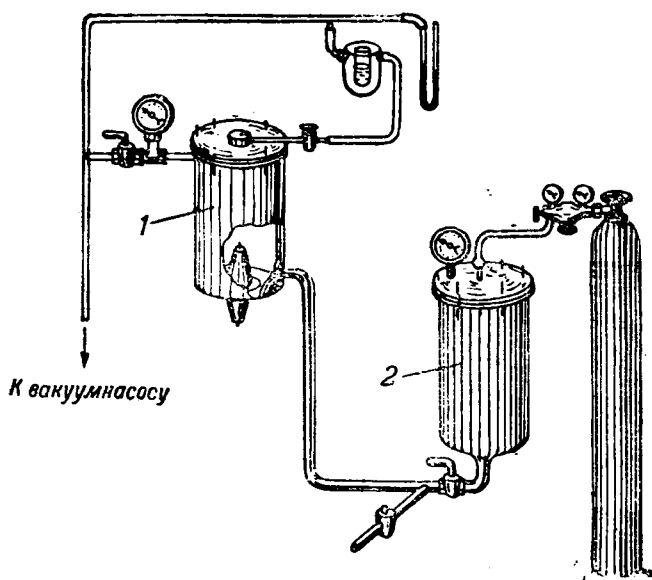


Рис. 2.

чтобы они совпадали через каждые два слоя, что соответствует наложению бумажных лент кабельной изоляции с перекрытием в 36%. Таким образом, получаются зазоры в изолирующем слое, воспроизводящие в некотором идеализированном виде зазоры между бумажными лентами действительного кабеля. Общий вид примененной нами модели кабеля показан на рис. 1; обозначения: 1 — латунная трубка; 2 — оболочка из станиоля; 3 — охранные кольца из станиоля; 4 — изоляция. На рис. 2 изображена схема лабораторной установки для сушки и пропитки моделей кабеля, которая состоит из двух баков с электронагревом, вакуумнасоса и приборов для контроля температуры и давления внутри баков.

Однородные по размерам и изготовлению модели кабеля в числе 8—12 помещаются в бак 1 и подвергаются вакуумной сушке и пропитке изолирующим составом, заготовленным заранее в баке 2. В процессе сушки и пропитки электрические свойства моделей контролируются путем измерения сопротивления изоляции и емкости при постоянном токе (на схеме сравнения) или путем измерения ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ на мосте Шеринга при переменном токе 50 Hz.

Контроль остаточной влажности при сушке осуществлялся путем наблюдения «точки росы», т. е. упругости водяных паров в баке 1 во время сушки моделей. На рис. 3 приведена одна из типовых диаграмм, полученных нами при сушке и пропитке в опытной установке моделей кабеля; в процессе сушки и пропитки она дает изменение $\operatorname{tg} \delta$, ϵ при постоянном и переменном

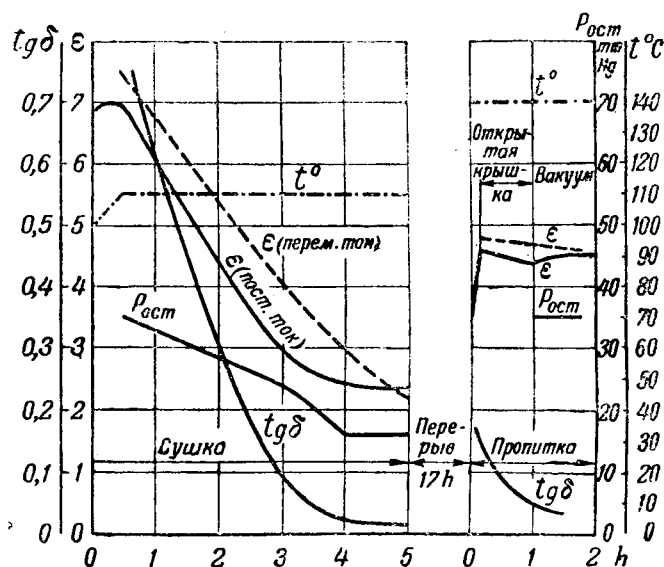


Рис. 3.

токе, остаточного давления и температуры. Из этой диаграммы видно, что ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ резко снизились в процессе сушки и скачкообразно повысились после выпуска пропитывающей массы за счет заполнения пропитывающей массой воздушных зазоров в изолирующем слое. Подобные же диаграммы можно снять и в цехе кабельного завода на любом кабеле и, таким образом, можно установить подобные процессов сушки и пропитки в цеховой и модельной установках.

В особенности следует рекомендовать применение метода моделирования в том случае, когда требуется решить вопрос о возможности применения того или иного материала взамен ранее употреблявшихся для этой же цели или о влиянии технологического процесса на электрические свойства пропитанной изоляции.

Нами был проведен ряд экспериментов по выяснению влияния на электрические свойства и пробивную прочность бумажной пропитанной изоляции следующих факторов: остаточной влажности при сушке кабеля, качества пропитывающего состава и давления газа и масла в кабеле.

Влияние остаточной влажности при сушке моделей кабеля исследовалось путем измерения электрических характеристик и пробивной прочности моделей кабеля, пропитанных определенным пропитывающим составом. Сушка моделей велась до остаточной влажности от 0,3 до 0,8%, что определялось по наблюдению точки росы, которая составляла в наших опытах от -2 до $+12^\circ \text{C}$.

Для образцов, пропитанных свежим маслоканифольным составом нормальной вязкости, зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от напряжения (ионизационная кривая) приведена на рис. 4, температурный ход $\operatorname{tg} \delta$ (при градиенте $1,5 \text{ kV/mm}$ — на рис. 5, а зависимость удельного сопротивления изоляции от температуры — на рис. 6; сплошные кривые соответствуют остаточной влажности 0,3%, пунктирные — 0,5%, а пунктирные с точкой — 0,7%.

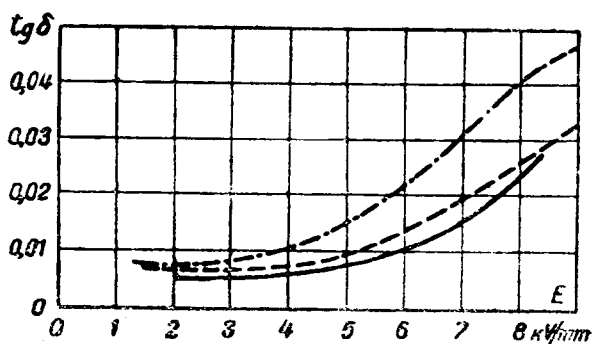


Рис. 4.

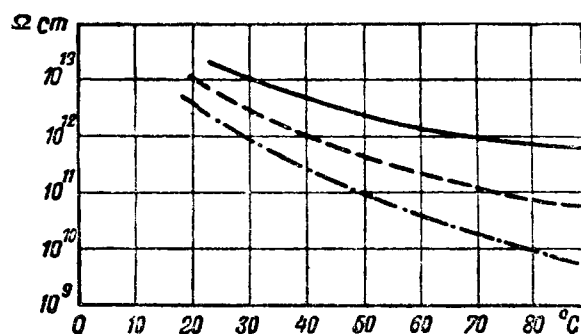


Рис. 6.

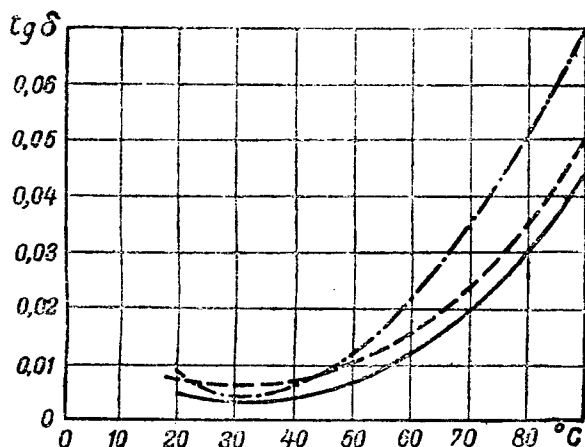


Рис. 5.

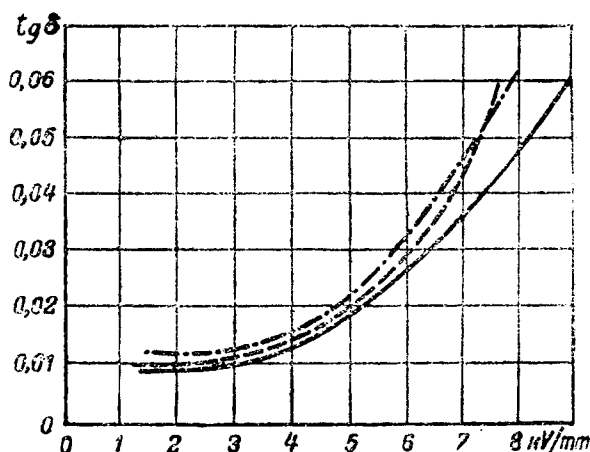


Рис. 7.

Все три рисунка ясно показывают влияние остаточной влажности на электрические характеристики кабельной изоляции. Особенно сказывается изменение остаточной влажности на величине удельного сопротивления изоляции, которое в наших опытах изменялось при увеличении остаточной влажности от 0,3 до 0,7% в пределах от 10¹² до 10¹⁰ Ω·см (при 80°).

Влияние влажности в конце сушки на tg δ при температуре от 20 до 40°С и градиенте от 1 до 3 кВ/мм практически не сказывается; ясная зависимость имеется лишь для температуры выше 50°С и градиентов выше 3 кВ/мм, да и то только в случае пропитки массой хорошего качества (рис. 4 и 5). При старой пропитывающей массе влияние остаточной влажности на эти характеристики также почти не сказывается, что видно из диаграмм, приведенных на рис. 7 (рис. 7, 8 и 9 аналогичны 4, 5 и 6, но относятся к случаю пропитки старой массой). Пропитка старой маслоканифольной массой вместо свежей массы снижает величину удельного сопротивления изоляции моделей, высушенных до малой остаточной влажности (0,3%), но не меняет сопротивления изоляции плохо высушенных моделей (остаточная влажность 0,7%), как это видно из сравнения рис. 6 и рис. 9.

Значительное улучшение качества пропитывающего состава получается в том случае, когда маслоканифольная масса готовится на предварительно профильтрованном и дегазированном минеральном масле и после пригото-

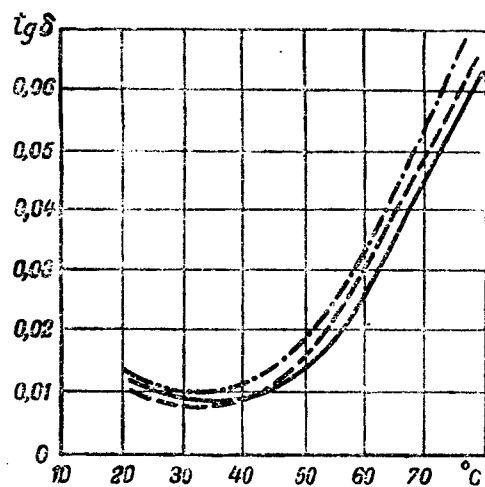


Рис. 8.

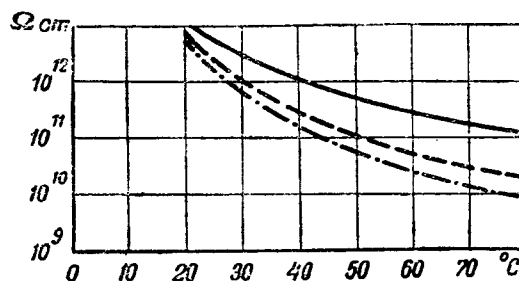


Рис. 9.

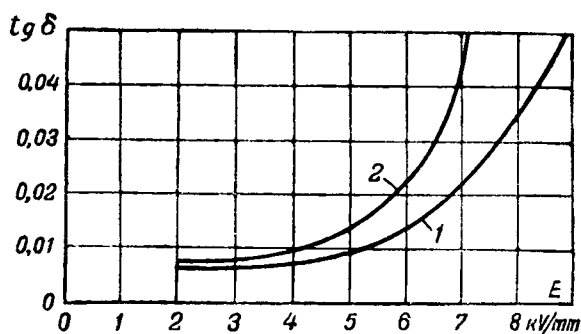


Рис. 10.

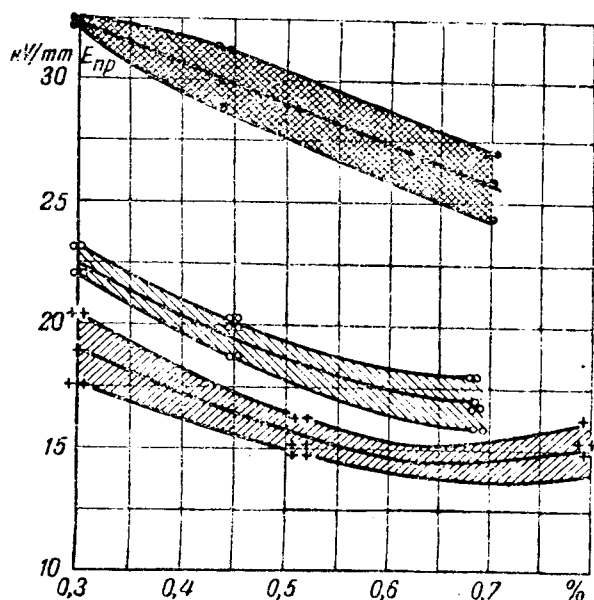


Рис. 11.

ния насыщается азотом при избыточном давлении порядка 1—1,5 ат. На рис. 10 показано влияние дегазирования с последующим насыщением азотом на зависимость $\text{tg } \delta$ модели от градиента напряжения (кривая 1 — дегазированная масса, 2 — недегазированная).

Особенно интересно исследовать влияние степени сушки и качества пропитывающего состава на электрическую прочность кабельной изоляции. Этот вопрос не был до сих пор освещен с достаточной полнотой именно потому, что применявшаяся методика не позволяла сделать этого или из-за большой стоимости и длительности испытаний при проведении их непосредственно на кабеле, или из-за отсутствия физического подобия при изготовлении образцов (моделей кабеля). На рис. 11 показано влияние остаточной влажности (в %) при сушке и качества пропитывающего состава на электрическую прочность (в кВ/мм) кабельной изоляции; световые кружки относятся к пропитке свежей маслоканифольной массой, крестики — к пропитке старой маслоканифольной массой, черные кружки — к пропитке минеральным маслом с добавкой некоторых синтетических продуктов типа полиизобутилена (паратон); средние кривые в каждой заштрихованной области дают средние

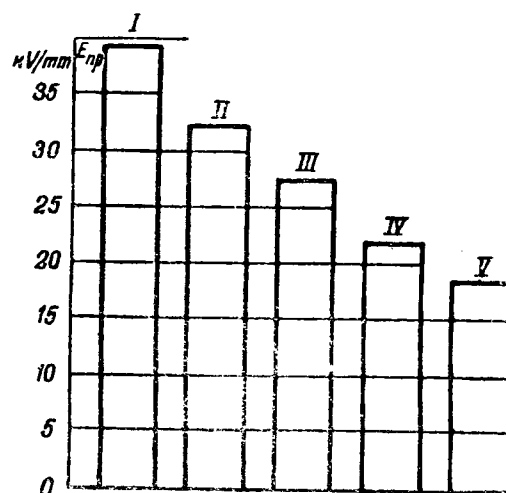


Рис. 12.

значения. Как видно, эта зависимость весьма резко выражена даже при изменении остаточной влажности в пределах от 0,3 до 0,8% и в столь определенной форме дана нами для бумажной пропитанной изоляции впервые. Кратковременная пробивная прочность при возрастании остаточной влажности для образцов, пропитанных маслоканифольным составом, приближается к некоторой минимальной величине (14—16 кВ/мм). Иной характер этой зависимости наблюдается для образцов, пропитанных маслом с паратоном: электрическая прочность резко падает при увеличении остаточной влажности.

Для получасовой пробивной прочности моделей кабеля, высушенных до остаточной влажности 0,3% при пропитке маслоканифольным составом, сваренным на дегазированном и недегазированном минеральном масле, было обнаружено, что применение дегазированного масла с последующим насыщением маслоканифольного состава азотом при избыточном давлении до 1,5 ат повышает электрическую прочность с 26 до 38 кВ/мм, т. е. примерно на 50%.

На рис. 12 сопоставлена пробивная прочность моделей кабеля, высушенных до остаточной влажности 0,3% при пропитке составами разного качества (I — дегазированная масса, II — масса на паратоне, III — недегазированная масса, IV — свежая цеховая масса, V — старая цеховая масса). Пробивная прочность определялась при общей длительности скачкообразно повышаемого напряжения не более 30 мин. Наилучший результат дал разработанный нами метод приготовления пропитывающей массы на предварительно дегазированном минеральном масле с последующим насыщением маслоканифольного состава азотом под давлением около 1,5 ат. Наихудший результат получился для образцов, пропитанных старой маслоканифольной массой, взятой из цеха кабельного завода.

Пробы всегда происходили по наиболее слабому месту изолирующего слоя, т. е. через вырезы в бумаге. Толщина изолирующего слоя моделей была, как правило, 1 мм (в некоторых случаях 0,5 мм).

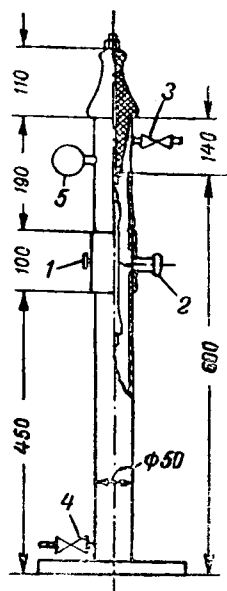


Рис. 13.

Основные характеристики пропитывающих масс были следующие:

М а с с ы	Удельное сопротивление при 80° С, $\Omega \cdot \text{см}$	$\text{tg } \delta$ при 50°С
Маслоканифольные		
а) Свежая	$1,45 \cdot 10^{11}$	0,13
б) Старая	$6,50 \cdot 10^9$	0,16
в) Н1 дегазированном масле, насыщенная азотом	$3,88 \cdot 10^{10}$	0,15
Маслопаратоновая	$4,68 \cdot 10^{10}$	0,12

Вязкость пропитывающих масс, определенная с помощью вискозиметра Энглера с соплом диаметром 3 мм, при 80° С была равна 9—11° Е.

На тех же моделях кабеля было проведено исследование электрической прочности бумажной пропитанной изоляции при повышенном давлении газа и масла в кабеле. Испытание на пробой и измерение электрических характеристик производилось на модели кабеля, помещенной в изображенной на рис. 13 стальной бомбе с клеммой 1 для заземления, изолированной выводом 2 для моста Шеринга, подводящей газ и масло трубками 3 и 4 и манометром 5.

Кривые жизни моделей при различных избыточных давлениях азота (1, 2 и 3 ат) показаны на рис. 14. Результаты определения пробивной прочности моделей кабеля кратковременным (до 30 мин) приложением переменного напряжения 50 Нз при различных избыточных давлениях азота в бомбе показаны на рис. 15; для образцов, пропитанных нормальным маслоканифольным составом, на кривой 1 тем же составом, но насыщенным азотом после предварительного дегазирования масла — на кривой 2.

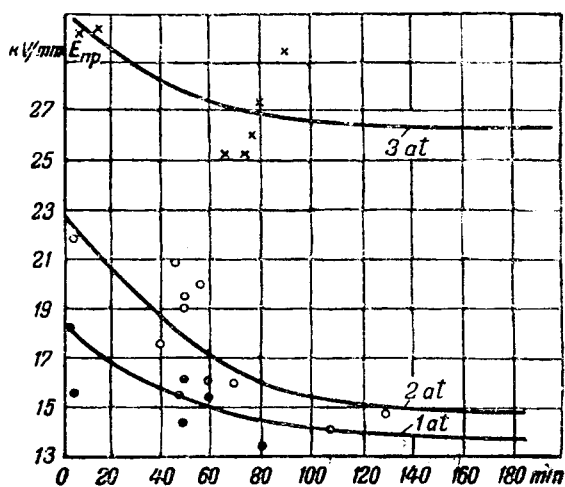


Рис. 14

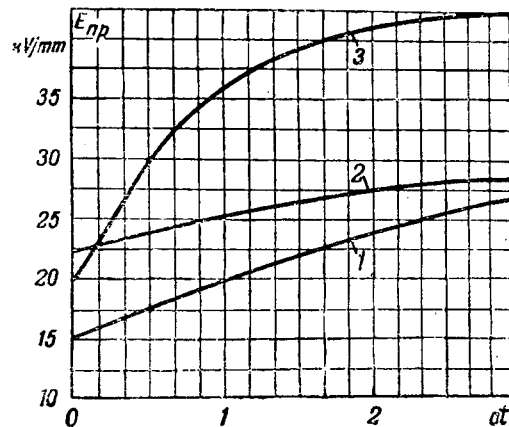


Рис. 15.

Здесь же приведено изменение пробивной прочности моделей, пропитанных нормальным маслоканифольным составом, но испытанных напряжением не в газе, а в минеральном масле (кривая 3). При избыточном давлении от 1 до 2 ат пробивная прочность моделей кабеля, испытанных в масле, примерно на 80% выше пробивной прочности таких же образцов в сжатом газе (азоте).

В заключение следует отметить особую эффективность примененного нами метода изготовления и испытания физически подобных моделей кабеля для решения вопросов о сравнении электрических свойств кабельной изоляции при разных условиях сушки и пропитки, а также при введении новых изолирующих материалов (пропитывающий состав, бумага и пр.), т. е. как раз тех вопросов, которые весьма часто встречаются в производственной жизни заводов и решение которых особенно тяжело, так как связано с необходимостью экспериментирования на цеховой продукции.

Все перечисленные выше испытания моделей кабеля потребовали изготовления около 170 шт. моделей кабеля, что, однако, особых затруднений не представило, так как одна партия моделей (пропитывающий состав, бумага и пр.), т. е. тана примерно за 7—8 час.

Этот метод изготовления и испытания физически подобных моделей может быть применен не только в кабельном производстве, но и в любом другом производстве, связанном с изготовлением электрической изоляции, например, в производстве высоковольтных электрических машин и аппаратов.

Работа выполнена для Центральной кабельной лаборатории Министерства электропромышленности и в лаборатории кафедры «Кабельной техники» Московского энергетического института им. Молотова. Экспериментальная часть работы выполнена ассистентом кафедры Н. Г. Бируля.



Распределение пустот в изолирующем слое силовых кабелей

Кандидат техн. наук И. Г. ГЕРЦЕНШТЕЙН

Московский энергетический институт им. Молотова

Известным недостатком силовых кабелей с вязкой пропиткой является неизбежность образования газовых включений в их изолирующем слое. Эти газовые включения появляются из-за отсутствия абсолютного,

вакуума в процессе сушки и пропитки изолирующего слоя кабеля, а также и при его охлаждении в пропиточном котле, при наложении свинцовой оболочки, при изгибах кабеля в процессе монтажа и при циклах нагрева и охлаждения его в эксплуатации.

В изолирующем слое силовых кабелей, вследствие ионизации газовых включений возникают следующие процессы [Л. 1, 2, 3, 4, 5 и 6]: а) излишняя потеря энергии; б) химические изменения пропиточных составов и с образованием твердых веществ (кабельный воск и углерод) и газов (водород, метан, ацетилен и т. п.); в) вытеснение компаунда из пропитанной бумаги и ее разрушение. Развитие ионизации в изолирующем слое кабеля приводит к искровому разряду между волокнами бумаги и по поверхности соприкосновения лент бумаги.

Градиент напряжения начала возникновения ионизации газовых включений зависит от давления газа и размера включения. Исследования обнаружили, что в механизме пробоя кабеля неодинакова роль газовых включений, различно распределенных в толще его изолирующего слоя [Л. 7]. При расположении вблизи жилы они имеют первостепенное значение в зарождении ветвистого пробоя. Если газовые включения расположены внутри изолирующего слоя, то ветвистых побегов или обуглероживания не наблюдается и на лентах появляются лишь образования кабельного воска. Таким образом, ионизация пустот внутри изолирующего слоя никогда не развивается дальше стадии тихого разряда, при котором возможно лишь воскообразование и отсутствуют обуглероживание и ветвистые побеги на лентах бумаги.

Роль местонахождения пустот в механизме пробоя силового кабеля с пропитанной вязкими составами бумажной изоляцией обуславливает необходимость выявления их распределения в толще изолирующего слоя. Кроме того, места по

Показана экспериментально обнаруженная закономерность радиального распределения пустот и объяснены причины ее возникновения в силовых кабелях с изолирующим слоем из бумаги, пропитанной вязкими составами. Найдено, что удельный объем пустот и диэлектрические потери изолирующего слоя неодинаковы и по длине кабеля. Обнаруженное месторасположение пустот объясняет возникновение и процесс развития пробоя изолирующего слоя силового кабеля.

длине кабеля с концентрированным содержанием пустот являются наиболее ослабленными местами, где раньше всего происходят электрические повреждения изолирующего слоя и его пробой.

Поэтому неравномерность

распределения пустот в аксиальном направлении является одной из причин рассеивания величины пробивной прочности изолирующего слоя силового кабеля.

Объекты и методика исследований. Исследования выполнены на образцах силовых кабелей номинального напряжения 1—10 kV (толщина изолирующего слоя 0,5—3,0 мм), изготовленных в СССР в 1943—1944 г., и фирмой General Cable Corporation в 1942 г.

Распределение пустот в аксиальном направлении определялось путем наблюдений на ряде отрезков кабеля длиной 100—115 мм, расположенных вдоль кабеля через промежутки 20—30 мм. Эти отрезки кабеля (элементарные конденсаторы) создавались при помощи кольцевых вырезов на свинцовой оболочке одножильного кабеля или путем наложения временных оболочек из фольги на отдельные изолированные жилы трехфазного кабеля.

На указанных элементарных конденсаторах при помощи моста Шеринга производились измерения кривых $\lg \delta = f(u)$ и $\epsilon = \varphi(u)$, по сопоставлению которых определялась степень неравномерности распределения пустот вдоль изолирующего слоя кабеля.

Радиальное распределение пустот в изолирующем слое определялось сопоставлением кривых $\epsilon = \varphi(u)$, измеренных на конденсаторах одного отрезка кабеля. Эти конденсаторы были образованы наложением временной станиолевой оболочки на изолирующий слой кабеля, с которого постепенно сматывались ленты пропитанной бумаги. При измерениях с обеих сторон станиолевой оболочки (на расстоянии от нее 3—5 мм) накладывались охранные кольца из станиоля шириной около 20 мм.

Результаты массовых наблюдений распределения удельного объема пустот и диэлектрических характеристик изоляции обработаны методами математической статистики.

Результаты опытов. Типичное распределение $\operatorname{tg} \delta$ и ϵ при 13°C вдоль изолирующего слоя кабеля при двух величинах максимального градиента напряжения переменного тока показано на рис. 1.

На рис. 2 и 3 даны гистограммы распределения (ступенчатые статистические графики) $\operatorname{tg} \delta$ измеренного на элементарных конденсаторах вдоль того же кабеля при тех же двух величинах максимального градиента напряжения. Из рисунков видно, что величина $\operatorname{tg} \delta$ имеет весьма большое рассеивание, причем коэффициент изменчивости (относительная флюктуация) $V_{\operatorname{tg} \delta}$ до начала возникновения ионизации оказался больше, чем в области насыщения ионизации. Последнее объясняется шунтированием неоднородностей изолирующего слоя разрядами в пустотах, т. е. ионизация сглаживает неоднородности и приводит к повышению равномерности электрических свойств изолирующего слоя кабеля. Анализ свойств неоднородного диэлектрика приводит к заключению, что найденная неравномерность электрических свойств изолирующего слоя по длине кабеля может быть обусловлена двумя причинами: а) неравномерностью распределения пустот, занимающих в отдельных конденсаторах весьма большой удельный объем; б) неравномерностью соответствующих электрических свойств самой пропитанной бумаги даже по длине одного кабеля.

Из рис. 1 а видно, что значения диэлектрической проницаемости ϵ находятся в обычных пределах для пропитанной бумажной изоляции (2,8-3,6). Поэтому предположение о весьма большом объеме пустот в отдельных конденсаторах по длине кабеля не соответствует данным опытов.

Удельные объемы пустот в изолирующем слое элементарных конденсаторов кабеля и значения $\operatorname{tg} \delta_a$ для самой пропитанной бумаги этих конденсаторов выявлены расчетом, исходя из последовательной схемы замещения диэлектрика кабеля по нижеследующим уравнениям:

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_a + \frac{\mu \eta (\operatorname{tg} \delta_b - \operatorname{tg} \delta_a)}{\mu \eta + (1 + \operatorname{tg} \delta_b)^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_a} = \frac{1}{a + \frac{b \eta}{(1 + \operatorname{tg} \delta_b)^2}}, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} \delta_a$, $\operatorname{tg} \delta_b$, ϵ_a и ϵ_b — соответственно тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость компонент диэлектрика с объемными концентрациями a и b и $\mu = \frac{b}{a}$, $\eta = \frac{\epsilon_a}{\epsilon_b}$,

$$a + b = 1.$$

В разбираемом случае одной из компонент являются газовые объемы, поэтому в области напряжений до появления газовой ионизации

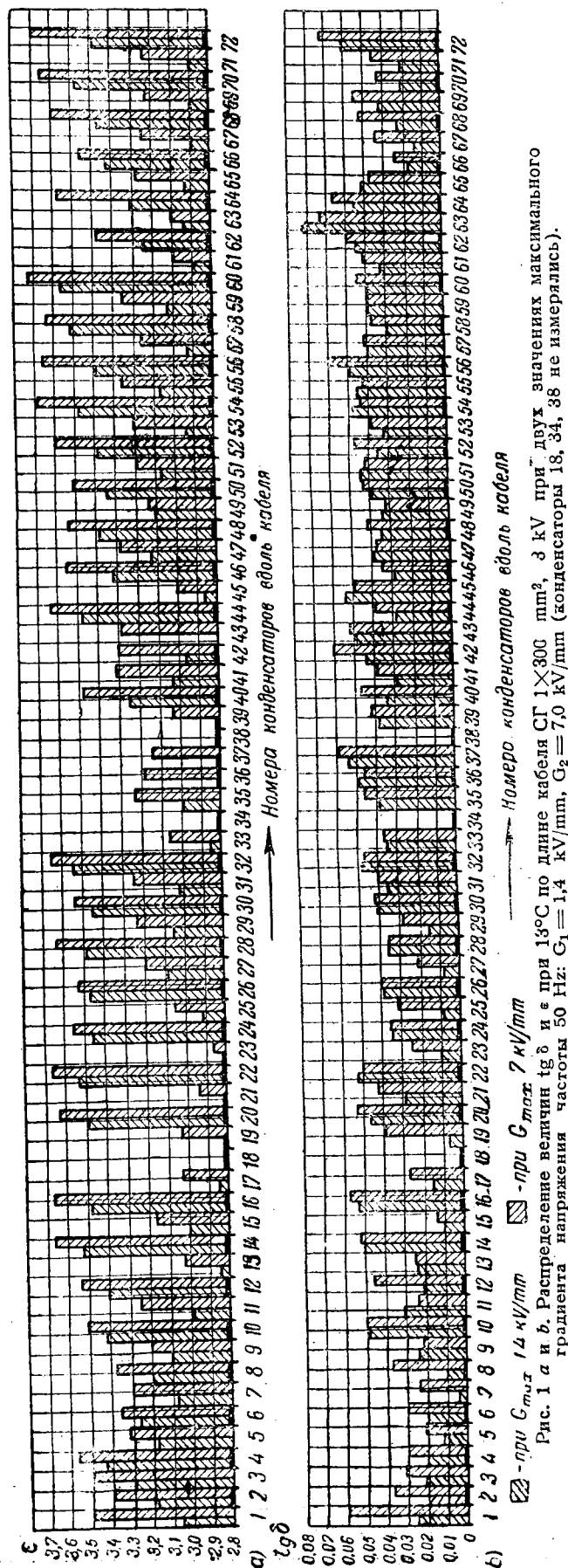


Рис. 1 а и б. Распределение величин $\operatorname{tg} \delta$ и ϵ при 13°C по длине кабеля СГ 1×300 мм², 3 кВ при двух значениях максимального градиента напряжения частоты 50 Гц: $G_1 = 1,4$ кВ/мм, $G_2 = 7,0$ кВ/мм (конденсаторы 18, 34, 38 не измерялись).

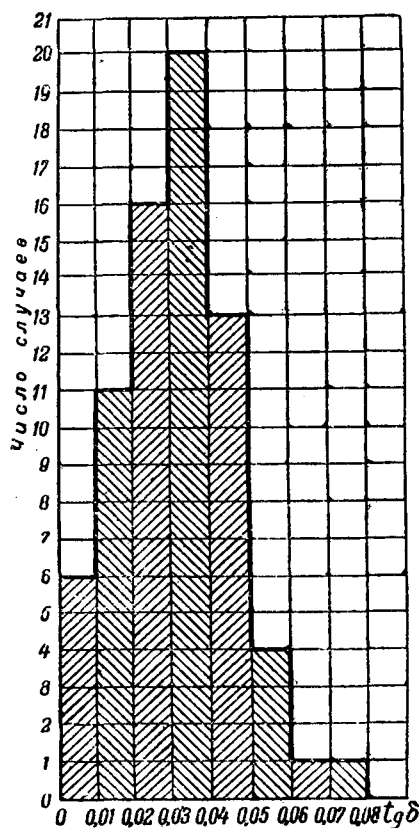


Рис. 2. Гистограмма распределения величины $\operatorname{tg} \delta$ вдоль изолирующего слоя кабеля СИ $1 \times 300 \text{ мм}^2$, 3 кВ при $G_{\max} = 1,4 \text{ кВ/мм}$. Среднее значение $\operatorname{tg} \delta = 0,0326$; стандарт $\sigma_{\operatorname{tg} \delta} = 0,0139$; коэффициент изменчивости $V_{\operatorname{tg} \delta} = 42,6\%$.

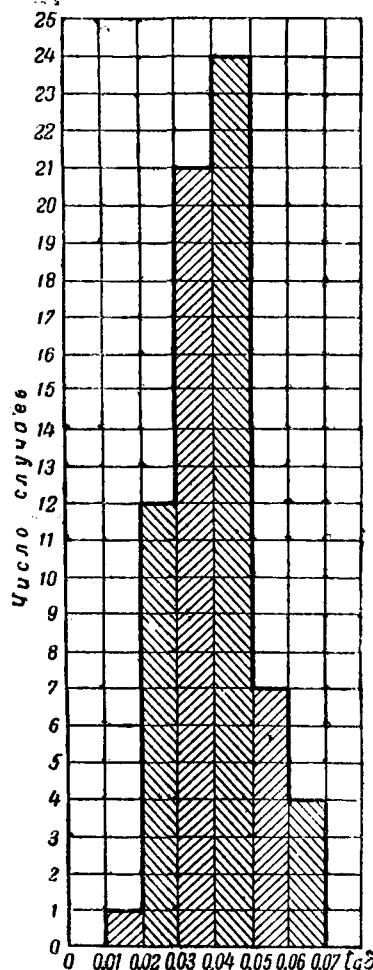


Рис. 3. Гистограмма распределения величины $\operatorname{tg} \delta$ вдоль изолирующего слоя кабеля СИ $1 \times 300 \text{ мм}^2$, 3 кВ при $G_{\max} = 7,0 \text{ кВ/мм}$. Среднее значение $\operatorname{tg} \delta = 0,0409$; $\sigma_{\operatorname{tg} \delta} = 0,108$; $V_{\operatorname{tg} \delta} = 26,4\%$.

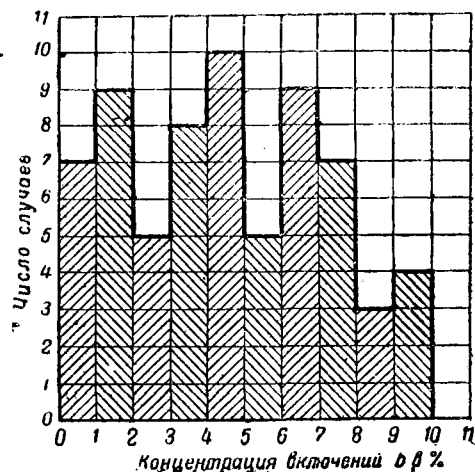


Рис. 4. Гистограмма распределения величины удельного объема пустот b вдоль изолирующего слоя кабеля СИ $1 \times 300 \text{ мм}^2$, 3 кВ на длине 16,6 м. Среднее значение $b = 4,4\%$; $\sigma_b = 2,55\%$; $V_b = 58\%$.

что среднее значение b оказалось равным 4,4%, стандарт рассеивания $\sigma_a = 2,58\%$, а коэффициент изменчивости (относительная флюктуация) $V_b = 58\%$. Отсюда следует, что вдоль изолирующего слоя «свежего» кабеля может иметь место весьма неравномерное распределение пустот.

Из данных рис. 5 найдено, что угол диэлектрических потерь для самой пропитанной бумаги испытанного кабеля в среднем составляет $\operatorname{tg} \delta_a = 0,0388$, стандарт его рассеивания $\sigma_{\operatorname{tg} \delta_a} = 0,0176$, а коэффициент его изменчивости $V_{\operatorname{tg} \delta_a} = 45,4\%$.

$\operatorname{tg} \delta_b = 0$ и уравнения (1) и (2) имеют следующий вид:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\operatorname{tg} \delta_a}{1 + \mu \eta} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{\epsilon_a}{a + b \eta} \quad (4)$$

Из зависимостей $\operatorname{tg} \delta = f(U)$ и $\epsilon = \varphi(U)$ для одного из элементарных конденсаторов найдены $b = 0,0138$ и $\epsilon_a = 3,58$, а так как $\epsilon_b = 1$, то $\eta = \frac{\epsilon_a}{\epsilon_b} = 3,58$. Удельный объем пустот b для всех элементарных конденсаторов вдоль кабеля определен по уравнению (4), причем принято, что величина диэлектрической проницаемости пропитанной бумаги вдоль кабеля практически одинакова. Затем найдены величины μ и $\operatorname{tg} \delta_a$.

Гистограммы распределений величин b и $\operatorname{tg} \delta_a$ для элементарных конденсаторов испытанного кабеля общей длиной около 17 м даны соответственно на рис. 4 и 5. Расчеты показали,

На основе анализа свойств композиции бумага — пропиточный состав можно предположить, что обнаруженная неравномерность величины ее диэлектрических потерь объясняется нижеследующим:

а) неравномерностью сушки отдельных элементов изолирующего слоя кабеля, т. е. неравномерностью ее влагосодержания;

б) неравномерностью электрических свойств компаунда (разная степень загрязнения различных объемов в пропиточном котле).

Различие содержания остаточной влажности в изолирующем слое одного кабеля весьма мало вероятно. Рассматриваемая композиция состоит, таким образом, из сухой бумаги и пропиточного состава и ее диэлектрические потери преимущественно определяются свойствами этого состава. Поэтому обнаруженная неравномерность диэлектрических потерь может быть вызвана разной степенью загрязнения микроскопических объемов примененного пропиточного состава.

Для выявления радиального распределения пустот в изолирующем слое кабелей определена

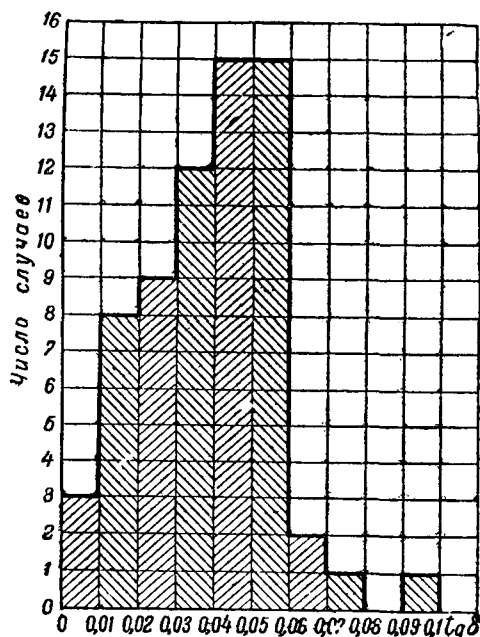


Рис. 5. Гистограмма распределения величины $\tan \delta$ для пропитанной бумаги вдоль кабеля СГ 1х1 мм², 3кВ при

$G_{\max} = 1,4 \text{ кВ/мм}$. Среднее значение $\tan \delta_a = 0,0388$; $\sigma_{\tan \delta_a} = 0,0176$; $V_{\tan \delta_a} = 45,4\%$.

диэлектрическая проницаемость ϵ вышеописанных элементарных конденсаторов в большом интервале величин градиентов напряжения. На рис. 6 показано изменение ϵ для изолирующего слоя кабеля при двух величинах градиента напряжения переменного тока — до возникновения ионизации и в области насыщения ионизации.

Ряд подобных испытаний фазовой изоляции разных кабелей обнаруживает одинаковый ход изменения ϵ в зависимости от числа снятых лент. По мере приближения к жиле ϵ для всех испытанных кабелей значительно уменьшается, доходя до 60–70% от своей первоначальной величины при наличии 10–20% лент на жиле.

Расчеты по уравнениям последовательной схемы замещения диэлектрика кабеля показали, что для всех испытанных кабелей удельный объем газовых включений при наличии 100% лент на жиле составляет 0,8–1,4%. По мере приближения к жиле удельный объем газовых включений значительно увеличивается. Это возрастание удельного объема пустот неодинаково по абсолютной величине для разных кабелей, но ход изменения ϵ в зависимости от числа лент на жиле имеет для них одинаковый характер и представляет собой семейство кривых, слабо вогнутых к оси абсцисс (рис. 7).

Первоначально предполагалось, что найденный ход изменений диэлектрической проницаемости обусловлен неплотным прилеганием станиоловой оболочки к наружной поверхности изолирующего слоя. По мере того как ленты бумаги удаляются с наружной поверхности и остается одинаковый воздушный зазор между этой поверхностью и оболочкой, влияние этого зазора возрастает и поэтому величина диэлектрической проницаемости уменьшается.

Ход изменения ϵ при наличии указанного зазора определен расчетным путем для фазы кабеля САД, 3х16 мм², 10 кВ, причем принято, что весь изолирующий слой ка-

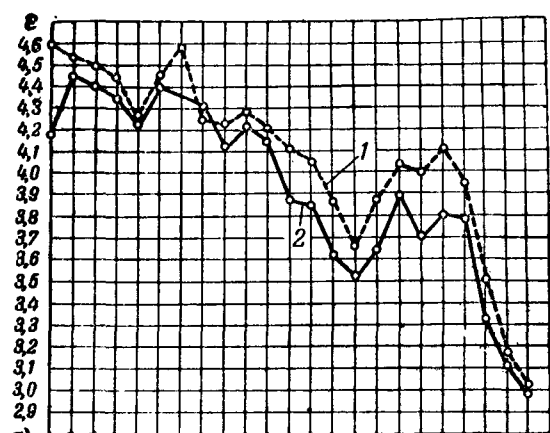


Рис. 6. Зависимость величины ϵ при 23°C от числа лент бумаги на жиле фазы кабеля САД 3х16 мм², 10 кВ (толщина всего изолирующего слоя 3 мм) при одинаковых средних градиентах напряжения частоты $f=50 \text{ Гц}$.

1—при градиенте напряжения 7 кВ/мм; 2—при градиенте напряжения 1 кВ/мм. Изолирующий слой кабеля состоит из 25 лент бумаги.

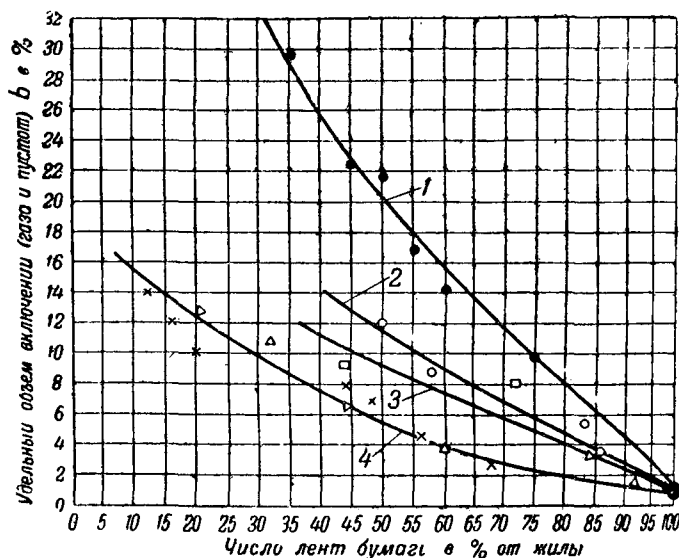


Рис. 7. Радиальное распределение величины удельного объема пустот в изолирующем слое кабелей.

1—СГ 1х300 мм², 3 кВ отечественного изготовления (март, 1944); 2—фаза САД 3х10 мм², 1 кВ изготовления фирмы General Cable Corporation (1942); 3—фаза САД 3х16 мм², 1 кВ отечественного изготовления (март 1944); 4—1 и 3 фазы САД 3х16 мм², 10 кВ отечественного изготовления (1943).

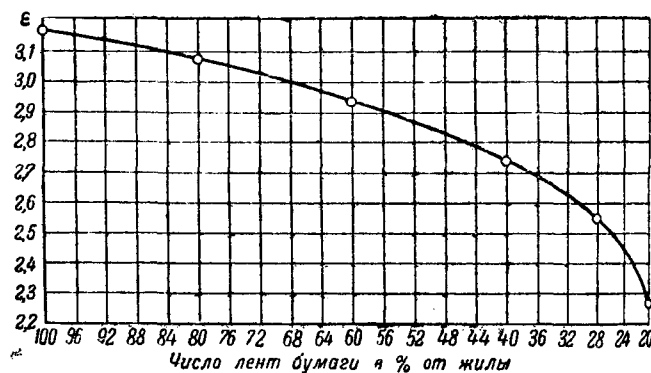


Рис. 8. Расчетная кривая изменения величины ϵ по мере снятия лент бумаги с фазы кабеля САД 3х16 мм², 10 кВ и при оставлении постоянной величины зазора у оболочки. Толщина изолирующего слоя 3,0 мм; толщина зазора 0,2 мм; число лент бумаги в изолирующем слое 25.

ля совершенно не содержит газовых включений и что толщина этого зазора воздуха у оболочки составляет 0,2 мм. Величина ε определена по уравнению последовательного соединения двух емкостей для ряда конденсаторов, образованных снятием лент бумаги с изолирующего слоя и при наличии указанной величины зазора между его наружной поверхностью и станиоловой оболочкой. Расчетная кривая для таким образом найденных значений ε дана на рис. 8. Она оказалась подобной экспериментально полученным кривым, что, однако, не подтверждает правильности вышеуказанного предположения. Анализ показал, что принятая расчетом величина зазора является непомерно большой. В действительности величины указанных зазоров у оболочки значительно меньше и они не оказывают влияния на величину ε в большом интервале изменения толщины изолирующего слоя.

Таким образом, единственным объяснением обнаруженного радиального хода изменения диэлектрической проницаемости является неравномерное распределение газовых включений по радиусу изолирующего слоя.

При охлаждении силового кабеля в пропиточном котле наружная часть изолирующего слоя кабеля имеет возможность допитываться компаундом, тогда как заполнению пустот в внутренней его части (вблизи жилы) препятствует сильное возрастание вязкости в наружных слоях. В связи с этим увеличиваются силы, тормозящие перемещение пропиточного состава в капиллярах и порах бумаги.

Для преодоления этих сил и обеспечения полноты пропитки необходимо при охлаждении кабеля приложение внешнего давления на пропиточный состав, находящийся в пропиточном котле. Величина этого давления может быть определена из уравнения [Л. 8]:

$$p = \frac{\beta \cdot k \cdot \eta}{4h} \cdot \frac{d\theta}{dt} \left[R^3 - r^3 - 2r^3 \ln \frac{R}{r} \right], \quad (5)$$

где k — коэффициент заполнения объема изолирующего слоя пропиточным составом; h — коэффициент проницаемости пористой среды; r — радиус жилы; R — радиус наружной поверхности изолирующего слоя; $\frac{d\theta}{dt}$ — скорость изменения температуры; η — вязкость пропиточного состава; β — постоянная константа. При охлаждении проникновение пропиточного состава в изолирующий слой изучаемых кабелей было прекращено при некоторой температуре. По мере продвижения к жиле это заполнение пустот уменьшалось и в непосредственно прилегающих к жиле слоях изоляции оно было полностью прекращено.

Рассмотрим, какое распределение пустот имеет место в силовом кабеле с вязкой пропиткой при его эксплуатации в процессе охлаждения после сброса нагрузки. Наружные слои изолирующего слоя охлаждаются раньше, чем внутренние слои, и поэтому в изолирующем слое происходят разрывы пропиточного состава с образованием пустот без возможности их допитки со стороны. Кроме того, при интенсивном нагреве кабеля, когда превзойден предел упругости свин-

ца, происходит необратимое расширение свинцовой оболочки кабеля и последующее образование значительного объема пустот при его охлаждении. В связи с этими дополнительными процессами можно ожидать, что ход изменения удельного объема пустот в кабеле получит U-образную форму, обнаруживая максимумы у жилы и у свинцовой оболочки.

Выводы 1. Обнаружено весьма неравномерное распределение пустот по длине изолирующего слоя испытанных кабелей, свидетельствующее о наличии в них ослабленных мест.

2. Установлено, что величины диэлектрических потерь изолирующего слоя по длине испытанных кабелей весьма неравномерны. Это вызвано повидимому большой неравномерностью соответствующих электрических свойств самой пропитанной бумаги по длине кабеля.

3. Выявлена закономерность радиального распределения пустот в изолирующем слое испытанных «свежих» кабелей. Она показывает максимум удельного объема пустот у жилы в местах максимальной напряженности электрического поля.

В кабеле, подверженном эксплуатационным циклам нагрева и охлаждения, максимум удельного объема пустот можно ожидать у жилы и у свинцовой оболочки. Это объясняет наблюдаемое в практике начало развития ветвистого пробоя изолирующего слоя силового кабеля от жилы и от свинцовой оболочки.

4. Обнаруженный ход радиального распределения объема пустот в силовых кабелях закономерен. Он обусловлен погрешностями процесса производства кабелей с вязкой пропиткой и органическим пороком их при эксплуатации.

Погрешности производства рассматриваемых силовых кабелей могут быть сведены к минимуму увеличением глубины вакуума в начале пропитки, увеличением давления на пропиточный состав при охлаждении кабеля, понижением температур охлаждения кабеля в пропиточном котле.

Образование пустот при эксплуатации кабелей с вязкой пропиткой являющихся их органическим пороком. Это привело, как известно, к созданию принципиально иных конструкций высоковольтных кабелей с жидким масляным наполнением и кабелей под давлением.

Настоящая работа проведена в лаборатории Московского энергетического института им. Молотова под общим руководством проф. С. М. Брагина.

Литература

1. G. B. Shanklin and J. J. Matson. Trans. of the AIEE, V. 38, p. 489, 1919.
2. L. E. Manuelli. Elec. Revue, № 24, 1926.
3. G. B. Shanklin and Makay. JAIEE, p. 338, 1929.
4. P. Dunsheath. IEE, V. 73, p. 321, 1933.
5. D. M. Robinson. IEE, V. 77, p. 90, 1935.
6. J. B. Whitehead, M. R. Shaw. El Eng., June, 1941.
7. Д. М. Робинзон. Диэлектрические явления в кабелях высокого напряжения. ГЭИ, 1941.
8. С. М. Брагин. Электричество, № 1, стр. 44, 1941.



Новые задачи в области электрооборудования для транспорта

Инж. А. А. РАБИНОВИЧ

Главный конструктор завода „Динамо“ им. Кирова

Производство тягового электрооборудования является одной из самых молодых отраслей советского электромашиностроения. До 1929 г. выпуск тяговых электродвигателей ограничивался производством двигателей для трамвая и моторных вагонов железной

дороги Баку — Сабунчи (1924 г.).

В 1929 г. заводом «Динамо» был выпущен первый электродвигатель для моторных вагонов мощностью в 150 kW при напряжении в линии 1 500 V (типа ДП-150). В 1930 г. началось производство тягового оборудования для рудничных электровозов, в 1931 г. — для тепловозов, в 1932 г. — для магистральных электровозов, в 1933 г. — для троллейбусов и промышленных электровозов, в 1934 г. — для вагонов метрополитена.

На протяжении 1930—1940 гг. технические характеристики электродвигателей непрерывно совершенствовались. Выпускаемый в настоящее время двигатель для рудничных электровозов типа ДК-801 обладает при том же весе вдвое большей мощностью, чем ранее выпускавшийся двигатель типа ТР-10. Удельные мощности (на единицу веса) троллейбусных двигателей были подняты на 32%, мотор-вагонных — на 10%, электровозных — на 17%, трамвайных — на 30%.

Закон о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг. предусматривает большой рост всех видов электрического подвижного состава, в том числе магистральных электровозов, магистральных тепловозов, трамвайных вагонов, троллейбусов.

Развитие электрификации пригородного железнодорожного сообщения, строительство новых линий метрополитена, восстановление и строительство новых металлургических заводов, угольных шахт и рудников потребуют выпуска большого количества новых вагонов метрополитена, пригородных мотор-вагонных секций, промышленных и рудничных электровозов.

Магистральные электровозы. В области железнодорожного транспорта законом предусматривается электрификация 5 825 km пути, что при-

Значительное развитие электрификаций транспорта, предусмотренное в четвертой пятилетке, требует модернизации и разработки новых видов электротягового оборудования, отвечающего современным техническим требованиям. В статье дается обзор электрического оборудования, выпускаемого для транспорта электропромышленностью СССР в настоящее время, и намечаются новые научно-технические задачи, связанные с проектированием, конструированием и производством магистральных, промышленных и рудничных электровозов, тепловозов, вагонов трамвая и метрополитена, троллейбуса и электробуса, а также тяговых электродвигателей.

мерно в три раза превосходит протяженность железных дорог, электрифицированных к настоящему времени.

Парк подвижного состава будет пополнен 555 магистральными электровозами. Выпуск электровозов в 1950 г. будет доведен до 220 шт.

При этом мощность и общие технические показатели выпускаемых электровозов будут существенно превосходить показатели электровозов, выпускавшихся в предвоенные годы. Наряду с модернизацией электровоза ВЛ-22, как основного типа электровоза на ближайшее пятилетие, необходимо подготовить производство восьмисосного электровоза с общей мощностью тяговых двигателей 4 000—4 500 kW, предназначенного для наиболее грузонапряженных линий, на которых одиночный электровоз ВЛ-22 оказывается недостаточным как по величине развиваемого тягового усилия, так и по скоростным показателям.

Основные параметры мощного восьмисосного электровоза: ходовая формула $2 - 4 + 4 - 2$; сцепной вес около 160 t; тяговое усилие часового режима 34 t; скорость часового режима 42 km/h; максимальная скорость около 100 km/h.

В модернизированном электровозе ВЛ-22, выпущенном заводом «Динамо» им. Кирова, мощность тяговых двигателей увеличена с 340 до 400 kW, максимальная скорость поднята на 13%, значительно улучшены технические показатели вспомогательных машин. Следующим этапом модернизации электровоза должно явиться дальнейшее повышение мощности тягового двигателя до величины 500—550 kW при сохранении основных габаритных размеров существующего двигателя и взаимозаменяемости колесных пар. В настоящее время уже ведутся работы по построению нового мощного тягового двигателя.

Новые методы, повышающие использование сечения якорного паза и междуполосного пространства, в сочетании с углубленной проработкой вопросов коммутации (особенно при нестационарных режимах), дали возможность разработать конструкцию мощного тягового двига-

теля в 500 kW при 830 об/мин в габаритах серийного двигателя ДПЭ-400. При сохранении существующего передаточного числа (4,45) при диаметре колеса 1 200 mm новый мощный двигатель дает возможность электровозу развить тяговое усилие часового режима в 25,5 t, при скорости около 42 km/h и максимальной скорости 84 km/h. Следует полагать, что новый мощный двигатель может быть в дальнейшем применен также и на мощном восьмиосном электровозе, что позволит резко сократить объем подготовки производства и эксплуатационных испытаний электровоза этого типа.

Следующим этапом модернизации электровозов ВЛ-22 должно явиться изменение его ходовой части с введением поддерживающих осей (с формулой осей $1-3+3-1$) и повышением конструктивной скорости при одновременном уменьшении передаточного числа до 3,74, принятом на электровозах ВЛ-19.

Основные данные модернизированного электровоза ВЛ-22: тяговое усилие часового режима — 21,5 t, скорость при часовом режиме — 50 km/h, максимальная скорость — 100 km/h. Электровоз этого типа может быть использован также и для пассажирской службы. Одновременно с выпуском электровозов с передаточным числом 3,74 следует продолжать выпуск электровозов с передаточным числом 4,45.

В течение ближайших лет электрификация магистральных линий будет производиться на основе применения постоянного тока при напряжении 3 000 V. Рост грузонапряженности линий, повышение мощности электровозов и частоты движения значительно усложняют вопросы энергоснабжения. В связи с этим должны быть продолжены исследовательские работы по применению переменного тока нормальной частоты как на основе коллекторных двигателей 50 Hz, так и на основе преобразователя, устанавливаемого на электровозе.

Необходимо объединить усилия ряда научно-исследовательских организаций, институтов и заводов (Академия наук СССР, Ленинградский политехнический институт, Всесоюзный электротехнический институт, завод «Динамо») для совместной работы над этой проблемой.

Тепловозы. В области развития тепловозной тяги, имеющей в настоящее время ограниченное распространение, закон о пятилетнем плане предусматривает постройку 865 тепловозов с доведением их выпуска до 300 шт. в 1950 г.

Строительство современных тепловозов организуется в настоящее время на основе применения автоматической системы управления, высокоиспользованных тяговых двигателей, встроенных генераторов. Все электрооборудование тепловозов должно отличаться повышенной эксплуатационной надежностью и простотой управления и обслуживания.

Наряду с выпуском шестиосных тепловозов, предназначенных для второстепенных линий (основные параметры: мощность первичного двигателя — 1 000 HP, длительное усилие тяги — 19 t при скорости 11 km/h), совершенно не-

обходимо приступить в ближайшее время к проектированию и организации производства восьмиосных тепловозов мощностью до 2 000 HP.

Подвижной состав городского и пригородного электротранспорта. Пятилетним планом предусматривается значительное развитие городского и пригородного транспорта. Должно быть построено 1 750 трамвайных вагонов и 3 000 троллейбусов новейших конструкций, организовано трамвайное сообщение в восьми городах и троллейбусное сообщение в 20 городах; продолжены электрификация пригородного железнодорожного сообщения и строительство четвертой очереди Московского метрополитена; начато строительство метрополитена в Ленинграде с введением в действие первой очереди. Все виды городского и пригородного транспорта будут оснащены новым, технически более совершенным тяговым электрооборудованием.

Моторные вагоны. Подвижной состав для пригородных железных дорог будет оснащен электрооборудованием для работы на напряжение 3 000 V, причем в первый период выпуска электрооборудование будет допускать работу как при напряжении 1 500 V, так и 3 000 V, что позволит сохранить взаимосвязь отдельных участков и тем самым облегчить переход на единое напряжение в контактной сети (3 000 V).

Основные параметры моторных вагонов: состав секции — один моторный и два прицепных вагона; вес (тара) 134 t; мощность 4×170 kW; скорость при полном поле 48 km/h; скорость при ослабленном поле 59 km/h; максимальная скорость 112 km/h.

Вагоны для метрополитена. В области электрооборудования для вагонов метрополитена необходимо в первую очередь подготовить производство вагонов типа Г с реостатным торможением (основные параметры: вес (тара) — 40 t, мощность 4×82 kW, ускорение $0,8 \text{ m/sec}^2$, максимальная скорость 75 km/h). Следует продолжить работы по развитию системы управления вагонов метрополитена. В частности, необходимо выполнить опытные образцы безмасляного привода системы проф. Решетова, а также разработать конструкцию и выпустить опытные образцы вагонов с независимой подвеской тягового двигателя на раме тележки вместо применяемой в настоящее время подвески трамвайного типа. Применение независимой подвески тягового двигателя, сочлененного с независимой редукторной коробкой посредством специальной муфты, позволит: более чем в два раза уменьшить вес тягового двигателя, увеличить срок службы, уменьшить шум шестеренной передачи, упростить обслуживание и снизить общий вес механической части вагона. Кроме того, двигатель этого типа может быть конструктивно увязан с другими типами двигателей, применяемыми на трамваях и троллейбусах. Разработка двигателей нового типа является поэтому первоочередной задачей в области дальнейшей модернизации электрооборудования для вагонов метрополитена.

Одновременно должны быть развернуты проектно-конструкторские работы по новым вагонам, конструктивно увязанным с современными быстроходными трамвайными вагонами (по типу вагонов-змеек). При этом необходимо преодолеть ряд трудностей, связанных с ограничениями максимальной скорости и с применением сочлененных вагонов (затруднения с входом и выходом пассажиров).

Трамвайные вагоны. В области трамвайного электрооборудования первоочередной и, несомненно, назревшей задачей является организация производства современных легких комбинированных быстроходных вагонов с высокими динамическими показателями, автоматической системой управления и быстроходными легкими двигателями. Промышленности в кратчайший срок предстоит освоить новую систему управления с многоступенчатым контроллером и автоматическим пуском и торможением, высокоиспользованный тяговый двигатель с максимальной скоростью вращения до 5 000 об/мин, рельсовые тормоза, специальную передачу, резиновые амортизаторы, облегченную механическую часть новой конструкции.

Наряду с этим должен быть разработан новый комплект оборудования для модернизации существующих вагонов, а также для установки на ограниченном числе вагонов, подлежащих выпуску в ближайшие годы и предназначенных для небольших городов, рабочих поселков и вылетных линий, где еще в течение известного времени будут применяться трамвайные поезда упрощенной конструкции с прицепными вагонами. Здесь, как и для вагонов метрополитена, целесообразно внедрение легких быстроходных двигателей с независимой подвеской на тележке или раме кузова для бестележных вагонов.

Троллейбус. Значительные работы надлежит провести в области троллейбусного оборудования. Параллельно с возобновлением производства троллейбусов необходимо приступить к организации производства более современного электрооборудования (автоматическая система управления, более мощный двигатель и др.) с целью повышения динамических показателей троллейбуса, улучшения комфорта для пассажиров, упрощения обслуживания.

Основные параметры троллейбуса нового типа: вес с пассажирами 11,6 т; число мест 44; мощность двигателя около 90 кВт; ускорение около 1,2 м/сек²; скорость сообщения около 23 км/ч; максимальная скорость 65—70 км/ч.

Автобусы с электрической трансмиссией (электробусы). Закон о пятилетнем плане предусматривает увеличение количества автобусов в городах за пятилетие на 22 тыс. шт. В современных многоместных автобусах с целью повышения динамических показателей, упрощения управления и уменьшения эксплуатационных расходов, наряду с гидравлической трансмиссией, получила применение электрическая трансмиссия. Проводимые в настоящее время проектно-конструкторские работы, изготовление и сравни-

тельные испытания опытных автобусов с электрической трансмиссией позволят в ближайшее время сделать окончательные выводы о сравнительных преимуществах обеих систем и произвести выбор системы для серийного производства.

Основные параметры опытных автобусов с электрической трансмиссией: вес с пассажирами около 12 т; число мест 36; мощность первичного двигателя 90 НР; ускорение 0,8 м/сек²; скорость сообщения 22—23 км/ч; максимальная скорость 74 км/ч.

Выбор системы с электрической трансмиссией потребует организации крупносерийного производства генераторов и тяговых двигателей. Следует при этом увязать конструкцию машин для электробусов с конструкцией машин для других видов городского транспорта.

Единая серия тяговых двигателей. Может быть предложена следующая единая серия тяговых двигателей и генераторов для вагонов метрополитена, трамваев, троллейбусов и электробусов:

Проект единой серии тяговых двигателей и генераторов

Тип экипажа	Номинальная мощность, кВт	Напряжение, В	Сила часового тока, А	Скорость вращения, об/мин	Диаметр колеса по ободу, мм	Длина железа, мм	Вес, кг
Современный трамвайный вагон	37	275/550	156	1 440	225	230	325
Модернизированный трамвайный вагон	54	275/550	220	1 430	275	205	490
Вагон метрополитена	70	375/750	210	1 250	275	310	625
Троллейбус	74	550	150	1 270	275	310	625
Электробус	43	190	260	940	275	205	490

Таким образом, в области электрооборудования для городского транспорта электропромышленности предстоит перейти от мелкосерийного к крупносерийному производству, причем одновременно необходимо произвести надлежащую унификацию основных элементов электрооборудования и, в частности, тяговых двигателей для того, чтобы обеспечить наиболее рациональную технологическую оснащенность и высокую производительность заводов.

Промышленные электровозы. Строительство новых промышленных предприятий и, в частности, металлургических заводов, предприятий тяжелого машиностроения, мощных шахт, рудников и карьеров потребует применения значительного количества промышленных электровозов различных типов. В четвертой пятилетке желательно также начать внедрение электрифицированного подвижного состава в торфяную промышленность. В связи с этим необходимо в кратчайший срок разработать конструкцию и организовать производство серии современных промышленных электровозов, удовлетворяющих разно-

образным нуждам различных отраслей промышленности.

Рудничные электровозы. Значительное развитие должен получить выпуск рудничных электровозов для угольных шахт, рудников, карьеров.

Выпускаемые иготавливаемые к производству серии рудничных электровозов (троллейные весом 3, 5, 7, 10 и 14 т, аккумуляторные — весом 3,5 и 7 т, троллейно-аккумуляторные — весом 7 т) могут удовлетворять основным требованиям предъявляемым к электровозам этого типа на ближайшие годы.

Необходимо провести ряд работ по дальнейшей модернизации отдельных типов электровозов и, в частности, проверить в эксплуатационных условиях и внедрить реостатное торможение, улучшить аппаратуру токосъема, повысить качество технологии тяговых двигателей, улучшить технические показатели аккумуляторных батарей, резко повысить срок службы шестеренной передачи, улучшить конструкцию осветительных приборов, а также провести исследовательские работы в области применения однофазных конденсаторных тяговых двигателей для троллейных электровозов. В этом направлении ведутся исследовательские работы в Московском энергетическом институте им. Молотова совместно с заводом «Динамо» им. Кирова.

Основные параметры экспериментального электровоза с однофазными конденсаторными двигателями: вес около 7,5 т напряжение 380 В; мощность при высокой скорости $2 \times 13 \text{ kW}$; мощность при низкой скорости $2 \times 6,5 \text{ kW}$; высокая скорость 10 км/ч; низкая скорость 5 км/ч; емкость конденсаторов 750 мкФ; $\cos \varphi = 1,0$.

Заключение. Рост выпуска и улучшение технических параметров тягового электрооборудования в 1946—1950 гг. должны сопровождаться резким увеличением эксплуатационной надежности и снижением расходов по обслуживанию и ремонту. Должна быть внедрена новая технология, рассчитанная на крупносерийное производство.

Задачи поднятия технико-эксплуатационных параметров тяговых двигателей и аппаратуры управления должны быть решены на основе совместной работы заводов электропромышленности и заводов-смежников.

Следует улучшить качество щеток, применить подшипники повышенной точности; внедрить новые изоляционные материалы (миканитовую ленту без бумажной основы, специальные теплостойкие наполнители, теплостойкие лаки, стеклянную изоляцию); организовать производство специального стального проката для станин электродвигателей и специальных профилей для щеткодержателей и деталей аппаратуры.

Необходимо внедрить новую технологию изготовления спрессованных катушек возбуждения с наполнителем без компаундирования; ввести повсеместную динамическую балансировку якорей; улучшить качество изготовления коллекторов; расширить область применения деталей литья под давлением; улучшить технологию изготовления и повысить по меньшей мере в два раза срок службы шестеренных передач.

Должна быть улучшена вентиляция тяговых двигателей, особенно на трамвайных вагонах и магистральных электровозах с защитой двигателя от воды и снега; следует продолжить дальнейшее улучшение пневматических приводов; улучшить защиту высоковольтных цепей на электровозах и моторных вагонах; улучшить внешнюю защиту подвагонной аппаратуры; разработать более совершенную грозовую защиту на моторных вагонах и электровозах; улучшить систему токосъема на троллейбусах.

Необходимо продолжить исследовательские работы в области коммутации тяговых двигателей, определения потерь (особенно так называемых дополнительных), методики тепловых расчетов, дальнейшего повышения быстроходности двигателей. Следует также продолжить работы в области контакторов при напряжении 1500 и 3000 В, регуляторов напряжения, автоматических схем управления.

В течение 1946—1950 гг. будет не только увеличен выпуск всех видов электрического подвижного хозяйства, но и произведена техническая реконструкция почти всех основных типов тягового электрооборудования.

Электрический подвижной состав по своему количеству и техническому уровню должен занять надлежащее место в общей системе транспорта Советского Союза.



О выборе частоты при индукционном нагреве

Доцент А. М. КУГУШЕВ

Москва

Самым совершенным видом нагрева является такой, при котором тепло создается непосредственно в нагреваемом теле. Такой способ нагрева очень хорошо осуществляется пропусканием через последнее электрического тока. Однако, прямое—кондуктивное—включение нагреваемого тела в электрическую цепь не всегда возможно по причинам технического и практического характера. В этих случаях совершенный вид нагрева может быть осуществлен применением индукционного нагрева, при котором тепло также создается в самом нагреваемом теле, что исключает излишний, обычно большой, расход энергии в стенках печи или в других нагревающих элементах. Поэтому, несмотря на сравнительно невысокий к. п. д. генерирования токов повышенной и высокой частоты, общий к. п. д. индукционного нагрева оказывается часто выше, чем при других способах нагрева.

Индукционный способ позволяет также осуществлять быстрый нагрев неметаллических тел равномерно по всей их толщине. Плохая теплопроводность таких тел исключает возможность быстрого нагрева их внутренних слоев обычным способом, т. е. подводом тепла извне. При индукционном способе тепло образуется одинаково как в наружных слоях, так и во внутренних и может даже возникнуть опасность перегрева последних, если не сделать необходимой теплоизоляции наружных слоев.

Особо ценным свойством индукционного нагрева является возможность весьма высокой концентрации энергии в нагреваемом теле, легко поддающейся точной дозировке. Только автономным пламенем или вольтовой дугой можно получить тот же порядок плотности энергии; однако, эти способы нагрева трудно поддаются контролю.

Особенности и общеизвестные преимущества индукционного нагрева создали широкие возможности применения его во многих отраслях промышленности. Кроме того, он позволяет создавать новые виды конструкций, которые вовсе не осуществимы при обычных способах термообработки.

Рассматривается индукционный способ нагрева в переменном магнитном поле катушки металлических тел и в электрическом поле конденсатора — неметаллических тел. Устанавливаются границы наивыгоднейших частот и выводятся основные формулы для технического расчета режима генератора высокой частоты. Показывается, что при любых частотах применение ламповых генераторов во многих случаях более целесообразно, чем применение мотор-генераторов.

Необходимость широкого внедрения этого метода нагрева диктуется его громадным народнохозяйственным значением для нашей страны, особенно сейчас, в период больших восстановительных работ, требующих

применения новых технологических приемов, резко повышающих производительность.

Не останавливаясь на изложении всех возможных применений индукционного нагрева и его преимуществ, рассмотрим лишь вопросы выбора частоты и типа генератора при этом нагреве. Хотя для них нет однозначного ответа, но можно показать путем несложного анализа, от чего зависит их выбор.

Рассматривая оба случая индукционного нагрева: неметаллического тела электрическим полем конденсатора и металлического тела магнитным полем катушки, не трудно увидеть, что предельные значения пригодных частот определяются допустимыми значениями напряжения и тока в индуктирующем контуре. В первом случае это будет напряжение на зажимах конденсатора, и оно будет давать нижний предел пригодных частот, во втором — напряжение на зажимах катушки, дающее верхний предел пригодных частот. Ток, протекающий через конденсатор, будет определять верхний предел пригодных частот, а протекающий через катушку — нижний предел этих частот.

Максимально допустимое напряжение $U_{\text{доп}}$ ограничивается значением, при котором возникает электрический пробой этого контура и нагреваемого вещества. Максимально допустимое значение тока $I_{\text{доп}}$ в свою очередь ограничивается, главным образом, предельно допустимыми потерями в этом контуре.

Так как полные сопротивления конденсатора с нагреваемым неметаллическим телом и катушки с нагреваемым металлическим телом имеют различную зависимость от частоты, то, очевидно, и пределы пригодных частот в обоих случаях будут определяться по-разному. Действительно, если способности условия $U \leq U_{\text{доп}}$ и $I \leq I_{\text{доп}}$, то из

формулы мощности для нагрева неметаллических тел

$$P = U^2 \operatorname{tg} \delta 2\pi f C, \quad P = I^2 \operatorname{tg} \delta 2\pi f C,$$

а для металлических тел

$$P = U^2 \operatorname{tg} \delta 2\pi f L, \quad P = I^2 \operatorname{tg} \delta 2\pi f L,$$

можно найти, что

$$\text{в первом случае } \frac{\operatorname{const}}{U_{\text{дон}}^2} \leq f \leq \operatorname{const} I_{\text{дон}}^2,$$

$$\text{а во втором } \frac{\operatorname{const}}{I_{\text{дон}}^2} \leq f \leq \operatorname{const} U_{\text{дон}}^2.$$

Таким образом, общее рассмотрение вопроса о выборе частоты сводится к следующему положению: при нагреве неметаллических тел минимальная частота определяется допустимым напряжением, т. е. электрической прочностью, а максимальная — допустимым током, т. е. потерями. При нагреве металлических тел, наоборот, допустимое напряжение определяет максимальную, а допустимый ток — минимальную частоту.

Теория и практика индукционного нагрева показывают, что в общем случае для нагрева неметаллических тел требуются более высокие частоты, чем для нагрева металлических. Поэтому в первом случае единственно пригодным типом генератора является ламповый (электронный) генератор, позволяющий плавно изменять в широких пределах генерируемую частоту. Во втором случае оказывается возможным применение вращающегося моторгенератора. Однако, как будет показано далее, и при любых низких частотах применение лампового генератора во многих случаях все же более целесообразно.

Нагрев неметаллических тел. Если дано тело объемом V в см^3 , которое нужно нагреть за время t в сек до разности температур Θ в $^\circ\text{C}$, то, зная удельный вес его γ в г/см^3 и его теплоемкость p в cal/g , можно сразу же найти мощность, которую должен отдавать генератор.

$$P = \frac{\gamma p \Theta}{0,24 t} V = k B \text{ [W]}, \quad (1)$$

где $k = \frac{\gamma p \Theta}{0,24 t}$ в W/см^3 есть удельная полезная мощность.

Как покажет дальнейший анализ, определение частоты и напряжения генератора в сильной степени связано не только с электрическими свойствами нагреваемого тела, но и с его геометрической формой.

Для определения частоты и напряжения генератора нужно знать диэлектрический коэффициент ϵ и угол потерь $\operatorname{tg} \delta$ нагреваемого вещества. Как известно, последние не являются величинами постоянными при изменении частоты; однако, эта зависимость так мала, что при перво-

начальных расчетах с нею можно не считаться.

Для установления упомянутой связи между геометрической формой объекта, напряжением и частотой генератора совместим с формулой (1) следующие известные формулы:

$$P = U^2 2\pi f C \operatorname{tg} \delta [W] \quad (2)$$

и

$$C = \frac{S \epsilon}{4\pi l 9 \cdot 10^{11}} [F], \quad (3)$$

в которых l — длина объекта вдоль силовых линий в см ; S — поперечное сечение объекта, перпендикулярное к силовым линиям в см^2 ; U — действующее напряжение на торцевых гранях объекта в V . Положив $\rho_0 = \frac{\epsilon \operatorname{tg} \delta}{1,8 \cdot 10^{12}}$, получим следующую формулу для выбора длины объекта (см), если заданы частота и напряжение:

$$l = U \sqrt{\frac{\rho_0 f}{k}}. \quad (4)$$

Разумеется, что по этой формуле можно вычислить напряжение или частоту, если форма объекта известна. Если же l , U и f не заданы, то можно воспользоваться произвольным выбором двух из них. При этом следует отметить ограниченность выбора величины напряжения электрическим пробоем нагреваемого тела и контура. Точно также нельзя произвольно выбирать любое малое значение l (большое значение S), так как при этом в контуре будет протекать очень большой ток и к. п. д. контура окажется очень низким.

Так как произвольный выбор напряжения ограничен, то оно может быть исключено из уравнения (4) подстановкой $\frac{E}{l} = D_{\text{дон}}$, в которой $D_{\text{дон}}$ — максимально допустимый для данного вещества градиент электрического поля. В силу этого формула (4) может быть переписана следующим образом:

$$f_{\min} \geq \frac{k}{\rho_0 D_{\text{дон}}^2}. \quad (5)$$

Эта формула позволяет найти минимально допустимую частоту вне зависимости от формы объекта, а только лишь в зависимости от его электрофизических свойств и заданного режима нагрева.

Расширим теперь исследование введением условия, обеспечивающего заданный к. п. д. нагревающего контура; тогда, получив верхний предел пригодных частот, можно ограничить произвольный выбор формы объекта. Допустим, что вредные потери P_k в контуре должны составлять некоторую долю от полезной мощности, т. е. пусть $P_k = I^2 R_k \leq \xi P$, где $\xi < 1$. Сопротивление контура R_k (Ω) зависит от частоты в силу скинэффекта и может быть выражено формулой

$$R_k = 0,28 \cdot 10^{-6} \frac{L}{\pi} j^{1/2}, \quad (6)$$

в которой L — длина проводов контура в см, включая витки дополнительной самоиндукции, если таковая в нем имеется, а Π — периметр поперечного сечения провода в см. Для дальнейших расчетов периметр удобно выразить формулой

$$\Pi_c = I k, f^{1/4} \text{ см}, \quad (6')$$

в которой при естественном воздушном охлаждении проводов контура k_1 равно от $2,4 \cdot 10^{-3}$ до $1,6 \cdot 10^{-3}$, а при водяном охлаждении — от $7,5 \cdot 10^{-5}$ до $5,5 \cdot 10^{-5}$. Длину L проводов контура можно в свою очередь заменить через $L = k_2 l$, причем на основании практического опыта можно полагать $k_2 = 3 \div 7$. Примем еще во внимание, что ток в контуре и в нагреваемом теле приближенно может быть рассчитан по формуле $I = U 2\pi f C$. Тогда можно найти, что

$$f_{\max}^{5/4} \leq \xi k \frac{k_1}{k_2} \frac{6,63 \cdot 10^{18}}{\epsilon D_{\text{дон}}}, \quad (7)$$

т. е. получить верхний предел частоты, определяемый допустимым значением вредных потерь.

Таким образом, формула (5) дает минимальную допустимую частоту, ниже которой нагреваемое тело будет подвергаться электрическому пробою, а формула (7) дает максимальную допустимую частоту, выше которой заданный к. п. д. не осуществим.

Если сделать расчет по формулам (5) и (7) для большинства практических случаев нагрева неметаллических тел, то пригодная частота окажется в диапазоне от 2 МГц и выше. Это ясно доказывает, что единственно пригодным типом генератора для нагрева неметаллических тел является ламповый генератор.

Нужно отметить, что обе формулы (5) и (7) не содержат геометрических размеров нагреваемого тела. Они состоят из физических характеристик нагреваемого вещества и удельной мощности, требующейся для заданного нагрева 1 см^3 его.

Выбор частоты внутри пределов (5) и (7) определяется заданной геометрической формой нагреваемого тела и допустимым напряжением U_k на пластинах нагревающего контура, так как необходимо удовлетворять неравенство $U \leq U_k \leq U_{\max}$, в котором U_{\max} есть (рис. 1) напряжение, создающее кистевой разряд или вообще пробой. Это напряжение, исходя из практических данных, не следует допускать более 6000 В.

Необходимо оговориться, что при применении для тока формул $I \approx I_1 = U 2\pi f C$ пренебрегается утечкой силовых линий через воздух. Такая ошибка будет мала, если пластины конденсатора будут выбраны в соответствии с формой объекта. На рис. 2 дана эквивалентная схема конденсатора с нагреваемым объектом. На этой схеме конденсаторы C_y соответствуют

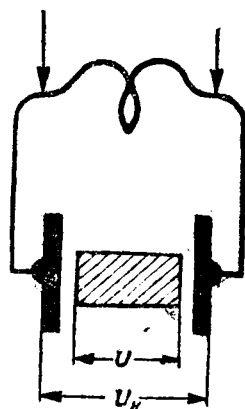


Рис. 1. Схема контура с нагреваемым объектом.

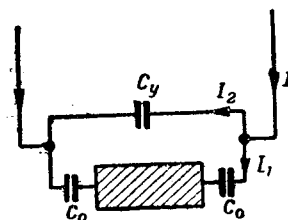


Рис. 2. Эквивалентная схема конденсатора с нагреваемым объектом.

емкости воздушных зазоров между пластинами конденсатора и торцевыми гранями объекта, а конденсатор C_y соответствует емкости, создаваемой утечкой силовых линий через воздух вне объекта. При рациональной форме пластин, соразмеренной с формой объекта, ток I_2 составляет незначительную долю от тока I_1 ; в силу этого допустимо приближенное равенство $I \approx I_1$.

Для иллюстрации найденных формул (4), (5) и (7) приведем следующий пример. Пусть дано: $t = 200 \text{ sec}$; $\Theta = 100^\circ \text{C}$; $\gamma = 0,9$; $p = 0,45$;

$$\xi = 0,05; D_{\text{дон}} = 300 \text{ В/см}; \text{tg } \delta = 0,1; \epsilon = 80; k_1 = 2 \cdot 10^{-3}; k_2 = 5.$$

Подставив эти данные в формулы (5) и (7), найдем, что $f_{\min} \geq 2,1 \text{ МГц}$, т. е. $\lambda_{\max} \leq 144 \text{ м}$; $f_{\max} \leq 54,5 \text{ МГц}$, т. е. $\lambda_{\min} \geq 5,5 \text{ м}$. Допуская по практическим соображениям напряжение $U = 4000 \text{ В}$, находим для минимально допустимой частоты $f_{\min} \geq U/D_{\text{дон}} \approx 13,5 \text{ см}$, а для максимально допустимой частоты по формуле (4) — $f_{\max} \leq 70 \text{ см}$. Если найденные пределы длины нагреваемого тела оказались бы непригодными по физическим или практическим условиям, то необходимо соответственно изменить величины ξ , k_1 , k_2 и в крайнем случае даже задаваемую величину k .

Таким образом, из предыдущего следует, что наилучшая частота, обеспечивающая заданный к. п. д. и диэлектрическую прочность, может быть выбрана в пределах, даваемых формулами (5), (7) и ее значение внутри этих пределов зависит от геометрической формы нагреваемого тела.

Очень важно отметить, что чем больше объем нагреваемого тела, тем меньше наилучшая частота генератора. Дело в том, что конденсатор, содержащий нагреваемое тело с большими геометрическими размерами, естественно, имеет большую емкость. Поэтому, чтобы избежать практически неосуществимо малых значений индуктивности контура, придется применять более низкую частоту генератора. По тем же причинам при больших объемах нагреваемого тела напряжение U следует выбирать наибольшим допустимым.

Для практических целей можно рекомендовать следующую схему расчета: 1) по формуле (1) находится мощность; 2) по формулам (5) и (7) находятся (для ориентировки) пределы допустимых частот, а при выбранном значении U по формуле (4)—пределы допустимых длин l_{\min} и l_{\max} нагреваемого тела; 3) если заданная длина нагреваемого тела укладывается в найденных пределах, то, подставляя ее значение в формулу (4), окончательно выбирается частота f генератора; 4) определяя предварительно $S = \frac{B}{I}$, по формулам $C = \frac{S}{I} \cdot \frac{\epsilon}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{11}}$ F и $I_1 = U 2\pi f C$ находят емкость и ток через нагреваемое тело; последний приближенно равен току в контуре, т. е. $I \approx I_1$; 5) рассчитывается виток контура, причем предварительно по формуле (6') определяется периметр его провода и по приближенной формуле резонанса $L = 1:\omega^2 C_0 N$, где $\omega = 2\pi f$, а $C_0 = \left(\frac{C_0 C}{C_0 + 2C} + C_y \right)$, его самоиндукция; 6) по формуле $I^2 R_k \leq \xi P$ проверяются потери в контуре, причем R_k определяется по формуле (6).

В тех случаях, когда ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ зависят от частоты, найденные формулы следует дополнить подстановкой известных функций, выражающих эту зависимость.

Более важное практическое значение при индукционном нагреве имеет зависимость ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ от температуры. Эта зависимость, в отличие от частотной зависимости, почти всегда наблюдается, и поэтому при индукционном нагреве полное сопротивление нагрузки генератора претерпевает изменение своей величины во времени. Однако, это изменение очень медленное по сравнению с частотой переменного тока. Поэтому можно избежать сложных вычислений, делая расчет для каждого отрезка времени, на протяжении которого ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ практически являются постоянными. Такой метод расчета, применяемый в дальнейшем при рассмотрении нагрева металлических тел, оставляет в силе все выведенные выше формулы. Зная из предварительного опыта функции $\epsilon = F_\epsilon(\theta)$ и $\operatorname{tg} \delta = F_\delta(\theta)$ и заданный режим нагрева, т. е. $\theta = \varphi(t)$, определяем значения ϵ и $\operatorname{tg} \delta$ для любого отрезка времени нагрева. Подставляя эти значения в найденные выше формулы, можно рассчитать мощность и наиболее выгодную частоту для начала и конца процесса нагрева и, если требуется, для любого промежуточного момента.

При нагреве некоторых неметаллических материалов, например пакета фанеры, нагреваемой под прессом, приходится считаться с изменением геометрических размеров. Очевидно, расчет генератора для такого случая может быть сделан тем же методом, что и выше. Для этого надо лишь заранее знать величину этих размеров для начального, конечного и в крайнем случае нескольких промежуточных момен-

тов процесса нагрева и рассчитывать режим генератора для каждого из этих моментов.

Нагрев металлических тел. Рассмотрим для примера способ одностороннего нагрева стальных плит, при котором нагрев производится одновременно всей поверхности плиты, причем индуцированные токи возбуждаются лишь в поверхностном тонком слое ее, а нагрев нижележащих слоев происходит по закону теплопередачи. Регулируя интенсивность индуцированных токов, можно получить необходимое распределение температур по толщине плиты, при этом время нагрева в общем случае будет пропорционально квадрату толщины плиты.

Для осуществления такого способа нагрева индуктор выполняется из медных лент, накладываемых на плиту. Между плитой и индуктором прокладывается электротеплоизолирующий слой. Такая система легко осуществима с хорошим к. п. д. при высокой частоте и позволяет нагревать плиты любой сложной конфигурации.

При проектировании индукционного нагрева одним из основных вопросов является вопрос о выборе наиболее выгоднейшей частоты. Именно от выбора последней зависят стоимости установки и ее эксплуатации. Эти расходы в значительной степени определяются к. п. д. отдельных элементов установки.

Вначале было уже показано, что к. п. д. основного элемента установки, т. е. индукторного контура, который в значительной степени определяет общий к. п. д., с увеличением частоты растет; однако, применение очень высоких частот невозможно, так как при этом напряжение становится недопустимым для диэлектрической прочности. На основании этого можно утверждать, что, рассматривая все элементы установки, к. п. д. и стоимость которых зависят от частоты, можно определить наиболее выгоднейшее значение последней.

Характеристики и конструкция основных элементов установки при той или иной частоте определяются из расчета: 1) полезной мощности, требующейся для создания заданного распределения температур по толщине плиты; 2) мощности индуцированных токов в поверхностном слое плиты; 3) потерь в отдельных элементах установки, коэффициента мощности их и т. д.

Определение удельной полезной мощности P_f (в kW/m^2) можно сделать по методу, разработанному М. И. Карповским¹. На рис. 3 представлен один пример расчета этой мощности. Там же дан материал для учета потерь через электротеплоизолирующий слой P_a . Очевидно, сумма мощностей P_f и P_a , а также мощности P_u — потерь на излучение, которой часто можно пренебрегать, должна равняться мощности индуцированных токов, обозначаемой P'_f .

¹ М. И. Карповский. О распределении температур в плоских телах при одностороннем нагреве. Журнал технической физики, вып. 4, т. XI, 1941.

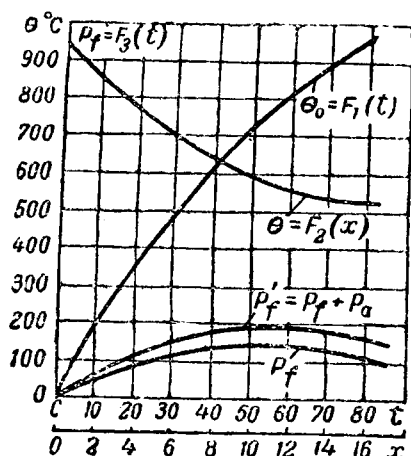


Рис. 3. Кривые изменения мощностей и температур.

При расчете мощности индуктированных токов в ферромагнитной среде в общем случае приходится иметь дело с решением нелинейных уравнений, что создает почти непреодолимые математические трудности и делает точный расчет непригодным для технических целей. Однако, эти затруднения могут быть обойдены, если воспользоваться приемом, заключающимся в рассмотрении двух состояний нагрева: до критической температуры поверхностного слоя плиты и выше ее ($\theta \geq 700^\circ\text{C}$).

В первом состоянии рассматривается поверхностный слой, имеющий магнитное насыщение, т. е. постоянное значение индукции, вследствие чего можно применить формулу, выведенную по методу Розенберга¹.

$$P'_{fA} = 2,65 \cdot 10^{-3} \cdot H^2 \sqrt{f \mu_A \rho_A}$$

Здесь H в А/см — напряженность магнитного поля; μ_A — магнитная проницаемость; ρ_A — удельное сопротивление на поверхности плиты при температурах меньше 700°C .

Во втором состоянии рассматривается слой, имеющий постоянное значение коэффициента магнитной проницаемости, близкое к единице, вследствие чего можно применить формулу

$$P'_{fB} \approx 4 \cdot 10^{-3} c \frac{I^2}{b^2} V f \rho_B.$$

Здесь I — ток в А; ширина ленты индуктора в см и ρ_B — удельное сопротивление при температурах более 700°C .

Коэффициент $c = \psi(b/2h)$ определяет магнитное поле на поверхности плиты. Он становится очень малым при $b/2h \approx 0,85$, где h — зазор между лентой и нагреваемой поверхностью в см. Это показывает, что на расстоянии, равном примерно половине ширины ленты от индуктора, магнитное поле, ввиду бифилярности соседних лент, практически будет равно нулю и вихревые токи на поверхности такого уровня будут отсутствовать вовсе. Отсюда очевидно, что чем меньше $b/2h$, тем будет меньше энергия, пе-

редаваемая в нагреваемое тело. Теория и практика показывают, что с уменьшением частоты отношение b/h уменьшается; поэтому с уменьшением частоты уменьшается и к. п. д. индуктора.

Определение коэффициента мощности индуктора и потерь в нем может быть сделано по формулам:

$$\kappa_1 \approx 8 \cdot 10^{-4} \frac{f}{b^2} \left[h + \frac{\mu \delta}{2} \right] \left[\Omega/\text{m}^2 \right]$$

$$R_1 \approx \frac{\rho_M \cdot 10^4}{b(b+d)\delta_M} \left[\Omega/\text{m}^2 \right].$$

Здесь d зазор между лентами, а δ, δ_M — глубины проникновения индуктированных токов в плите и соответственно в индукторе.

Так как δ_M увеличивается при уменьшении частоты, то формула R_1 не распространяется на низкие частоты, при которых δ_M оказывается больше толщины ленты; в этих случаях в формуле R_1 надо подставлять вместо δ_M самое значение толщины ленты. Поэтому потери в индукторе при низких частотах будут больше.

По формулам, приведенным выше, а также исходя из максимально допустимого напряжения на индукторе и заданного к. п. д. его можно было бы установить в общем виде, подобно тому как это было сделано при рассмотрении индукционного нагрева неметаллических тел, пределы допустимых частот. Этот расчет в данном случае, однако, слишком сложен, и формулы для f_{\min} и f_{\max} получаются мало пригодными для практического применения. Кроме того, не трудно понять, что пределы частот при нагреве металлических тел будут зависеть не только от допустимого напряжения и к. п. д., но также и от величины одновременно нагреваемой площади; значения этих частот тем меньше, чем больше нагреваемая площадь.

Сложность вывода формул, определяющих f_{\min} и f_{\max} объясняется тем, что полное сопротивление индуктора и его к. п. д. зависят от μ и ρ нагреваемого слоя, изменяющихся с повышением температуры в процессе нагрева. Кроме того, как указано на рис. 3, мощность, отдаваемая индуктором в плиту, также не остается постоянной во время нагрева, поэтому использование всех приведенных выше формул для определения наиболее выгодной частоты сильно усложняется. Однако, оно может быть упрощено, если применить метод, о котором уже упоминалось и который основан на следующих соображениях. Так как односторонний нагрев с широким использованием теплопередачи протекает сравнительно медленно, то изменения μ и ρ происходят также медленно; в силу этого можно рассматривать электрический режим индуктора для каждого отрезка времени, в пределах которого сравнительно малые изменения температур не меняют μ и ρ , как стационарный. Это позволяет составить таблицу значений всех интересующих величин для любого заданного значения

¹ ETZ, № 22, 1923.

Рис. 4. Распределение мощности установки; (по вертикали отложена мощность в kW).

А—мощность высокой частоты, требующаяся на полезный нагрев; В—мощность высокой частоты, теряемая в индукторе и трансформирующем контуре и через теплоизлучение; С—мощность постоянного тока, теряемая на анодах и в элементах одной цепи; D—мощность переменного тока 50 Hz, расходуемая на накал катодов и в других элементах низкой частоты.

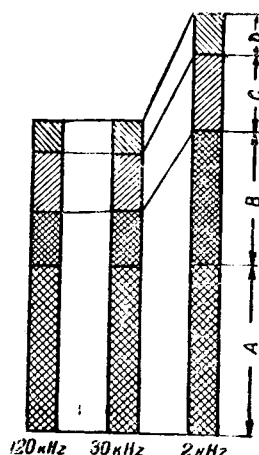
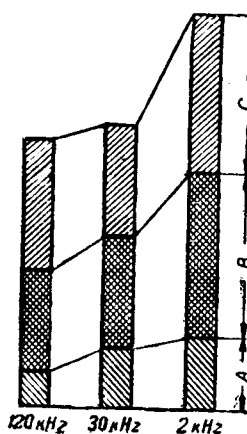


Рис. 5. Распределение стоимости установки (по вертикали отложена стоимость в тыс. руб.).

А—стоимость силовой аппаратуры для питания анодных, катодных, сеточных и других цепей; В—стоимость генераторной аппаратуры: радиоламп и другой вспомогательной высокочастотной аппаратуры; С—стоимость технологического оборудования; закалочный станок, индукторный и трансформирующий контуры и т. п.



температуры и соответствующего ему момента процесса нагрева. При этом значения μ и ρ для различных H и θ °C определяются заранее опытным путем. Найденные таким образом мощность, подводимая к индуктору, и его полное сопротивление позволяют уже по обычным формулам рассчитать необходимые характеристики всех остальных элементов установки.

Примерные результаты одного такого расчета, выполненного для лампового генератора и нагрева больших плит, представлены на рис. 4 и 5 диаграммами. Из их рассмотрения следует, что применение частот ниже 30—20 kHz нецелесообразно, так как подводимая к установке мощность и стоимость резко возрастают при $f < 20$ kHz.

Применение более низких частот не будет целесообразным, даже если в качестве генератора применить вращающуюся машину, имеющую более высокий к. п. д., чем радиолампа. Дело в том, что при этом общая мощность, потребляемая из сети, может оказаться одинаковой как в установке с ламповым генератором, например при 30 kHz, так и в машинной установке, например при 5 kHz. Объясняется это тем, что, выигрывая в к. п. д. генератора при 5 kHz, при этом теряют в к. п. д. индуктора.

Следует еще отметить, что для большей универсальности установку индукционного нагрева целесообразно делать на несколько частот. Это позволяет более рационально использовать ее для объектов самого разнообразного габарита и формы. Применение лампового генератора без особых затруднений позволяет осуществить такую установку на несколько частот.

Ламповый генератор оказывается конкурентно-способным по сравнению с мотор-генератором даже и при низких частотах, если его осуществлять по схеме независимого возбуждения и в качестве возбудителя применять либо ламповый же генератор, либо маши-

ну-возбудитель. При оценке такой системы надо сравнивать со стоимостью мотор-генератора лишь стоимость выпрямителя, радиоламп усилительного каскада и возбудителя, имеющего сравнительно малую мощность. Выходной контур усилительного каскада в такой системе и выходной контур мотор-альтернатора при одинаковых частотах, естественно, одинаковы. Этот контур в обоих случаях рассчитывается только на компенсацию реактивной мощности индуктора и поэтому имеет сравнительно небольшую величину вольтампер. Расчеты показывают, что в этих случаях стоимость мотор-альтернатора оказывается выше, чем стоимость лампового генератора с независимым возбуждением.

Ламповый генератор по схеме самовозбуждения в этом отношении, как правило, уступает мотор-генератору, ибо его выходной контур, рассчитываемый по условиям самовозбуждения, имеет большую величину вольтампер и при низких частотах становится нерентабельным.

Следует особо отметить, что применение вместо электронных радиоламп тиратронов или игнитронов с управляющими сетками, обладающих весьма высоким к. п. д., еще более снижает относительную рентабельность мотор-генератора. При современном развитии техники мощных электронно-ионных приборов создание электронно-ионного генератора с любой необходимой частотой и мощностью является вполне разрешимой технической задачей.

Выше был рассмотрен индукционный нагрев металлического тела на примере одностороннего нагрева плиты. В этом случае коэффициент рассеивания магнитных силовых линий больше, чем при нагреве шеек валов, плавке в тиглях и т. п., когда индуктор concentрически охватывает нагреваемое тело. Так как коэффициент мощности при concentрическом нагреве выше, то не трудно показать, что наимыгоднейшая частота в этом случае, при прочих равных условиях, будет ниже, чем при одностороннем нагреве.



Некоторые вопросы развития энергетики Германии в период войны

Член-корреспондент Академии наук СССР В. И. ВЕЙЦ

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

1. Уровень и особенности предвоенного развития энергетики Германии. Германия, с ее 68-миллионным населением и территорией в 470 тыс. км² (в границах 1937 г.) занимала по уровню энергооборужения второе место в мире и первое в Европе. На ее территории были сосредоточены богатые ресурсы каменного и бурого углей¹, а также гидроэнергии².

В 1929 г. максимальный предкризисный уровень развития германской энергетики характеризовался 30 млрд. kWh электробаланса и около 200 млн. t (условного топлива) топливно-энергетического баланса, в том числе 130 млн. t каменного угля (добыча — 163 млн. t) и 177 млн. t бурого угля (добыча — 174 млн. t). Наступивший вслед за этим подъемом экономический кризис обусловил падение электробаланса на 25%, добычи каменного и бурого углей на 40—30% по сравнению с уровнем 1929 г. Последующий относительно крутой подъем кривых энергооборужения Германии после захвата в 1933 г. власти фашизмом непосредственно был связан с лихорадочной мобилизацией германской промышленности к новой войне, которую готовил фашизм.

Энергетика занимала основное место в системе мероприятий по подготовке страны к новой войне. Это можно прочесть и в опубликованной германским военным министерством работе «Энергетика — основа военного хозяйства» (Ing. Maj. Crima tis. Energiewirtschaft als Grundlage der Kriegswirtschaft): «Все значение военно-экономических факторов опирается на следующие положения: сила сопротивления воюющего государства в области добычи различных видов

Дана характеристика предвоенного состояния энергетики Германии. Освещены вопросы общей динамики, организации и направления технического развития германского энергохозяйства в период войны, а также вопрос о влиянии войны на электроснабжение. Настоящий обзор является извлечением из работы автора, посвященной анализу энергобаланса и развития энергетики Германии в период войны.

сырья, промышленной деятельности, транспорта и жизни населения зависит от мощи его энергоснабжения. Военное командование противника поэтому стремится с помощью

всех средств современной военной техники расстроить и разрушить энергетические центры. Степень безопасности в этой области является важнейшим военным фактором...»

Рядом законов с конца 1933 г. энергетическое хозяйство постепенно переводилось на военные рельсы. В середине 1934 г. была образована имперская энергетическая группа (Reichsgruppe der Energiewirtschaft) в составе министерства народного хозяйства. 18 декабря 1935 г. был издан известный закон под названием «Energiewirtschaftsgezetz», который в основном завершил военно-государственную перестройку организации энергетического хозяйства. Согласно этому закону, имперская энергетическая группа получила широкие, по существу неограниченные полномочия в области планирования и регулирования как нового энергостроительства, так и эксплуатации действующего энергохозяйства³. Последующие дополнения к этому закону имели целью завершить централизацию всего энергетического хозяйства для нужд войны.

Перед энергетикой были поставлены следующие основные задачи: во-первых, обеспечение курса на промышленную автаркию в целом и энергетическую автаркию в частности, что было

³ На III мировом энергетическом конгрессе в Вашингтоне в 1936 г. германская делегация в своих докладах (Deutsche Energiewirtschaft. Deutsche Berichte zur III Weltkraftkonferenz, Washington 1936) пыталась „научно“ доказать, что организационная перестройка энергетического хозяйства Германии и в частности упомянутый закон об энергетике преследуют только цели повышения уровня энергетического обслуживания населения и всемерного удешевления производства и распределения электрической энергии. Уже тогда были слишком очевидны непосредственные военные цели организационной перестройки энергетического хозяйства фашистской Германии.

¹ Геологические запасы каменного угля около 300 млрд. t (в полтора раза больше, чем в Англии) и бурых углей около 60 млрд. t.

² Потенциальная среднегодовая мощность (при к. п. д. равном единице) — 3,7 млн. kW.

связано прежде всего с развитием электроемких производств (алюминий, магний, синтетический каучук и т. д.) и энергохимического использования топлива (получение моторного топлива и химических продуктов); во-вторых, обеспечение курса на высвобождение людских резервов для армии путем расширения охвата электрификацией трудоемких процессов в промышленности и сельском хозяйстве и углубления электрификации отдельных отраслей производства на основе внедрения электроавтоматики; в-третьих, обеспечение максимальной неуязвимости энергетических центров от воздушных бомбардировок.

Предвоенное развитие электроэнергетического хозяйства фашистской Германии характеризуется следующими особенностями⁴.

Создание военно-энергетических резервов. Эта задача решалась, главным образом, форсированным строительством электрических сетей районного и межрайонного значения и включением в районные системы промышленных электростанций. Опыт прошлой войны показал, что, несмотря на низкое число часов использования установленной мощности электростанций, воюющие страны переживали острый кризис баланса электрических мощностей в результате слабого тогда развития электросистем. Для фашистской Германии это обстоятельство имело особо важное значение, так как около половины ее электробаланса покрывалось децентрализованными промышленными электростанциями. За предвоенные годы Германии удалось заметно продвинуться в этом направлении, что видно из следующих иллюстративного значения фактов: отпуск электроэнергии промышленными станциями в районные сети увеличился за 1934—1938 гг. в несколько раз; коэффициент централизации промышленного электробаланса увеличился с 48% в 1934 г. до цифры порядка 55—60% в 1938 г.

Строительство новых энергетических мощностей осуществлялось по программе, согласованной с военным командованием с точки зрения их размещения и создания резервов электрических мощностей и топлива.

Рассредоточение генерирующих мощностей путем перехода от строительства крупных, измеряемых сотнями тысяч киловатт, к средним и небольшим станциям в десятки и единицы тысяч киловатт и путем перенесения центра тяжести нового электростроительства на промышленные установки. Кривая предвоенного роста энергетических мощностей показывает несколько замедленный темп развития районных электростанций при крутом подъеме мощностей промышленных станций: в 1937 г. мощность промышленных станций возросла на 40%, а районных электростанций всего примерно на 10% по сравнению с 1933 г.; в новом энергостроительстве 1937—1938 гг. $\frac{2}{3}$ падало на промышленные станции и лишь $\frac{1}{3}$ на рэс, в отличие, например, от 1929 г., когда на рэс падало свыше 90% при-

ста мощностей, а на промышленные станции менее 10%. Об этом процессе свидетельствует и статистика изменения числа новых электростанций. Например, в 1937 г. в строй вошло новых 128 станций (100 промышленных и 28 общего пользования), между тем как в предыдущие годы число промышленных станций даже абсолютно уменьшалось, а число новых районных станций измерялось единицами.

Осуществление специальных мероприятий по защите электрохозяйства от воздушных бомбардировок (строительство подземных электростанций специального назначения, мероприятия по защите зданий и оборудования электростанций от осколков и т. д.).

Анализ предвоенного развития германской энергетики показывает, что Германия еще до войны форсировала систему мероприятий по подготовке энергетического хозяйства к войне. Военно-государственная перестройка энергетики (как и всей промышленности) на основе сращивания энергетических монополий с военной государственной машиной была проведена Германией значительно более глубоко, чем в любой другой капиталистической стране.

2. Общая динамика развития энергетики Германии в период войны. Германия вступила в войну, располагая энергетической базой в 17,2 млн. kW установленной электрогенерирующей мощности (14,5 млн. kW рабочей мощности электростанций) с годовым электробалансом в 60 млрд. kWh и суммарным топливно-энергетическим балансом около 240 млн. t условного топлива⁵ (в том числе 186 млн. t каменного угля и 195 млн. t бурого угля).

На рис. 1 показана динамика общего уровня энерговооружения Германии за годы войны

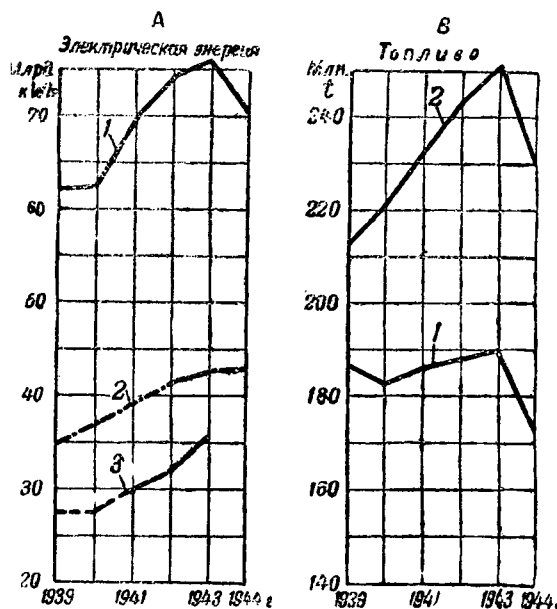


Рис. 1. Динамика общего уровня энерговооружения Германии за годы войны (1939—1944):

А. 1—суммарная выработка электроэнергии; 2—электростанции общего пользования; 3—промышленные электростанции. Б. 1—каменный уголь; 2—бурый уголь.

⁴ См. также В. И. Вейц. Некоторые особенности новейшего развития электроэнергетики в капиталистических странах. Электричество, № 8, 1939.

⁵ Электричество, № 12.

(1939—1944). Эти кривые показывают рост энерговооружения Германии в период войны, вплоть до 1943 г. включительно. В 1944 г. началось заметное снижение уровня энерговооружения, которое сменилось в конце 1944 г. и в начале 1945 г. лавинообразным падением кривых электроэнергии и топлива.

Мощность электростанций Германии за годы войны возросла на 25—30%. Электробаланс возрос с 60 до 76 млрд. kWh (на 25%), добыча бурого угля с 195 до 253 млн. т и каменного угля с 186 до 191 млн. т.

Для правильной оценки уровня энерговооружения германского военного хозяйства следует учесть также и энергетическую базу в оккупированных Германией странах, которая была почти полностью подчинена нуждам военного производства фашистской Германии. Подсчеты показывают, что за счет оккупированных районов энергетическая база Германии возросла на 3 млн. kW рабочей мощности, на 165 млн. т каменного угля и на 50 млн. т бурого угля в год. За счет оккупированных районов суммарный топливно-энергетический баланс Германии возрос примерно на 80%.

Развитие энергетической базы Германии и изменения в структуре ее энергетического баланса за годы войны обеспечили возможность значительного расширения электромеханических производств для военных нужд: выплавка алюминия со 160 тыс. т в 1940 г. повысилась до 250 тыс. т (при включении оккупированных районов — до 370 тыс. т, не считая вторичного алюминия); магния — с 13 до 35 тыс. т; цинка — с 190 до 300 тыс. т; буна — с 6 до 120 тыс. т; хлора — с 260 до 550 тыс. т и т. д.

Данные по энергетике, в известном смысле синтезирующие развитие промышленности в целом, в свою очередь свидетельствуют, что крушение фашистской Германии произошло не в результате истощения ее производственных ресурсов; ее поражение — непосредственный результат сокрушающих ударов Объединенных наций, среди которых решающими были удары Красной Армии.

3. Организация энергетического хозяйства в период войны. В период войны еще более интенсивно, чем в предвоенные годы, продолжался процесс сращивания энергетических монополий с военно-государственной машиной. В огромном, не виданном ранее масштабе возросла военно-государственная централизация управления, регулирования и планирования энергетического хозяйства. Наряду с упомянутой выше имперской энергетической группой при министерстве народного хозяйства с неограниченными правами контроля и регулирования энергетики страны, планированием, управлением и контролем за строительством и эксплуатацией энергетики в период войны занимались также следующие центральные органы: 1) штаб вооружения при имперском министерстве вооружения и боеприпасов; 2) имперский генеральный инспектор по энергетике и воде; 3) имперское диспетчерское управление (Reichs-Lastungsvertei-

lung — R. L. V.). Эти центральные органы имели также свои районные и местные управления.

В задачи имперского диспетчерского управления (R. L. V.) входило: управление эксплуатацией и строительством энергетических систем, объединенных высоковольтной сетью; регулирование межсистемным обменом электроэнергией; контроль за состоянием электрохозяйства и новым энергостроительством; распределение рабочей силы и фондируемых материалов; регулирование топливоснабжения станций и промышленности энергооборудования. R. L. V. имела 13 районных диспетчерских управлений (Bezirks-Lastungsverteilung) и 170 местных (Orts) диспетчерских управлений; в его ведении находилось много тысяч предприятий (Elektrizitätsversorgungsunternehmen — E. V. U.).

Множественность регулирующих и планирующих органов в области энергетики, с параллельными, по существу, функциями, с многозвенным подчинением, при конкурентной борьбе отдельных монополий как в самом энергетическом хозяйстве, так и в промышленности, обостряли и без того напряженность энергетического баланса фашистской Германии.

Уродливые формы фашистской организации энергетического хозяйства особенно резко выступили наружу в 1944 г. В связи с тотальными мобилизациями в печати в донесениях с мест открыто указывалось на крайнюю бюрократичность централизованного управления энергетическим хозяйством.

Опыт фашистской централизованной организации энергетического хозяйства в годы войны раскрывает органические пороки, присущие военно-государственной организации монополистического капитализма.

4. Направление развития энергетики Германии в период войны. На рис. 2 и 3, на основе специально проведенных подсчетов, показаны изменения в структуре прироста мощностей и общая характеристика изменений в концентрации электростанций в годы войны. В отличие от предвоенных лет, центр тяжести нового строительства в годы войны был перенесен на районные электрические станции (рэс). В 1937—1939 гг. около $\frac{2}{3}$ новых мощностей падало на промышленные электростанции, что явилось результатом нового курса на децентрацию и рассредоточивание генерирующих мощностей в связи с подготовкой электрохозяйства для нужд войны. В военные годы мы наблюдаем противоположную тенденцию: неуклонный рост удельного веса рэс в новом энергостроительстве; в 1942 г. около $\frac{2}{3}$ новых мощностей падало на рэс.

Наряду с этим, в годы войны заметно повысился удельный вес электростанций с мощностью выше 100 тыс. kW; в суммарной мощности промышленных станций — с 5 в 1938 г. до 18% в 1944 г.; в суммарной мощности рэс — с 37 до 42%. Эти данные, в отличие от данных предвоенных лет, показывают растущую роль станций с мощностью более 100 тыс. kW в новом энергостроительстве Германии в годы войны.

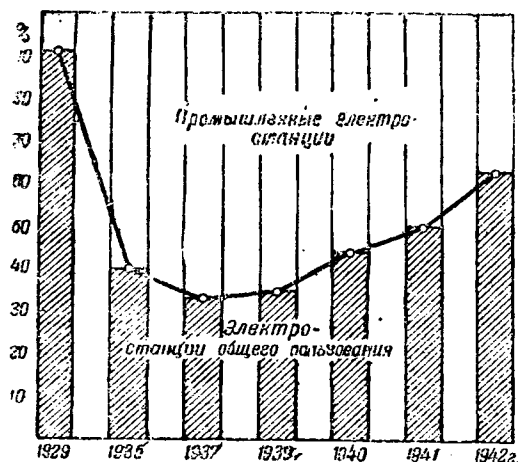


Рис. 2. Изменения в структуре годового прироста, мощности электростанций.

Характерными для энергостроительства военных лет становятся мощности отдельных станций в 100—200 и более тыс. kW. Приведем следующие примеры: на энергопромышленном комбинате Эспенхайм в 1939—1942 гг. введены две электроцентрали мощностью в 190 и 123 тыс. kW (проектная мощность—213 тыс. kW); мощность электроцентрали «Герман—Геринг Верке» — 240 тыс. kW; мощность 2 электростанций «Шкоппау» при энергопромышленном комбинате «Буна Верке» — 93 и 100 тыс. kW; мощность тэд «Боллен» — 215 тыс. kW (проектная).

Новая программа скоростного энергостроительства (Sofortprogramme) предусматривала строительство около полутора десятков районных электростанций по 300 тыс. kW каждая, с начальным давлением в 150 ат, которые должны были служить базовыми станциями в покрытии электрических нагрузок. Наступление Красной Армии сорвало осуществление этой программы энергостроительства.

Переход в годы войны вновь к строительству мощных электростанций (помимо основного фактора — темпа наращивания новых мощностей) не в малой степени определялся первоначальной уверенностью фашистской Германии в своем военном превосходстве, в том числе уверенностью в своих противовоздушных средствах защиты, которые, будучи сосредоточены на небольшом числе мощных электростанций, в состоянии с большей эффективностью обеспечить их защиту от воздушных бомбардировок, чем при условиях рассредоточивания средств ПВО между значительным числом небольших по мощности станций. Действительно, в первые 2—3 года войны (до 1943 г.), как показывают отчетные материалы, от воздушных бомбардировок страдали преимущественно небольшие по мощности станции. Крупные электростанции, размещенные даже непосредственно у западных границ (например, известная станция Гольденбергверк на полмиллиона kW и др.), в основном продолжали работать на свою полную мощность. Положение с выводом из строя крупных электроцентралей резко изменилось в связи с общим изменением в ходе

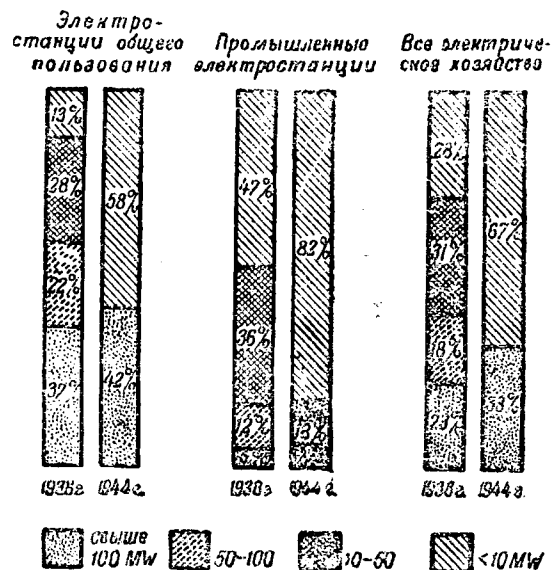


Рис. 3. Изменения в концентрации мощностей электростанций Германии в период войны.

войны, вызванным операциями Красной Армии. Например, в ноябре 1944 г. были выведены из строя около 1,7 млн. kW мощности электростанций (около 10% суммарной рабочей мощности). Свыше 75% выбывшей мощности падает на электростанции более 100 тыс. kW каждая (22% от установленной мощности этой группы электростанций).

Для энергостроительства военных лет, как и в предвоенные годы, характерно рассредоточение крупных мощностей (в 100 и более тысяч kW) в пределах площадки энергопромышленного комбината, с пространственным разрывом между станциями в 2—3 км. Например, на территории упомянутого выше энергопромышленного комбината Эспенхайм сооружены 2 электростанции с проектными мощностями в 190 и 213 тыс. kW (по 5 агрегатов); то же на Шкоппау—северная в 100 тыс. kW (7 агрегатов) и южная в 93 тыс. kW (5 агрегатов); то же на Лейна и на ряде других комбинатов. В отдельных случаях, как показал опыт войны, пространственное рассредоточивание крупных мощностей в пределах территории промышленного комбината себя оправдало с точки зрения ПВО.

Значительный удельный вес в новом энергостроительстве занимали агрегаты с единичной мощностью в 25 и 50 тыс. kW. Следует, однако, отметить, что, несмотря на попытки осуществить широкую стандартизацию основного оборудования, в энергостроительстве военных лет характерен обычный для капиталистических стран разнородный в шкале единичной мощности турбогенераторов. Можно привести следующие примеры: в списке установленного на 26 электростанциях оборудования за 9 мес. 1944 г. на суммарную мощность в 632 тыс. kW имеются 23 размера мощностей турбогенераторов в интервале от 4 до 55 тыс. kW; в списке 50 объектов переходящего строительства на 1945 г. (включая восстановле-

ние разрушенных станций) имеются 32 размера мощностей в интервале от 3 до 50 тыс. kW⁶.

В новом энергостроительстве преобладали установки высокого давления (80—100 ат), экономическая эффективность которых на основе уже широкого эксплуатационного опыта общепризнана (при примерно одинаковых приведенных капиталовложениях экономия топлива составляет 12—14% по сравнению с установками среднего давления — на 30 ат). Невозможность обеспечить котлостроение высоколегированными жароупорными сталями заставила Германию прибегать к менее качественному металлу с точки зрения требований котлов высоких параметров. С этим связаны были серьезные осложнения в эксплуатации ряда установок, вызвавшие более высокие по сравнению с обычными ремонтные простои оборудования.

Дефицитность стратегического сырья в немалой степени повлияла и на относительно низкое напряжение генераторов, установленных в годы войны (как правило, 5½—6 kV и лишь для некоторых из 50 тыс. агрегатов — 10—12 kV), в основном из-за недостатка слюды для изоляции.

Характерным для германских генераторов является относительно низкий $\cos \varphi$ (0,7—0,8 и в отдельных случаях даже 0,625), что главным образом определялось стремлением использовать генераторы для покрытия баланса реактивной энергии.

Теплофикация. В военные годы, как и в непосредственно предвоенные годы, значительно возрос удельный вес теплофикационного оборудования, в особенности на промышленных электростанциях. Этот заметный поворот в развитии капиталистической энергетики (не только Германии) в сторону теплофикации непосредственно связан с военно-государственной организацией энергетического хозяйства, с установлением все более жесткой принудительной связи промышленной энергетики с районными системами. Необходимо, однако, заметить, что в области развития теплофикации, как показывают отчетные материалы, продолжали действовать противоречия, свойственные капиталистической энергетике (противодействие со стороны отдельных промышленных предприятий развитию теплофикации с целью ослабления энергетических связей с районными системами).

Опыт германской теплофикации военных лет подтверждает наши исследования об эффективности внедрения типов турбин с противодавлением как в промышленности, так в отдельных случаях и в городах.

На тэц «Болен» были установлены три таких турбины на мощность в 48 тыс. kW при суммарной мощности тэц в 215 тыс. kW. x_r^N (удельный вес турбин с противодавлением по мощности) на этой станции равнялся 22%; на 2 тэц «Шкоп-

пау» — 70% (суммарная мощность — 193 тыс. kW); на тэц «Эспенхайм» — 55%; на тэц № 5 Лейпцига — 50%.

На Северной городской тэц Лейпцига с суммарной мощностью в 55,5 тыс. kW установлены 4 таких турбины ($\Pi_{2,5}^{2,5} \cdot 4 + \Pi_{2,5}^{2,0} \cdot 2,5 + \Pi_{2,5}^{3,0} \cdot 1,3 + \Pi_{2,5}^{3,5} \cdot 2,0$), в том числе последний агрегат на высоком давлении (80 ат, 20 тыс. kW) был введен в эксплуатацию в 1941 г. ($X_n^N = 71\%$); тепловая нагрузка преимущественно отопительная; станция связана с электросистемой; в качестве маневренного электрического резерва установлена конденсационная турбина в 12 тыс. kW с начальным давлением, равным отборному в 2,5 ат. Тепловые схемы как этой, так и ряда промышленных тэц являются сложными, отчасти в силу постепенной модернизации в связи с переходом на высокое давление.

Коэффициент полезного действия тэц с высоким удельным весом турбин с противодавлением значительно выше, чем с турбинами типа КО. В условиях достаточно сильных электрических связей с системами обеспечивается высокая надежность и экономичность энергоснабжения от этого типа тэц.

Развитие межрайонных электросистем и строительство единой высоковольтной сети. Уже в предвоенные годы развитие электросистем и их объединение высоковольтной сетью явилось одним из важнейших направлений в мобилизации энергетики фашистской Германии к войне. С этим направлением связывались коренные вопросы надежности и экономичности электроснабжения. Известно, что это направление было основным и в мобилизации энергетики других стран.

В период войны были в основном завершены работы и введена в эксплуатацию единая высоковольтная сеть, объединяющая центральную, южную и западную группы электросистем, с включением энергетических центров Австрии, Италии, Франции, Швейцарии. Основной костяк 220-kV сети имеет подковообразный вид: западная ось 220 kV сети проходит через Иббенбирен — Везель — Браувайлер — Кальтфербах — Хонак — Рейнфильден — Уербертинген с ответвлениями на запад во Францию и на юг в Италию (Предальпийский Тироль); восточная ось: Магдебург — Черновицы — Дискау — Ремитендорф — Людфегейм — Петер, с ответвлениями на восток в Вену и на юг в Тироль. Перемычка соединяет Магдебург с Иббенбирен через Хельмштедт — Лерте — Минден.

Рабочая генерирующая мощность, включенная в объединенную систему (Verbundnetz), достигла в конце войны около 13,5 млн. kW (в начале войны — около 9,5 млн. kW) с максимальной годовой выработкой электроэнергии в 1943 г.

⁶ Поскольку можно судить по отчетным материалам, положительные результаты были достигнуты лишь в части выпуска стандартных трансформаторов в 100 тыс. kVA.

⁷ Верхний индекс — начальное давление, нижний — давление отбора; строчные цифры — мощность агрегата в тыс. kW

кругло около ⁸ 50 млрд. kWh. Это составляло около ³/₄ по мощности и около ²/₃ по электроэнергии в суммарном электрохозяйстве страны. Характеристика рабочей генерирующей мощности объединенной системы по составу энергетических ресурсов и по величине мощности электростанций дана в нижеследующей сводке (1942—1943 гг.):

По энергетическим ресурсам		По величине мощности электростанций		
	%	Тыс. kW	Мощность, млн. kW	%
На буром угле	30	Свыше 200	1,5	12
На каменном угле	45	80 — 200	4	58
На гидроэнергии	15	Ниже 80	7	30
Гидроаккумуля. установки.	10		12,5	100
	100			

Отдельные группы электросистем были объединены в три частотных блока.

Как показывает анализ, строительство единой высоковольтной сети Германии было осуществлено не на основе единой технической и экономически обоснованной программы; оно в решающих своих частях носило отпечаток бесплановости и борьбы интересов отдельных систем. Это вынуждены были признать и немецкие энергетики. Так, например, инженер Деффлер (Deffler) в своем докладе в мае 1943 г. о германской высоковольтной сети подчеркивает, что германская объединенная сеть не представляет органического образования (*kein organische Gebilde*); наоборот, она получилась как результат противоречивого характера развития отдельных ведущих электросистем. Отсюда недостаточность электрических связей на ряде важнейших участков объединенной системы, невозможность обеспечения устойчивой параллельной работы таких систем, как RWE и Elektrowerke, систем Центральной Германии с Баварской системой недостаточность электрических связей ряда крупных промышленных станций с районными системами и др.

Тем не менее, как показывает отчетный материал, развитие высоковольтных сетей было одним из определяющих факторов повышения надежности электроснабжения в условиях войны. Можно привести следующий пример: 3 и 4 октября 1943 г. в результате массированного налета на энергетические центры западных районов (так называемый энергетический район IV-б) были выведены одновременно из строя свыше 400 тыс. kW, главным образом на станции Гольденбергверк. Наличие объединенной высоковольтной сети позволило мобилизовать из 9 районов свыше

300 тыс. kW для целей электроснабжения большого числа отключенных предприятий.

Германия в годы войны разрабатывала проекты и форсировала строительство высоковольтных сетей на территории присоединенных и оккупированных стран Европы с целью использования энергетических ресурсов этих районов для своих нужд. Частично эти проекты были осуществлены.

Необходимость передавать значительные мощности на большие расстояния обусловила развитие экспериментальных работ по передаче постоянным током высокого напряжения, а также переменным током на напряжение в 400 kV. В Рейнско-Вестфальской электрокомпании (RWE) велись проектные и экспериментальные работы для осуществления электрической связи с гидроэнергетическими центрами Южной Германии на переменном токе в 400 kV. При этом предполагалось использовать опоры существующей 220-kV сети, которые были в свое время построены из расчета на 380 kV. Экспериментальные работы по высоковольтной передаче постоянным током имели одной из своих первоочередных целей использование богатых гидроэнергетических центров Норвегии путем передачи по высоковольтному кабелю постоянного тока напряжением в 800 kV.

Критическое изучение военного опыта строительства и эксплуатации межрайонных систем в зарубежных странах (Англия, Германия и др.) имеет актуальное значение, учитывая масштабы и характер, предстоящих в этом направлении работ послевоенного развития электрохозяйства нашей страны. Важное значение имеет опыт параллельной работы мощных частотных блоков при неустановившихся электрических режимах.

Топливный баланс и облагораживание топлива. Суммарный топливный баланс Германии в годы войны был в основном стабилизирован на довоенном уровне (в 1943 г. он был на 7—10% больше, а в 1944 г. на 6—8% меньше довоенного уровня). Германия, однако, располагала топливными ресурсами оккупированных стран и районов, которые увеличили ее собственный топливный баланс более, чем в ¹/₄ раза.

К числу важнейших особенностей германского топливного баланса как в предвоенные, так и в военные годы относится высокий уровень облагораживания топлива.

На рис. 4 приведена структура топливного баланса Германии в 1944 г. Схема показывает: 1) значительный уровень облагораживания каменных и бурых углей, которые покрывали свыше 90% топливного энергетического баланса страны: на нужды коксования, брикетирования, газификации, электростанций и энергохимических установок расходовалось около ¹/₂ каменных и около ²/₃ бурых углей. 2) За время войны значительно повысилось суммарное топливопотребление электростанций (примерно в полтора раза по сравнению с 1939 г.). Заметно вырос удельный вес бурых углей. В топливном балансе электростанций видное место занял полукокс на основе химического использования бурых углей. 3) Основным

⁸ В эти итоги входят и отдельные, бывшие еще автономными в энергетическом отношении районы, как, например, энергетический район 1 (Восточная Пруссия) и др. Их удельный вес относительно невелик.

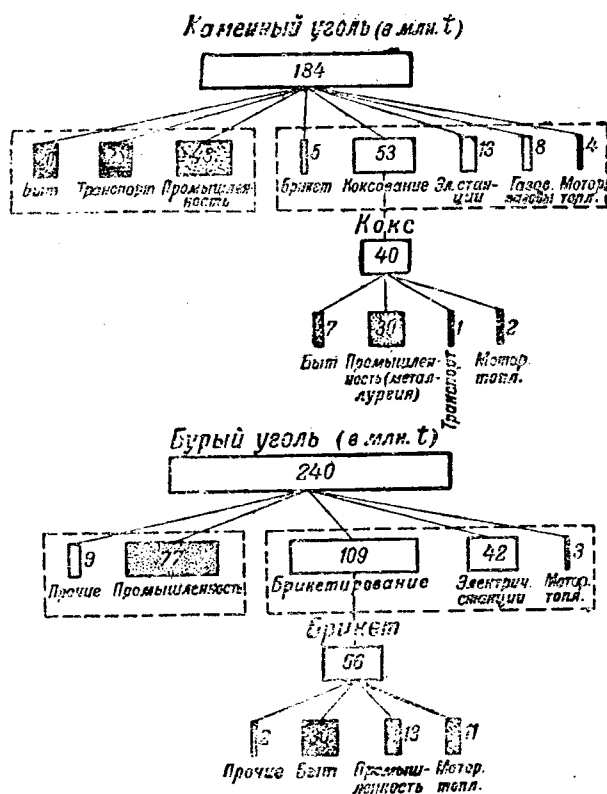


Рис. 4. Топливный баланс Германии в 1944 г.
(в довоенных границах 1937 г.)

видом бытового топлива в Германии служили брикеты, а также кокс и каменный уголь. Удельный вес дров в топливопитании крайне незначителен.

Взаимосвязи промышленной энергетики с районной на базе комплексного использования топлива. Изучение мирового опыта за последнее десятилетие, и в особенности периода войны, подтверждает наши исследования о растущей роли энергетики в формировании энергопромышленных комбинатов и в производственной специализации районов, о растущих взаимосвязях промышленной энергетики с районной.

В Германии в условиях мобилизации энергетики для нужд войны получили значительное развитие энергопромкомбинаты на основе комплексного энергохимического использования бурых углей. Главным военным фактором, определившим это направление развития энергетики, была необходимость получения из углей моторного топлива. Экономичность производства определялась его органическим сочетанием с районной теплоэлектроцентралью, использующей полукокс и другие топливные отходы, а также некондиционные для химического производства сорта углей.

На рис. 5 показана энерготехнологическая схема комбината Эспенхайм. Исходным сырьем служат бурые угли (средние характеристики: $C^p = 26,71\%$; $H^p = 2,2\%$; $O^p + N^p = 7,3\%$; $S^p = 1,5\%$; $A^p = 10,6\%$; $W^p = 51,6\%$; $Q_{\text{н}}^p = 2130 \text{ Cal}$),

Производством комбината являются: электроэнергия, пар, различные фракции моторного топ-

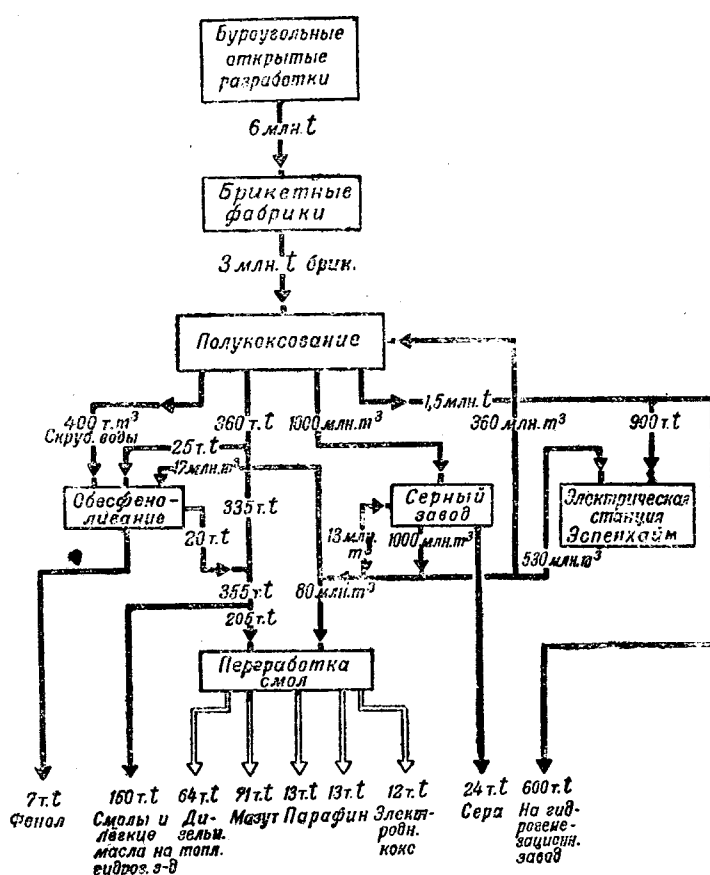


Рис. 5. Производственная схема энергопромышленного комбината Эспенхайм.

лива, ряд химических продуктов. Основой комбината является электроцентральный, связанная с районной электросистемой. Мощность электроцентрали определяется топливным балансом комбината, а не масштабами потребности его в электроэнергии. Суммарная проектная мощность теплоэлектроцентралей составляет 313 тыс. kW. Только около $\frac{1}{4}$ электроэнергии тэц идет на нужды комбината; тэц является опорной электростанцией районной системы.

На фиг. 6 показана схема другого аналогичного комбината — Болен. Здесь связи с районной энергетикой, в отличие от Эспенхайм, дополняются, помимо электроэнергетики (тэц — районная электросистема), и газом (газогенераторная установка — дальние газопроводы). На этом комбинате работает газогенераторная установка под давлением с применением кислорода.

Энергопромышленный комбинат «Буна» с тэц Шкоппау является другим типом связи промышленной энергетики с районной. Электробаланс комбината — пассивный. Значительную долю потребления электроэнергии этого комбината покрывает районная электросистема.

Развитие этого направления энергопромышленного комбинирования в капиталистических странах, и в особенности в Германии, главным образом связано с мероприятиями военно-государственного регулирования, в частности в области энергетики. В нашей стране в условиях пла-

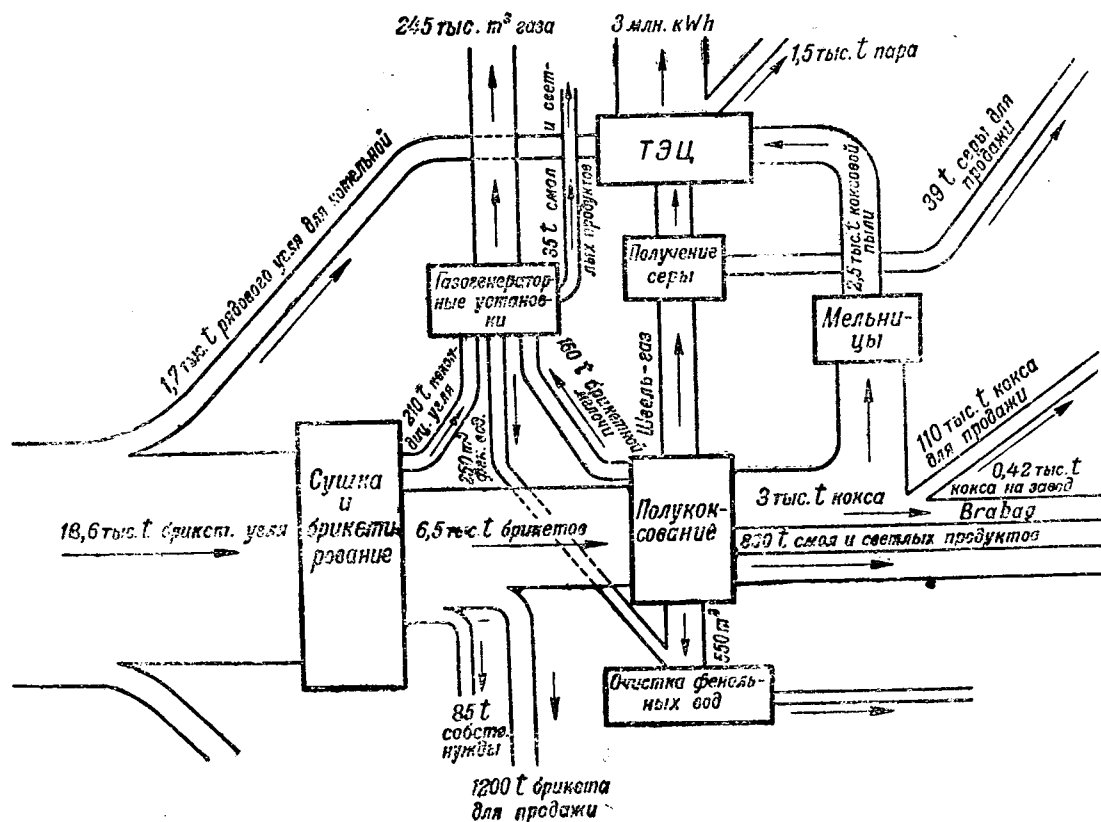


Рис. 6. Энерготехнологическая схема комбината Болен.

нового социалистического хозяйства, как ни в одной другой стране, созданы предпосылки для широкого развития в ряде районов этого направления энергопромышленного комбинирования на базе комплексного, на более передовой технической основе, энергохимического использования топлива.

5. Влияние войны на электроснабжение. На рис. 7 по материалам первичной отчетности построены нами кривые динамики показателей рабочей, располагаемой и максимальной мощности объединенной электросистемы Германии за 1940—январь 1945 г. В отчетности германского электрохозяйства «рабочая мощность» (*Leistungsfähigkeit*) представляет мощность при полной нагрузке оборудования станции (она меньше установленной мощности); «располагаемая мощность» (*Betriebsbereite Leistung*) равна рабочей, за вычетом мощности, находящейся в ремонте, в аварии, а также мощности гидроэлектростанций, ограниченной по воде; максимум представляет арифметическую сумму максимумов систем, которая примерно на 2% выше совмещенного максимума. Разница между располагаемой мощностью и максимумом характеризует величину мощности в резерве либо бездействующую по условиям нехватки топлива.

График показывает, что к началу 1945 г., при росте рабочей мощности по сравнению с началом 1940 г. примерно на 4 млн. кВт, располагаемая мощность абсолютно снизилась, примерно на 1 млн. кВт, а максимум снизился на 2 млн. кВт; по сравнению же с наивысшим уровнем, достиг-

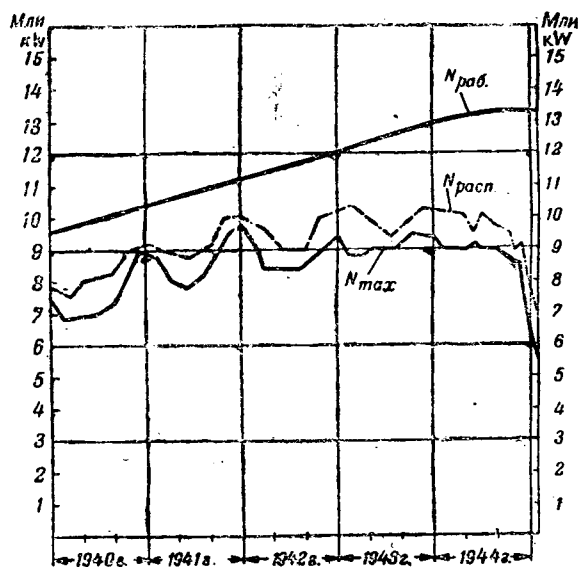


Рис. 7. Динамика основных показателей мощности объединенной электросистемы Германии 1940—1944 гг.

нутым в период войны, располагаемая мощность снизилась более, чем на 3 млн. кВт (по сравнению с 1943 г.), а максимум—на 4,5 млн. кВт (по сравнению с 1942 г.). При этом следует учесть, что в условиях жестко лимитированного максимума отключения потребителей достигли к началу 1945 г. около 3 млн. кВт. Это показывает на глубокое расстройство энергоснабжения фашистской Германии во втором этапе войны. Имперская энергетическая группа вынуждена была неодно-

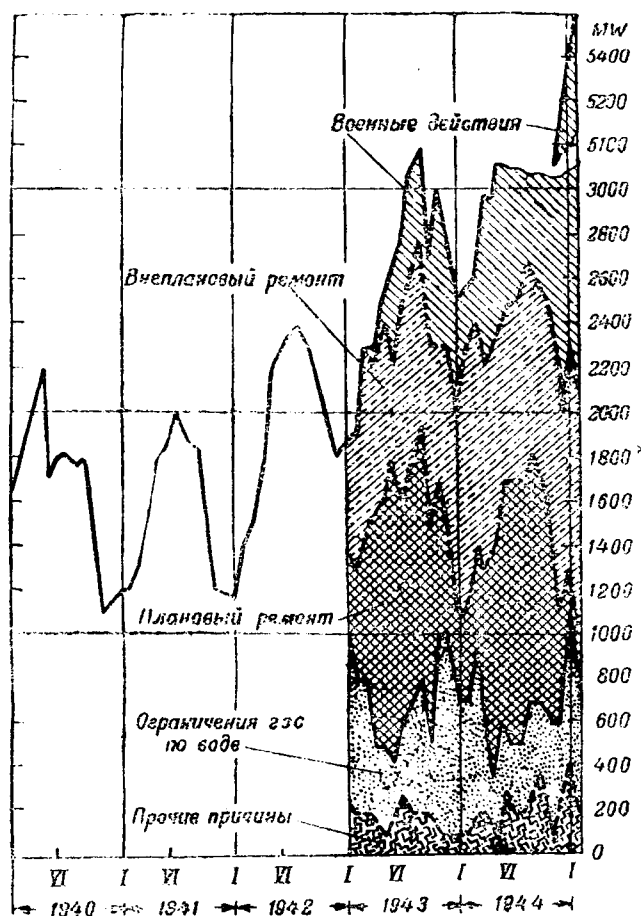


Рис. 8. Роль военных факторов в снижении располагаемой мощности германской объединенной электросистемы 1940—1945 гг.

кратно отмечать решающее влияние катастрофически развивавшихся для Германии военных действий Восточного фронта на падение кривых электроснабжения германского военного хозяйства.

На рис. 8 и 9, на основе обработки материалов первичной отчетности, показано влияние военного фактора на снижение располагаемой мощности. Величина планового ремонта в суммарной располагаемой мощности колебалась в течение года от 3—4% в зимние до 10—12% в летние месяцы. Ограничения гЭС по воде падают, главным образом, на зимние месяцы и составляют 5—6% от располагаемой мощности (в летние месяцы 1—2%).

К показателям, отражающим непосредственное влияние военного фактора, относятся: мощность, находящаяся во внеплановом ремонте, и мощность, выбывшая из строя в результате военных действий. Еще в начале 1943 г. мощность, выбывшая из строя в результате военных действий, равнялась нулю, а мощность внепланового ремонта — всего около 20% от суммарной величины снижения рабочей мощности; остальные 80% снижения рабочей мощности падают на плановый ремонт, на ограничение гЭС по воде и прочие причины,

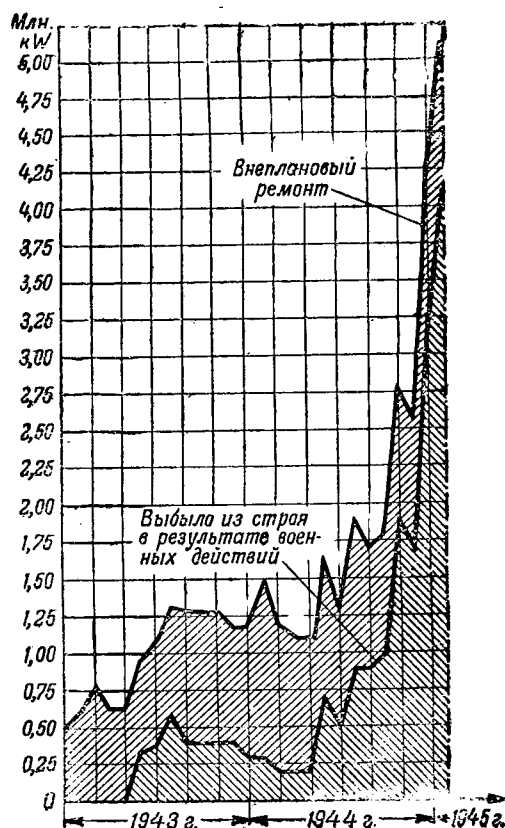


Рис. 9. Влияние военных факторов на выход мощностей из строя.

На рис. 10 показано помесечное число повреждений в электрохозяйстве в 1942 г. В этот период повреждения в электрохозяйстве в результате военного фактора падали почти исключительно на электрические сети. Преобладающую роль играли повреждения сети от аэростатов заграждения. Повреждения сети не отражались сколько-нибудь заметно на бесперебойности снабжения энергией военной промышленности. Длительность исправления этих повреждений исчислялась всего десятками минут. Например, в ночь с 14 на 15 февраля 1942 г. было 13 повреждений 110- и 220-kV линий, 31 разрыв фаз, повреждение нескольких опор; перерыв электроснабжения продолжался 40 мин. В ночь с 26 на 27 февраля было 17 повреждений 110- и 220-kV линий, 57 разрывов фаз; две подстанции были отключены на 1 час.

Непосредственные повреждения электрических станций и подстанций в этот период были весьма ограниченными по числу и падали, как правило, на небольшие по мощности электростанции. Повреждение крупных станций было исключением. На электроснабжении промышленности эти повреждения сказывались в очень малой степени (отдельные потребители отключались на несколько часов и, редко, на несколько дней). Это свидетельствует (что следует подчеркнуть) о неосновательности публикаций в англо-американской энергетической печати по поводу, якобы, глубокого расстройств в рассматриваемый период электроснабжения Германии в результате воздушных бомбардировок ее энергетических цен-

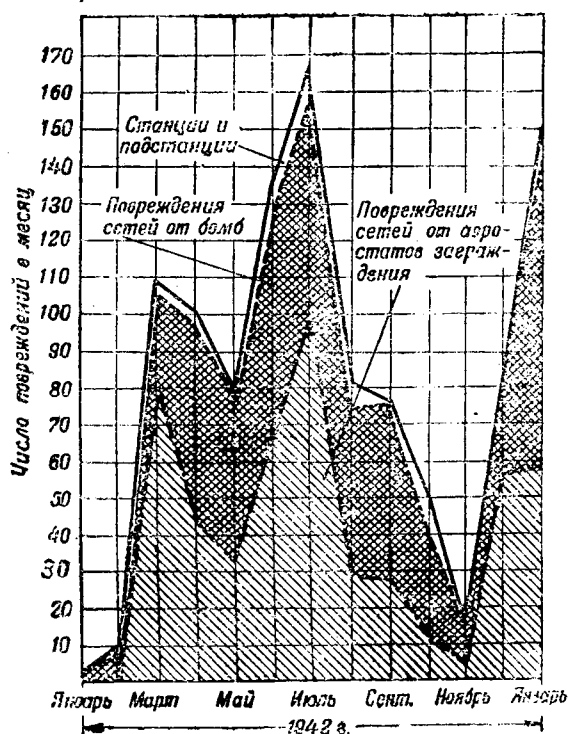


Рис. 10. Число повреждений в электрохозяйстве в результате военного фактора.

тров. Мобилизация мощности по высоковольтным сетям из других районов позволяла в этот период бесперебойно снабжать электроэнергией военную промышленность. Это обстоятельство, повидимому, и создавало в Германии уверенность в том, что, располагая военным превосходством, легче обеспечить неуязвимость крупных электроцентралей, чем рассредоточенных по району небольших и средних станций. Именно к этому периоду относится также разработка проектов группы электростанций по 300 тыс. kW мощностью каждая, как основного энергетического костяка военной промышленности Германии.

Примерно в середине 1943 г., как это видно из рис. 6 и 7, положение стало существенно меняться: вывод из строя крупных мощностей принял все более нарастающий характер. В начале 1944 г. величина вышедшей мощности германской объединенной электроэнергетической системы в результате военного фактора достигла уже $1\frac{1}{2}$ млн. kW — около 12% всей рабочей мощности страны, а в январе 1945 г. около 5,5 млн. kW — свыше 40% от соответствующей суммарной рабочей мощности.

Для характеристики состояния электроснабжения военной промышленности на втором этапе войны показательными являются данные об отключении потребителей. В условиях уже строго ограниченного максимума (предприятиям давали жесткие лимиты, ряд предприятий был разбит на 4 группы, каждая из которых работала одну неделю в месяц) происходило систематическое вынужденное ограничение даже особо бронированных военных предприятий. По мере нарастания

процесса расстройств электроснабжения росло хаотическое ограничение потребителей: производство электростали отключалось для мобилизации электроэнергии на нужды производства хлора; в то же время ограничивался электролиз алюминия для обеспечения выплавки электростали и т. д.

Масштабы ограничения в конце 1944 г. характеризуются следующими цифрами снижения месячной продукции (только в связи с отключениями) даже особо важных для войны отраслей: алюминий — на $6\frac{1}{2}$ тыс. t; электросталь — на 70 тыс. t; хлор — на 3 тыс. t; карбид — на $2\frac{1}{2}$ тыс. t; цемент — на 375 тыс. t; предприятия вооружения — на 400 тыс. kW. Специальным декретом был определен список предприятий, дающих готовую военную продукцию, под названием Notprogramme, которые должны были быть обеспечены электроэнергией ценою полного отключения всех остальных потребителей, включая военные заводы, не занесенные в указанный список. Несмотря на все ограничения и отключения, частота в электросистемах снижалась до 43—44 Hz и ниже.

Анализ материалов свидетельствует, во-первых, о растущем расстройстве германской энергетики на втором этапе войны в результате военных действий на Восточном фронте и, во-вторых, об особо важной роли энергетики в системе военного хозяйства.

На рис. 11 показан общий электрический баланс объединенной электросистемы Германии в 1943 г. Это был переломный год в развитии германской энергетики. В покрытии максимума, который в течение 1943 г. составлял от $8\frac{1}{2}$ до 10 с лишним млн. kW участвовали: электростанции на буром угле около 40%, на каменном угле около 40%, гидростанции — 8—10% и гидроаккумулирующие установки — 8—10%. Площадка между кривыми располагаемой и максимальной мощностей определяет величину резервной мощности в течение года; в действительности же эта резервная мощность не была мобильной по условиям, главным образом, топливоснабжения. Со второй половины 1943 г. заметно повысилась площадка отключаемой мощности. Рабочая мощность объединенной системы в течение 1943 г. повысилась примерно на $\frac{3}{4}$ млн. kW при стабилизации максимума. График показывает величину и причины выбытия из строя рабочей мощности, которая в сумме составила 2 млн. kW в начале и около 3 млн. kW в конце года.

6. Некоторые выводы. Изучение опыта развития энергетики Германии в период войны позволяет сделать ряд выводов в части как общей характеристики германской энергетики, так и некоторых технических вопросов.

В части общей характеристики германской энергетики можно с полным основанием отметить следующее.

а) В отличие от первой войны (1914—1918 гг.) Германия еще до начала этой войны (до 1939 г.) обеспечила мобилизацию своей энергетической базы и ее перевод на военные рельсы. Этот процесс мобилизации энергетики для нужд войны был проведен в Германии значительно глубже и

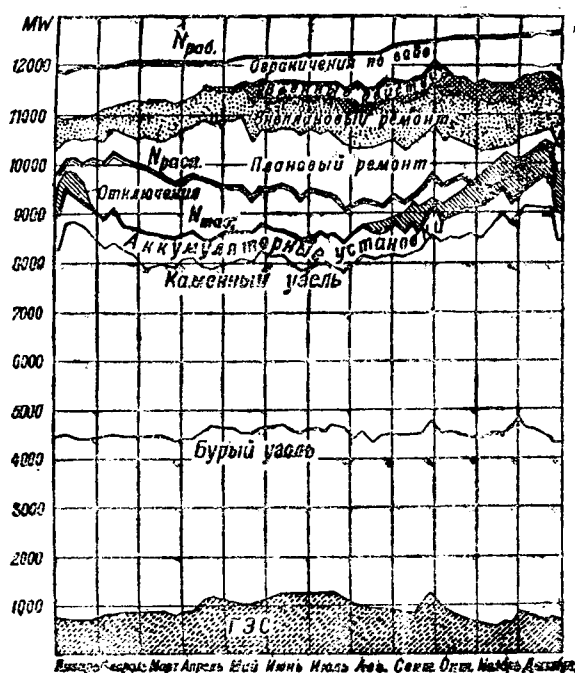


Рис. 11. Баланс электрических мощностей объединенной электрической системы Германии в 1943 г.

шире, чем в любой из других капиталистических стран. В период войны этот процесс продолжался в направлении дальнейшей централизации управления новым строительством и эксплуатацией энергетического хозяйства.

б) Военно-государственная централизация регулирования и управления энергетическим хозяйством в фашистской Германии представляет в основном процесс сращивания энергетических монополий с военно-государственной машиной. Изучение опыта централизации энергетического хозяйства Германии в годы войны вскрывает органические пороки присущие военно-государственной организации монополистического капитализма.

в) Отчетливо вырисовывается важная роль энергетики в системе военного хозяйства.

г) Фашистская Германия строила планы (и частично их осуществила) полного подчинения

энергетических центров оккупированных и присоединенных стран путем передачи в Германию энергии по высоковольтным сетям. Она расценивала этот курс как необходимое условие обеспечения своей командной производственно-экономической роли в Европе.

д) До 1943 г. продолжался процесс роста энергетической базы Германии, который сменился в 1944 г. снижением энерговооруженности военного хозяйства Германии в результате решающих ударов Красной Армии.

В части направления развития энергетики и новой техники могут быть отмечены следующие вопросы:

а) в области электроэнергетики — экспериментальные исследования высоковольтной электропередачи постоянным током и переменным током на 400 kV; параллельная работа мощных частотных блоков (в несколько млн. kW), в частности в условиях неустановившегося режима;

б) в области теплоэнергетики — эксплуатация электростанций на высоком давлении; глубокая автоматизация процессов в котельной (станция Шкоппау);

в) в области газификации и комплексного использования топлива — промышленные газовые установки на высоком давлении с применением кислорода; энергохимическое использование бурых углей на базе полукоксования.

Опыт военных лет развития энергетики Германии, как и других зарубежных стран, подтверждает, как показали наши исследования:

основное значение высоковольтных сетей в обеспечении надежности и экономичности электроснабжения и необходимость организации систематических работ по технико-экономическому проектированию перспектив развития районных и межрайонных электросистем;

высокую эффективность применения типов турбин с противодавлением в промышленных установках, а также, в определенных условиях, и в городах;

основное значение энергетики в производственной специализации районов и в росте взаимосвязей промышленной и районной энергетики в области электро-, тепло- и газоснабжения.



Время возбуждения регулекса

Кандидат техн. наук Ф. А. ГОРЯИНОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

В каскадных схемах Леонарда скорость нарастания напряжения главного генератора определяется параметрами собственной обмотки возбуждения генератора и обмоток возбуждения возбуждателей.

Для оценки быстродействия схем обычно определяют время возбуждения каждой машины каскада в отдельности. При ненасыщенных машинах с независимым возбуждением расчет времени может быть выполнен аналитически, как для обычного электрического контура, содержащего постоянные индуктивность и омическое сопротивление.

В машинах с насыщенной магнитной цепью задача решается несколько сложнее графо-аналитическим методом [Л. 1 и 2].

Нами предлагается для насыщенных машин аналитический способ расчета времени возбуждения, в основу которого положен метод аппроксимации кривой намагничивания машины. Особенно просто решается задача в случае сильно насыщенных возбуждателей, так называемых регулексов, применяемых в установках Леонарда, выполненных американской фирмой Allis-Chalmers.

Простейшая схема Леонарда с применением регулекса изображена на рис. 1. Здесь обозначено: G — главный генератор, B — возбуждатель нормального исполнения и P — подвозбудитель регулекса. Магнитная характеристика последнего приведена на рис. 2. Регулекс имеет две обмотки возбуждения: 1) обмотка управления; питается от постороннего источника тока; 2) дифференциальная обмотка, действующая встречно с первой, присоединена к зажимам главного генератора.

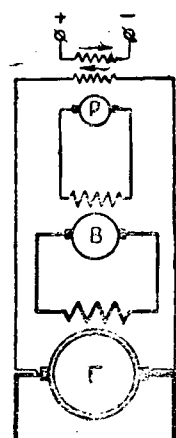


Рис. 1. Каскадная схема Леонарда с регулексом.

В начальный момент времени при включении обмотки управления с максимальным током возбуждения I_m (рис. 2) регулекс сильно насыщается. Напряжение на якоре регулекса устанавливается чрезвычайно быстро вследствие небольшого значения постоянной времени цепи возбуждения регулекса.

Нарастание напряжения на зажимах якоря главного генератора замедляется, как известно, из-за большой постоянной времени

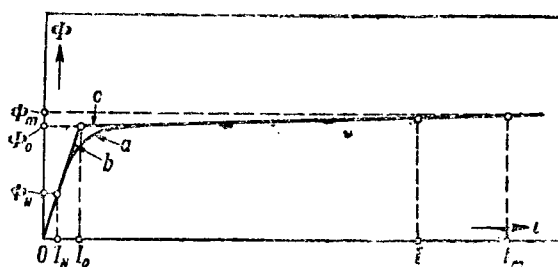


Рис. 2. Характеристика намагничивания регулекса.

цепи возбуждения главного генератора и частично цепи возбуждения возбуждателя B . Для ускорения процесса возбуждения генератора начальное напряжение регулекса устанавливается в несколько раз больше нормального, т. е. регулекс подает „форсировочное“ напряжение.

В процессе роста напряжения генератора увеличивается размагничивающее действие дифференциальной обмотки регулекса. Но вследствие сильно насыщенной магнитной характеристики форсировочное напряжение изменяется мало. И только при достижении нормального напряжения на зажимах главного генератора прекращается форсировка возбуждения. Дифференциальное действие обмоток возбуждения регулекса при установившемся режиме, как раз обеспечивает необходимое напряжение регулекса для нормальной работы генератора. Во время же переходного процесса регулекс автоматически поддерживает почти постоянную форсировку возбуждения главного генератора.

Нетрудно убедиться, что при выключении тока в обмотке управления регулекса происходит автоматически такой же усиленный процесс развозбуждения генератора.

Возбуждение регулекса. Характеристика намагничивания (a) (рис. 2) регулекса заменяется „приведенной“ характеристикой, представляемой двумя прямолинейными участками (b) и (c).

При большой форсировке возбуждения регулекса, достигающей до 50-кратного значения номинального тока возбуждения [Л. 3.], такая замена вполне допустима.

В пределах каждого прямолинейного участка приведенной характеристики индуктивность цепи возбуждения, выражаемая формулой

$$L = W \frac{d\Phi}{di}, \quad (1)$$

является постоянной величиной.

Здесь обозначены:

W —число витков обмотки; Φ —магнитный поток;
 i —ток возбуждения.

Как следует из формулы (1), значение L определяется тангенсом наклона прямой рассматриваемого участка приведенной характеристики.

Для 1 участка имеем:

$$\frac{d\Phi}{di} = \frac{\Phi_N}{I_N} = \frac{\Phi_0}{I_0}, \quad (2)$$

где Φ_N, I_N —номинальные значения магнитного потока и тока возбуждения (в предположении, что они расположены на ненасыщенной части характеристики);

Φ_0, I_0 —значения потока и тока, соответствующие точке перегиба „приведенной“ характеристики (рис. 2).

Для 2 участка

$$\frac{d\Phi}{di} = \frac{\Phi_m - \Phi_0}{I_m - I_0}. \quad (3)$$

Здесь Φ_m, I_m —наибольшие значения потока и тока возбуждения, соответствующие предельной форсировке регулятора.

Как известно, для контура цепи возбуждения с постоянным значением L время возбуждения определяется дифференциальным уравнением вида:

$$u = L \frac{di}{dt} + iR \quad (4)$$

и равно

$$t = T \ln \frac{C}{I_m - i}. \quad (5)$$

Здесь u —приложенное напряжение к обмотке возбуждения регулятора;

R —омическое сопротивление обмотки;

t —время;

T —постоянная времени возбуждения

C —постоянная интегрирования, зависящая от начальных условий.

Для 1 участка постоянная C определяется из условий:

$$t = 0; i = 0; C = i_m.$$

Для 2 участка при $t = 0$ $i = I_0$.

$$C = I_m - I_0.$$

Следовательно, время возбуждения для 1 участка при интегрировании от 0 до I_0 будет:

$$t_1 = T_1 \ln \frac{I_m}{I_m - I_0} = T_0 \ln \frac{\alpha_{im}}{\alpha_{im} - \alpha_0}. \quad (6)$$

На 2 участке пределы интегрирования берем от I_0 до значения I :

$$t_2 = T_2 \ln \frac{I_m - I_0}{I_m - I} = T_0 \frac{\alpha_m - \alpha_0}{\alpha_{im} - \alpha_0} \ln \frac{\alpha_{im} - \alpha_0}{\alpha_{im} - \alpha_i}. \quad (7)$$

Здесь $T_1 = T_0 = \frac{W}{R} \cdot \frac{\Phi_N}{I_N}$ постоянная времени возбуждения ненасыщенной машины

$$T_2 = \frac{W}{R} \frac{\Phi_m - \Phi_0}{I_m - I_0} = T_0 \frac{\alpha_m - \alpha_0}{\alpha_{im} - \alpha_0}. \quad (9)$$

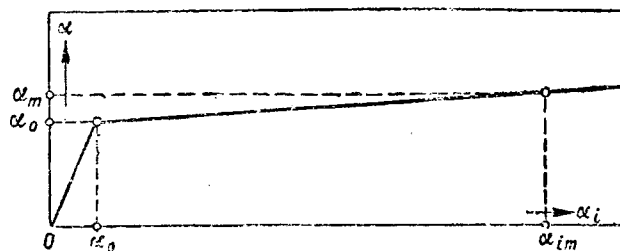


Рис. 3. Приведенная характеристика.

$$\left. \begin{aligned} \alpha_m &= \frac{\Phi_m}{\Phi} \\ \alpha_{im} &= \frac{I_m}{I_N} \\ \alpha_i &= \frac{I}{N} \\ \alpha_0 &= \frac{\Phi_0}{\Phi_N} = \frac{I_0}{I_N} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{относительные значения потока и} \\ \text{тока (рис. 3)} \end{array} \quad (10)$$

Полное время возбуждения регулятора будет:

$$t = t_1 + t_2 = T_0 \left(\ln \frac{\alpha_{im}}{\alpha_{im} - \alpha_0} + k_m \ln \frac{\alpha_{im} - \alpha_0}{\alpha_{im} - \alpha_i} \right). \quad (11)$$

Отношение разностей обозначаем:

$$k_m = \frac{\alpha_m - \alpha_0}{\alpha_{im} - \alpha_0}. \quad (12)$$

Это отношение характеризует тангенс наклона прямой 2 участка „приведенной“ характеристики, построенной в относительной системе единиц (рис. 3). Как показали расчеты регуляторов, значения k_m в зависимости от насыщения могут быть в пределах 0,01 ÷ 0,04, значения α_0 от 2 до 3.

Теоретически из формулы (7) следует, что при приближении i к своему предельному значению I_m время возбуждения t стремится к бесконечности. Однако, практически можно считать процесс возбуждения закончившимся при достижении тока возбуждения 98—99% наибольшего значения I_m . Поэтому подставляя в (11) значение

$$\frac{\alpha_i}{\alpha_{im}} \approx 0,98, \text{ после преобразования получим относительное}$$

время регулятора в виде:

$$\tau = \frac{t}{T_0} = (1 - k_m) \ln \frac{\alpha}{\alpha - 1} + 4k_m, \quad (13)$$

где принято:

$$\alpha = \frac{\alpha_{im}}{\alpha_0}, \quad (14)$$

$$\ln \left(1 - \frac{\alpha_i}{\alpha_{im}} \right) \approx -4.$$

По (13) проведен расчет времени возбуждения регулятора для трех значений $k_m = 0,01; 0,02$ и $0,03$. Результаты расчета построены в виде кривых $\tau = f(\alpha)$ на рис. 4. Там же построена зависимость частичного времени возбуждения t_1 для 1 участка „приведенной“ характеристики. Время t_1 выражено в процентах от полного вре-

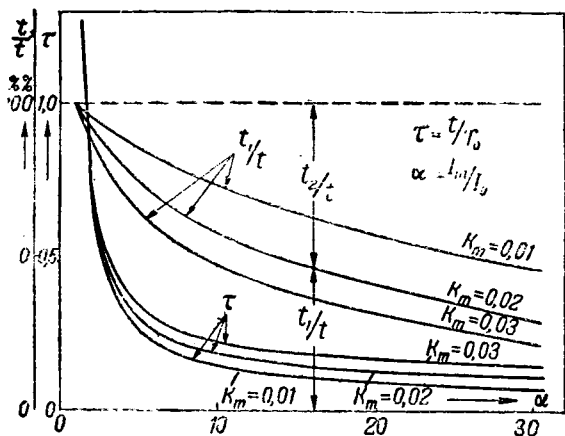


Рис. 4. Кривые времени возбуждения регулекса.

мени возбуждения t . Анализируя кривые τ , видим, что при значениях α больше 10 ÷ 15 эффективность форсировки возбуждения сильно падает. При малых значениях α влияние коэффициента k_m невелико. При большой форсировке время возбуждения регулекса ничтожно мало. Например, при $\alpha = 20$, что соответствует при $\alpha_0 = 2,5$ величине $\alpha_{im} = 50$, имеем $t = (0,0935 \div 0,172)T_0$.

Принимая, что предельное значение $T_0 = 0,5$ sec, получаем для времени возбуждения регулекса следующие величины

$$t = 0,0468 \div 0,086 \text{ sec.}$$

Как видим, таким временем возбуждения при расчетах схем Леонарда крупных электроприводов можно пренебречь.

Общий случай насыщенной машины. Магнитная система регулекса является предельным случаем насыщения. В общем случае криволинейной магнитной характеристики и вообще для уточнения расчетов последнюю можно разбить на число прямолинейных участков больше двух. Чем больше взято участков, тем большую аппроксимацию имеет приведенная характеристика, тем точнее расчет. На рис. 5 показан пример разбивки магнитной характеристики на 4 участка, что для самого неблагоприятного случая является вполне достаточным.

При m прямолинейных участках приведенной характеристики время возбуждения машины

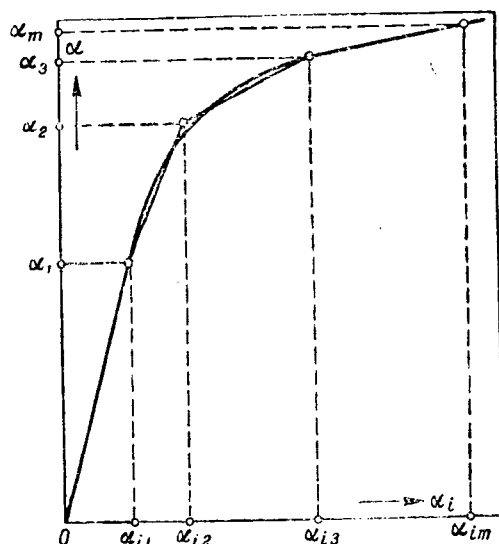


Рис. 5. Общий случай приведенной характеристики.

в случае независимого питания возбуждения будет равно:

$$t = t_1 + t_2 + \dots + t_m = T_0 \left(\ln \frac{\alpha_{im}}{\alpha_{im} - \alpha_1} + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_{i2} - \alpha_1} \ln \frac{\alpha_{im} - \alpha_1}{\alpha_{im} - \alpha_{i2}} + \frac{\alpha_3 - \alpha_2}{\alpha_{i3} - \alpha_2} \ln \frac{\alpha_{im} - \alpha_{i2}}{\alpha_{im} - \alpha_{i3}} + \dots + \frac{\alpha_m - \alpha_{(m-1)}}{\alpha_{im} - \alpha_{(m-1)}} \ln \frac{\alpha_{im} - \alpha_{(m-1)}}{\alpha_{im} - \alpha_l} \right). \quad (15)$$

Обозначения приняты те же, что и ранее. Дополнительные обозначения ясны из рис. 5.

В остальном расчет производится так же, как и для регулекса.

Закключение. Предлагаемый аналитический способ определения времени возбуждения при независимом питании обмоток возбуждения пригоден для машины с любым насыщением. Особенно упрощается этот метод в применении к регулексу.

Рассмотренный метод пригоден также и для машин с самовозбуждением.

Литература

1. Д. П. Морозов. Теория электропривода реверсивных станков. Изд. МЭИ, 1937.
2. Г. Рюденберг. Явления неустановившегося режима в электроустановках. ГИЗ, 1930.
3. А. Б. Чедюстин. Управление прокатными реверсивными станами, Американская техника и промышленность, № 9. 1944.



Влияние аксиального смещения ротора на характеристики малых асинхронных двигателей

Инж. Э. Д. КРАВЧИК

Завод им. Калинина

Аксиальное смещение пакетов ротора вдоль по валу ведет, как известно¹, к увеличению тока холостого хода, потерь в железе и к снижению $\cos \varphi$ двигателей. Причина этого заключается в том, что при несовпадении в положении пакетов железа статора и ротора часть силовых линий основного поля не может прямо через воздушный зазор перейти из листов железа статора в листы железа ротора, и должна пройти поперек пакетов. Но этому переходу силовых линий поперек пакетов препятствуют зазоры, имеющиеся между листами пакетов, а также экранирующее действие токов Фуко.

Таким образом, несовпадение в положении пакетов статора и ротора эквивалентно уменьшению эффективного сечения всего магнитопровода на некоторую долю величины смещения. Если несовпадение пакетов, выраженное в процентах от полной длины пакетов статора, будет, например α %, то его можно считать эквивалентным уменьшению эффективного сечения магнитопровода на $k\alpha$ %. В дальнейшем мы будем называть k — коэффициентом эквивалентности уменьшения сечения магнитопровода. Понятно, что $0 < k < 1$.

Для более полного представления о всех последствиях несовпадения в положении пакетов статора и ротора и для определения величины коэффициента эквивалентности уменьшения сечения магнитопровода был подвергнут испытанию нормальный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа Р42-4² при нормальном положении ротора и при сдвиге ротора из нормального положения на 5, 12 и 18 мм. Так как в этих двигателях пакет ротора выполняется на 5 мм длиннее пакета статора, то при указанных сдвигах ротора из нормального положения величина осевого смещения пакетов статора и ротора составляла соответственно около 3, 10 и 16 мм, или в процентах к полной длине пакета статора (которая равна 105 мм), около 2,8, 9,5 и 15,2%. Сдвиг ротора достигался соответствующей перепрессовкой ротора на валу. Все остальные части машины при этих испытаниях не менялись.

При каждом из четырех указанных положений ротора снимались кривые холостого хода, короткого замыкания и нагрузки при 50 Hz.

¹ В. М. Никитин. Сдвиг железа ротора—причина низкого $\cos \varphi$ электродвигателя, Промышленная энергетика, № 4—5, 1945.

² Номинальные данные двигателя Р42-4: 5,8 kW, 220/380 V, 20,8/12 A, $\cos \varphi = 0,86$, $\eta = 85\%$, 1450 об/мин, 50 Hz.

Сводные результаты этих испытаний приводятся ниже³.

Холостой ход. Данные опыта холостого хода при номинальном напряжении приведены в табл. 1.

Таблица 1

Положение ротора	U_0 фазное	I_0	$I_{0\delta}$	I_{0f}	W_f	Примечание
I	220	4,86/100	3,48/100	1,38/100	184/100	Знаменатели дробей означают соответствующие величины в % к значению величин при нормальном положении ротора
II	220	5,09/105	3,53/102	1,56/113	184/100	
III	220	5,89/121	4,05/116	1,84/134	194/105	
IV	220	7,00/144	4,70/135	2,30/167	228/124	

Анализ этих данных свидетельствует о том, что ток холостого хода возрастает как за счет составляющей на зазор ($I_{0\delta}$), так и еще более резко за счет составляющей на железо (I_{0f}), а потери в железе заметно возрастают только при значительных сдвигах железа и при значительных напряжениях (начиная примерно с 75% номинального значения).

Чтобы приблизительно оценить величину коэффициента эквивалентности уменьшения сечения магнитопровода (в том определении, которое было указано выше), были произведены соответствующие подсчеты. Для данного значения тока холостого хода определялось соответствующее ему значение напряжения холостого хода для каждого положения ротора. Отношение напряжения холостого хода при данном положении ротора к напряжению холостого хода при нормальном положении ротора при одной и той же величине тока холостого хода (или намагничивающих ампервитков) прямо пропорционально соответствующим эффективным сечениям магнитопровода. Эти отношения приведены в табл. 2 как знаменатели дробей.

Как видно из данных табл. 2, процент уменьшения сечения магнитопровода для данного сдвига ротора представляет достаточно постоянную величину и в среднем составляет: при несовпадении пакетов на 2,8%—около 2%, при несовпадении на 9,5%—около 7,1% и при несовпадении на 15,2%—около 12,5%. Отношение

³ В дальнейшем данные, относящиеся к нормальному положению ротора, обозначены цифрой I, при сдвиге на 5 мм—II, при сдвиге на 12 мм—III, при сдвиге на 18 мм—IV.

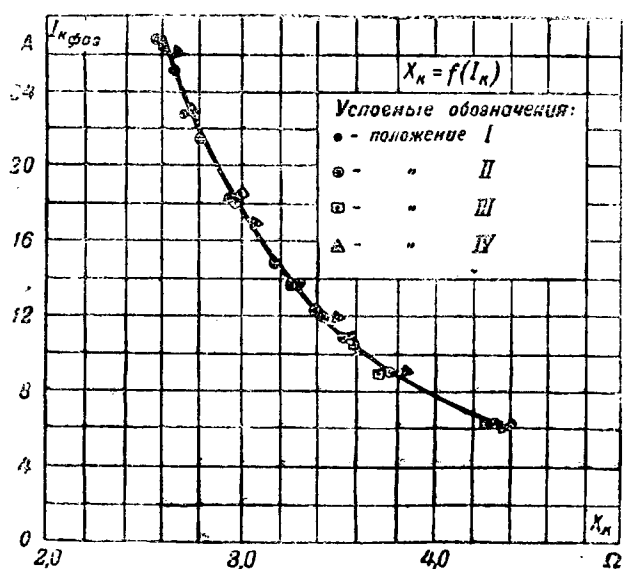


Рис. 1.

Таблица 2

I_0	$U_{0ф}$ при различных положениях ротора			
	I	II	III	IV
2,89	167/100	164/97,6	154,91,2	146,87,4
3,47	188/100	184,97,9	174,92,5	164,86,8
4,05	204/100	200/98	190,93,1	178,87,3
4,63	216/100	212/98,1	202/93,5	188,5,87,0
5,21	226/100	222/98,2	210/93,2	198,87,6
5,78	234/100	230/98,3	218/93,1	206,5/88,2
6,07	238/100	234,98,3	222/93,3	210,88,2

уменьшения сечения магнитопровода к относительному смещению, т. е. коэффициент эквивалентности уменьшения сечения магнитопровода, составляет соответственно: 0,715, 0,745 и 0,825.

Короткое замыкание. Из данных опытов короткого замыкания (рис. 1) следует, что аксиальный сдвиг ротора не влияет заметно на величину x_k и в среднем для всех положений ротора величина x_k может быть определена по следующей эмпирической формуле:

$$x_k = \frac{8,35}{\sqrt{I_k}} - 0,22,$$

обычной для этого типа двигателей с закрытыми пазами ротора.

Нагрузка. Увеличение тока холостого хода влечет за собой резкое снижение $\cos \varphi$ двигателей, в особенности при их недогрузке (рис. 2). Наблюдавшееся некоторое снижение скольжения

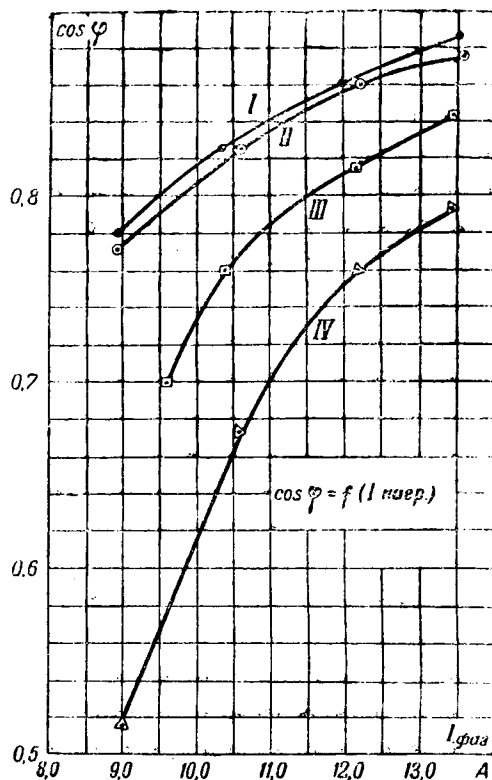


Рис. 2.

(при номинальном токе), естественно, объясняется увеличением тока холостого хода и уменьшением значения приведенного тока ротора.

Заключение. 1. Несовпадение пакетов ротора и статора по длине вследствие смещения ротора обуславливает резкое повышение тока холостого хода. В первом приближении можно считать, что каждый процент относительного осевого смещения пакетов эквивалентен уменьшению сечения магнитопровода на 0,8%. Смещение влечет за собой также и некоторое повышение потерь в железе.

2. Аксиальный сдвиг ротора на величину реактивного сопротивления (x_k) для данного вида двигателей не оказывает заметного влияния.

3. Повышение тока холостого хода обуславливает резкое снижение $\cos \varphi$ двигателей, особенно при недогрузке.

4. Несовпадение пакетов ротора и статора по длине представляет собой серьезный дефект и поэтому как при изготовлении двигателей, так и при их установке и эксплуатации, правильное положение пакетов железа должно строго контролироваться.



К проблеме расхода металла и снижения потерь электроэнергии в электрохозяйстве СССР

(Электричество, № 6, 1946)

В связи со статьями проф. П. Г. Грудинского „О потерях энергии и затратах цветного металла в электросистемах“, доктора техн. наук, проф. В. А. Трапезникова и доктора техн. наук Ю. С. Чечета „Оптимальные асинхронные двигатели“, инж. С. И. Рабиновича „Условия соразмерности и коэффициент полезного действия трансформаторов“ и доктора техн. наук, проф. А. А. Глазунова „Определение сечений проводов воздушных линий и жил кабелей“, редакция получила много откликов. Ниже публикуется часть этих откликов, отражающих мнения работников министерств, научных учреждений, проектных организаций и предприятий. Продолжение дискуссии последует в одном из ближайших номеров журнала. Редакция рассчитывает, что в дискуссии примут участие работники Министерства электропромышленности СССР, до сих пор не отозвавшиеся на вопросы, поставленные в обсуждаемых статьях.

Член-корр. Академии наук СССР И. С. БРУК

В статьях, опубликованных в журнале „Электричество“, № 6, 1946 г., поднят важный вопрос о нормировании потерь в электрических системах и о целесообразном распределении проводниковых материалов между различными звеньями системы.

В содержательной статье проф. П. Г. Грудинского имеется обширный статистический материал, обработка которого привела автора к ряду заслуживающих внимания выводов. Наиболее существенным является вывод о необходимости придерживаться принципа дробления подстанций и глубокого ввода напряжений 110 и 35 кВ. Этот принцип, находящий все более широкое применение в электрохозяйстве США, при заводском производстве комплектных подстанций может дать значительное снижение расхода меди и стоимости подстанций и сетей. Также рациональным представляется введение промежуточных напряжений, в особенности 3 кВ для электродвигателей. Хочется отметить, что конструктивные предложения в статье П. Г. Грудинского хорошо аргументированы.

Вопросу об определении экономической плотности тока, которой следует придерживаться при расчете сетей, посвящена статья проф. А. А. Глазунова. Возможно, что отсутствие установленной и обоснованной методики выбора сечений проводов как-то повлияло на увеличение потерь. Однако, причина больших потерь, повидимому, гораздо проще. Автор пользуется несколькими видоизмененной (но в принципе той же) формулой Кельвина для определения оптимального сечения и предлагает проводить технико-экономические расчеты в денежном выражении, в противовес имевшим хождение «эквивалентам». Вряд ли можно было бы возражать против такой постановки вопроса, если бы цены всегда действительно отражали фактическую стоимость.

Расходы мало изменяются при небольшом отклонении от оптимального сечения и поэтому рекомендуется брать сечение меньше оптимального. А. А. Глазунов вводит коэффициент $\alpha = 0,5-0,6$, корректирующий первоначальный результат. Если из расчета получается по той или иной причине неприемлемый результат, то это может быть потому, что в формуле не учтены существенные обстоятельства, либо потому, что исходные данные неверны. Недостоверность исходных данных связана с вероятностью того или иного отклонения (ошибки). Если же заранее известно, что исходные данные преувеличены или преуменьшены, то они являются достоверными (с надлежащей поправкой). Таким образом, введение коэффициента $\alpha < 1$ не следует связывать с недостоверностью исходных данных. Суть дела заключается в другом. По первоначальной формуле получается неприемлемый результат, в самом деле, трудно

рекомендовать расточительное вложение меди ради выгод, которые скажутся через значительный промежуток времени. Нерационально вкладывать добавочную медь в сооружение, уже находящееся в условиях, близких к оптимальным, где это добавочное вложение дает малый эффект. Выгодно вложить эту медь в другое сооружение, находящееся дальше от оптимальных условий.

Такая постановка вопроса целесообразна тогда, когда ресурсы меди ограничены, что на самом деле имеет место. В цене меди это обстоятельство не находит отражения.

Около 3 млн. кВт из 11,7 млн. кВт, которые будут введены в ближайшее пятилетие, были бы предназначены только для покрытия потерь мощности в системах. Поэтому вполне естественно, что снижение потерь в двигателях и трансформаторах связывается с экономией от освобождающейся мощности станции. Почему же не учитывается стоимость установленной мощности, предназначенной для покрытия потерь в сетях? Если принять во внимание это обстоятельство, то можно установить верхнюю границу плотности тока, исходя из минимума капитальных затрат на сооружение станций и сетей. От этого значения можно отступить в сторону дальнейшего снижения ради уменьшения эксплуатационных расходов. По данным статьи проф. П. Г. Грудинского потери мощности в сетях составляют 16,7%, расход меди 39 кг/кВт. Если взять стоимость меди 4 руб. за 1 кг и стоимость станции 1 500 руб. за 1 кВт, то потери мощности для минимальных капитальных затрат составили бы

$$P_{\%} = \sqrt{\frac{16,7 \cdot 4 \cdot 39}{15}} \approx 13,2.$$

Расход меди увеличился бы на 27% (около 49,5 кг/кВт) и плотность тока составила бы

$$S_{\max} = \sqrt{\frac{132}{1,27 \cdot 39 \cdot 0,22}} \approx 3,5 \text{ A/mm}^2.$$

Это лишь грубо ориентировочные цифры, для уточнения которых необходимы достоверные исходные данные. Рекомендуемые техническим отделом Министерства электростанций плотности тока близки к указанному выше значению 3,5 A/mm², если экстраполировать их для $T_{\max} = 0$. Целесообразно также и для двигателей установить верхнюю границу допустимых потерь, исходя из минимума капитальных затрат на систему.

В. А. Трапезников и Ю. С. Чечет ведут расчет, исходя из минимума расхода за 5 лет. Результат близок к вычисленному, исходя из минимума капитальных затрат ($T=0$).

Учитывая, что стоимость электростанций будет в дальнейшем существенно снижена, можно предположить, что установленные, исходя из этих соображений, нормы потерь в двигателях окажутся достаточно близкими к оптимальным.

Инж. А. Б. КРИКУНЧИК

Теплоэлектропроект

В проектной практике наблюдается много случаев, когда в разработанных проектах предлагаются решения, экономные по расходу цветных металлов, но вызывающие большие потери электроэнергии. В одном, например, случае вложение нескольких тонн меди дало бы возможность сэкономить до 250 тыс. кВт·ч ежегодно на каждую тонну дополнительно расходуемой меди. Таким образом, значение проблемы, разбираемой в указанных выше статьях, огромно.

Предлагаемые в статьях проф. П. Г. Грудинского и проф. А. А. Глазунова решения вопросов выбора экономических плотностей тока для линий электропередачи не могут быть названы удовлетворительными. Стремление доказать, что плотность тока должна выбираться без учета дефицитности цветных металлов по наименьшим эксплуатационным расходам, не выдержано в полной мере самими авторами статей. А. А. Глазунов, критикуя метод определения сечения проводов в воздушных линиях, основанный на эквиваленте между затратами проводникового металла и потерями, при выводе формулы для определения наимыгоднейшего сечения проводов вводит, по существу, произвольный коэффициент 0,5—0,6, приводящий к результату, почти вдвое меньшему, чем это получается по формуле, исходя из минимальных ежегодных эксплуатационных расходов. Этим коэффициентом А. А. Глазунов, по существу, вводит поправку на дефицитность цветных металлов. В статье П. Г. Грудинского вычислена экономическая плотность тока по формуле Кельвина, исходя из условий наименьших эксплуатационных расходов, но при этом плотности тока получились настолько малыми, что автор статьи в заключение предлагает не руководствоваться ими. Таким образом, хотя в обеих статьях не рекомендуется учитывать факта дефицитности цветных металлов, все же в своих практических предложениях, авторы эти факторы учитывают. Нельзя считать, что в настоящее время дефицитность цветных металлов можно вообще не учитывать. Поэтому предложенный Теплоэлектропроект в 1939 г. метод определения сечения проводов воздушных линий, основанный на эквиваленте между затратами проводникового металла и потерями электроэнергии, является в настоящее время практически наиболее правильным. Этот эквивалент был установлен, однако, в значительной степени произвольно. Такой вопрос должен был бы решаться на основании достаточно глубоких технико-экономических исследований.

Уменьшение потерь электроэнергии не всегда связано с увеличением расхода цветных металлов. П. Г. Грудинский совершенно правильно указывает, что целый ряд технических мероприятий, не снижающих надежность электроснабжения, позволит добиться серьезного уменьшения потерь электроэнергии при одновременной экономии в расходе цветных металлов. Наиболее эффективным средством в этом отношении является переход к более высоким напряжениям. Наши крупнейшие энергосистемы — Мосэнерго, Ленэнерго, Донбассэнерго и Уралэнерго развились настолько, что напряжение 220 кВ должно находить в них широкое применение.

Высокая стоимость подстанций 220 кВ, на которую ссылаются пропагандисты применения этого напряжения, в значительной мере определяется так называемыми «постоянными расходами» на сооружение этих подстанций, т. е. расходами, не зависящими от мощности устанавливаемых трансформаторов и числа линий 220 кВ (центральные ремонтные мастерские, лаборатории для энергообъединений, крупные жилые дома и другие объекты культурно-бытового строительства).

Если же правильно оценить затраты на линии и подстанции 220 кВ, то выгодность применения напряжения 220 кВ с точки зрения уменьшения по-

тер при передаче крупной мощности на значительное расстояние становится совершенно очевидной.

Применение напряжения 110 кВ вместо 35 кВ и напряжения 150 кВ вместо напряжения 110 кВ часто не дает экономии в цветных металлах из-за того, что минимальное сечение провода линий электропередачи ограничивается по условиям потерь на корону. Между тем, в заграничной практике за последние годы нашли широкое применение специальные конструкции проводов, имеющие большой внешний диаметр при высокой механической прочности и малом расходе цветных металлов. В США наряду с сталеалюминиевыми проводами нашли широкое применение пустотелые медные провода сечением от 60 мм² и стальобмедненные провода для силы тока от 80—90 А и выше. Применение таких проводов, а также более широкое применение одноствоечных деревянных опор позволяет строить дешевые линии электропередачи на 35, 60 и 110 кВ.

Препятствием к широкому применению глубоких выводов высокого напряжения, позволяющих достигнуть очень большой экономии цветных металлов и уменьшить потери электроэнергии, является отсталость техники производства на наших кабельных заводах. Современная техника производства изолированных кабелей для напряжений 35, 60 и 110 кВ достигла такой степени совершенства, что кабели на такие напряжения стали настолько же доступны и надежны в эксплуатации, как и кабели на напряжения 6 и 10 кВ. Развитие производства (наряду с маслонаполненными кабелями) газонаполненных кабелей, маслоэластических кабелей, кабелей под давлением газа позволит во всех встречающихся на практике случаях найти рациональное и экономически выгодное решение.

Применение выключателей большой разрывной мощности для напряжений 35 и 110 кВ делает подстанции очень дорогими, заставляет укрупнять их и распределять энергию на более низком напряжении. Нужно обеспечить выпуск плавких предохранителей большой разрывной мощности, нашедших особенно широкое применение в технике в годы войны. Наличие таких предохранителей позволяет строить дешевые подстанции высокого напряжения на небольшие мощности и тем самым в максимальной мере приблизить ввод высокого напряжения к месту потребления электроэнергии.

Инж. С. И. Рабинович в своей статье указывает, что трансформаторы американских фирм имеют потери примерно на 25—30% меньше, чем наши трансформаторы, в связи с применением в США холоднокатаной стали, имеющей потери на 40% меньше, чем наши стали. Между тем, известно, что западно-европейские фирмы без применения холоднокатаной стали получают в трансформаторах потери на 20% меньше, чем в наших трансформаторах. Таким образом, дело не только в холоднокатаной стали, и, очевидно, наши заводы должны работать и в других направлениях, чтобы добиться уменьшения потерь в трансформаторах.

Более широкое применение трехфазных трансформаторов (до самых больших мощностей) вместо групп из однофазных трансформаторов должно также привести к экономии расхода материалов и к уменьшению потерь в трансформаторах. Опыт мировой техники подтверждает это. При широком внедрении трехфазных трансформаторов надежная эксплуатация может быть обеспечена (даже в случае однотрансформаторных подстанций) путем применения резервных передвижных трансформаторов, всегда готовых к включению в работу. Как известно, такие передвижные трансформаторы теперь широко применяются до самых высоких напряжений (220 кВ) и самых больших мощностей (100 MVA).

Конструкции трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой были освоены Московским трансформаторным заводом им. Куйбышева еще за несколько лет до начала войны, производство же таких трансформаторов было крайне ограниченным. В то же время широкое применение трансформаторов с переключением под нагрузкой и специальных регулировочных трансформаторов для продольного и поперечного регулирования в широко разветвленных сетях имеет большое значение в деле повышения качества работы наших энергосистем и уменьшения потерь в них. Необходимо перейти практически к самому широкому выпуску нашими заводами трансформаторов с переключением напряжения под нагрузкой. С точки зрения задачи экономии цветных металлов и

уменьшения потерь электроэнергии большое значение имеет применение пожаробезопасных трансформаторов — с негорючей жидкостью (пираниловых) и сухих трансформаторов. Такие трансформаторы позволяют осуществить ввод высокого напряжения к центру нагрузки внутри производственных помещений. Сухие трансформаторы строятся теперь до мощности в 4 тыс. kVA.

Предложение П. Г. Грудинского об установлении стандартного напряжения 17,5 kV следует считать неудачным. У нас имеется несколько энергосистем, где применено напряжение 20 kV, и это напряжение допускается нашим стандартом для существующих установок. Напряжение 20 kV в 3 раза меньше напряжения 35 kV, что также является его достоинством. Поэтому нам представляется, что именно это напряжение 20 kV должно быть узаконено как номинальное напряжение. Вместо напряжения 60 kV в качестве номинального напряжения следует рекомендовать напряжение 62 kV, как находящееся примерно в отношении 3 раз к напряжениям 35 и 110 kV.

Инж. Я. М. БОЛЬШАМ

Главэлектромонтаж

Министерство строительства предприятий тяжелой индустрии СССР

Необходимо дополнить положения в статье П. Г. Грудинского в отношении систем распределения энергии внутри промышленных установок.

Как известно, более $\frac{2}{3}$ всей генерируемой в СССР электрической энергии потребляется для промышленных целей. Поэтому даже малое сокращение потерь в электроустановках промпредприятий может дать значительный народнохозяйственный эффект, который в первую очередь должен быть достигнут такими новыми техническими решениями, которые одновременно с экономией электрической энергии на потери дадут также и экономии в затрате дефицитных цветных металлов и электроаппаратов.

Прежде всего мы имеем в виду глубокий ввод высокого напряжения на территорию промышленных установок, при котором крупные подстанции получают питание на напряжения 110—35 kV. Потери на трансформацию энергии в этом случае снижаются за счет уменьшения числа ступеней трансформации; энергия подается к потребителю при более высоком напряжении и распределительные сети, требующие, как правило, большой затраты цветного металла, резко сокращаются в длине.

Применение, например, подобного ввода 154 kV на Запорожском металлургическом заводе для питания крупной подстанции, распределяющей энергию в районе прокатных цехов, могло бы дать экономии около 200 т проводниковой меди при одновременной экономии 2,5% потребляемой электроэнергии.

Такое же гармоничное решение, дающее экономии на потерях и в затрате цветного металла, достигается при внедрении магистральной системы питания промышленных установок от воздушных линий передачи при напряжении 35 kV. В этом случае питающая линия электропередачи 35 kV пересекает территорию промпредприятия, а от нее помощью отпайек, осуществляемых разьединителями мощности и высоковольтными предохранителями, получают питание отдельные трансформаторы 35/6 kV и 35/0,4 kV, устанавливаемые открыто в непосредственной близости от потребителей. Отсутствие разьединителей мощности и надежных предохранителей на 35 kV с достаточной разрывной мощностью лишьает возможности использовать в настоящее время эту рациональную систему для тех заводов, для которых прохождение линий электропередачи по территории не вызывает особых препятствий.

В части внутрицехового распределения энергии широко проводимый в настоящее время организацией Главэлектромонтаж принцип дробления подстанций экономично решает вопрос затраты цветных металлов при минимальных потерях электрической энергии в сетях. Однако, конструктивные формы, в которые приходится облекать подстанции в виде сооружения небольших зданий внутри или вне производственных корпусов или приспособления соответствующих конструкций масляных транс-

форматоров и других высоковольтных аппаратов для открытой установки внутри цехов, являются настолько громоздкими, неудобными и трудоемкими, что справедливо вызывают нарекания монтажных и эксплуатирующих организаций.

При наличии так называемых комплектных трансформаторов и преобразовательных подстанций заводского изготовления, установка таких подстанций внутри цехов в непосредственной близости от центра нагрузки приемников может быть легко осуществлена.

Следует заметить, что главное управление Министерства электропромышленности СССР не принимает эффективных мер к серийному освоению комплектных подстанций.

Такая же неправильная позиция занимает в вопросе быстрого серийного производства флюоресцентных ламп, хотя общеизвестно, что применение флюоресцентных ламп для промышленных установок призвано бы к повышению уровня и качества освещенности производственных помещений при одновременной экономии в проводниковых материалах и в потерях энергии по сравнению с повсеместно распространенной у нас системой освещения лампами накаливания. Флюоресцентное освещение позволяет при том же расходе энергии повысить освещенность помещений в 3—3,5 раза, а при сохранении освещенности на том же уровне — снизить расход энергии в такой же степени по сравнению с освещением лампами накаливания.

Инж. Н. А. ЯВЛИНСКИЙ

Всесоюзный электротехнический институт

Надежность электродвигателя определяется конструкцией изоляции, коэффициентом заполнения паза обмотки и принятыми при проектировании допустимыми превышениями температур.

Изоляцию двигателей стремятся уменьшать в толщине, так как это повышает использование модели или повышает к. п. д. при постоянной мощности. В современных электродвигателях толщина пазной изоляции принята 0,5—0,6 мм. Существующими изоляционными материалами можно выполнить достаточно прочную конструкцию как в смысле электрическом, так и механическом.

Межвитковая изоляция имеет особенно большое значение. Коэффициент использования полезной площади меди с изоляцией, для диапазона диаметров меди 0,5—1,5 мм, изменяется от 0,68 до 0,73, что заставляет повышать коэффициент заполнения паза. С другой стороны, электрическая и механическая прочность витковой изоляции однозначно определяет надежность двигателя. Замыкание витков в пазу является, как известно, причиной массового выхода двигателей из строя в эксплуатации, так же как в производстве, — это наиболее часто встречаемый вид брака.

Нагрев двигателя приводит к старению и последующему разрушению изоляции. Нормы допустимых превышений температуры обмоток основаны на многочисленных и долговременных опытах. Установлено, что долговечность службы изоляции в зависимости от нагрева определяется логарифмическим законом. По данным Schenker долговечность в 60 000 рабочих часов, т. е. 10 лет по 300 дней и 20 рабочих часов, обеспечивается при рабочей температуре 100°. По кривой старения видно, что для изоляции класса А повышение рабочей температуры со 100° до 110° С сокращает срок службы до 40 000 час., а снижение рабочей температуры до 80° С дает удлинение службы до 110 000 час.; последнее лишнее смысла, так как моральный износ двигателя наступает намного раньше.

Из этих кратких замечаний позволим сделать следующий вывод: повышения надежности и долговечности двигателя можно достигнуть только усовершенствованием изоляции (пазной и межвитковой), выбором оптимального коэффициента заполнения паза и усовершенствованием технологии обмотки и контроля ее качества на электромашиностроительных заводах. Снижение рабочей температуры против принятых ГОСТ 183-41 не даст никаких реальных результатов, а приведет только к ничем не оправданному перерасходу меди.

Авторы статьи «Оптимальные асинхронные двигатели» рекомендуют увеличить вес современных двигателей на величину от 38 до 95% в диапазоне мощностей 1—50 kW, хотя веса оптимальных двигателей должны быть, по их расчетам, в 3 раза тяжелее современных. Однако, нельзя забывать весьма существенный вопрос, спущенный авторами. Речь идет о затратах труда на производство двигателя. Опытные данные поточного производства двигателей МА-200 (от 13 до 48 kW при $2p=4$) показывают, что затраты труда на 1 kg веса машины растут быстрее, чем увеличение общего веса машины. Таким образом, первым и самым ощутительным результатом увеличения веса будет увеличение, по крайней мере вдвое, количества рабочих, занятых в производстве электродвигателей. Мы не затрагиваем вопроса о необходимости дооборудования заводов подъемно-транспортными сооружениями, частичной замены оборудования и т. д.

Во имя чего же требуются такие жертвы? Обратимся к табл. 3, помещенной в статье проф. П. Г. Грудинского. Потери энергии в двигателях составляют 9% от всей выработанной энергии. Мощность двигателей до 29 kW составляет 38% мощности всех установленных двигателей и, значит, потери энергии в этой группе составляют около 3,5% от всей выработанной энергии. Среднее значение к. п. д. двигателей в этом диапазоне мощностей примем 85%. Таким образом, 15% потерь в двигателях составляют около 3,5% всей выработанной мощности. Предлагается повысить к. п. д. на 3,8—0,7%. Примем, что необходимое повышение к. п. д. для двигателей мощностью до 29 kW в среднем равно 3%. Таким образом, необходимо вдвое увеличить трудоемкость и затраты материала на производство двигателей взамен снижения потерь мощности на 0,7%. Эта цифра нами сознательно повышена, так как все данные, использованные здесь, приняты с некоторым преувеличением.

К этому необходимо добавить, что повышение номинального значения к. п. д. еще не есть повышение к. п. д. системы, так как выбор двигателей производится с запасом мощности, а их нагрузка не всегда соответствует 100% мощности. Более важным, в смысле снижения потерь энергии, является повышенное значение к. п. д. при частичных нагрузках. Весьма актуальным является вопрос об уменьшении дополнительных потерь. В отдельных исполнениях серии МА-200 дополнительные потери значительно превосходят принятые значения. Этот резерв экономии мощности не требует столь крупных материальных затрат, а его использование даст экономию энергии того же порядка.

Двигатели серии АД и МА-200 имеют ряд общеизвестных недостатков: а) эти двигатели обладают недостаточными пусковыми моментами, что затрудняло пуск и зачастую приводило к необходимости применять двигатели большой мощности; б) в отдельных исполнениях двигателей серии АД и МА-200 были конструктивные дефекты.

Бесспорно, что в новых сериях эти недостатки должны быть устранены. Но этого мало. Задача улучшения двигателей общего применения не может и не должна решаться однобоко, путем огульного повышения веса.

Нашим инженерным и научным кадрам вполне под силу задача создания электродвигателей с высокими эксплуатационными и экономическими показателями. Для этого необходимо решить ряд давно известных, но нерешенных пока задач (исследования высших гармоник поля, распределения тепловых градиентов, уменьшения дополнительных потерь и т. д.), а также взвешивать и настойчиво работать над улучшением конструктивных форм и технологии производства.

Кандидат техн. наук Б. Б. ГЕЛЬПЕРИН

Московский трансформаторный завод
им. Куйбышева

Коэффициент полезного действия электрических машин и трансформаторов, изготавливаемых нашей электропромышленностью, сравнительно низок. Сильное повышение магнитной индукции и плотности тока в трансформаторах диктовалось, вопреки условиям экономичности, дефицитностью цветного металла и электротехнической стали в связи с необходимостью выпускать большое количество трансформаторов. Как показали расчеты, проектирование трансформаторов проводилось правильно. Максимальный среднегодовой к. п. д. указывает на правильный выбор соотношения потерь холостого хода и потерь короткого замыкания, а следовательно, правильно выбиралось и соотношение между магнитной индукцией B в магнитной цепи и плотностью тока j в обмотках.

Соотношения постоянных потерь энергии и напусочных (переменных) потерь 46 и 54% (по данным Булгакова) и 53 и 47% (по данным Баранова) свидетельствуют о том, что наши трансформаторы работают на точке максимального среднегодового к. п. д.

Непонятно поэтому утверждение проф. П. Г. Грудинского о том, что принятые соотношения потерь в трансформаторах неправильны, тем более, что это утверждение он ничем не подкрепляет. Таким образом, можно констатировать, что ГОСТ 401-41 в части соотношения потерь холостого хода и потерь короткого замыкания не подлежит пересмотру, однако сами величины этих потерь являются высокими и безусловно нуждаются в снижении.

К задаче снижения потерь можно подойти по-разному. Можно пойти по пути большего вложения в трансформатор активных материалов. Если поставить задачей снижение потерь на 20%, то потребуются почти удвоить количество активных материалов. Вряд ли нужно доказывать, что такой метод решения задачи повышения к. п. д. трансформаторов будет неправильным. Не говоря уже о расходе металла, увеличение веса трансформаторов усложнит их перевозку, в особенности для единиц большой мощности, и вызовет удорожание строительства подстанций.

Второй путь — применение в трансформаторах материалов повышенных качеств. Наши трансформаторы изготавливаются из стали с большими удельными потерями (на 20—30% выше, чем за границей). Применение холоднокатаной стали, имеющей низкие (почти вдвое меньше) удельные потери при высокой (на 30% выше) магнитной проницаемости, может дать большие выгоды. В этом случае повышение индукции не лимитируется намагничивающим током, благодаря чему можно обойтись без повышения веса трансформатора и получить значительное повышение к. п. д.

Работы, проведенные в настоящее время лабораториями Верх-Исетского завода в части металлургии стали и Московского трансформаторного завода в части применения стали в трансформаторостроении, а также в области специального конструирования магнитопроводов и технологической обработки стали, показали правильность постановки вопроса о применении холоднокатаной стали. Уже получены опытные партии стали удовлетворительного качества и изготовлены опытные однофазные магнитопроводы. В настоящее время ведутся работы по конструированию трехфазных магнитопроводов из холоднокатаной стали.

В заключение следует отметить, что увеличение стоимости трансформаторов вследствие применения более дорогой стали безусловно окупится в течение одного-двух лет эксплуатации трансформаторов.



Александр Григорьевич Столетов

(1839—1896)

К 50-летию со дня смерти

Проф. А. К. ТИМИРЯЗЕВ

Московский государственный университет им. Ломоносова

Исполнилось пятьдесят лет со дня смерти одного из великих русских ученых—Александра Григорьевича Столетова. Столетов был первым, кто по праву выступал от имени русских физиков на международных конгрессах. Его заслуги перед наукой далеко не исчерпываются блестящими научными исследованиями, стяжавшими ему славу за пределами нашего отечества, и выступлениями на международной арене. Преодолевая громадные трудности, А. Г. Столетов, впервые в стенах Московского университета, создал физический практикум для студентов—специалистов физиков и первую лабораторию для научных физических исследований. Александр Григорьевич поставил лекции по общему курсу физики и неразрывно связанные с ними лекционные демонстрации в уровень, а в отдельных случаях и много выше, лучших европейских образцов того времени. Его лекции получали особенное значение благодаря его исключительному таланту—таланту научного критика. Он с изумительной проницательностью схватывал слабые, недостаточно доказанные положения, даже в очень крупных исследованиях, направляя на них огонь своей остроумной, часто беспощадной критики. Это, конечно, навлекало на него немало неприятностей и создавало ему врагов, но в то же время это сообщало его лекциям совершенно особую прелесть и вместе с тем прививало слушателям умение критически усваивать основы физики. Вот почему поколения студентов, прослушавших общий курс физики Александра Григорьевича Столетова, потом с гордостью причисляли себя к его ученикам.

А. Г. Столетов, можно сказать, всю жизнь отдал Московскому университету; он бессменно состоял в числе профессоров университета в течение тридцати лет: с 1866 г. вплоть до безвременной кончины, в возрасте 57 лет, в ночь с 14 на 15 мая (старого стиля) 1896 г.



Александр Григорьевич происходил из старинной купеческой семьи, переселенной по царскому указу «за крамолу» из Новгорода во Владимир на Клязьме.

А. Г. Столетов получил хорошее домашнее образование: он прекрасно изучил французский, немецкий и английский языки, на которых свободно говорил с хорошим произношением. Кроме того, он еще до поступления в среднюю школу знал чуть не наизусть многие творения наших великих мастеров слова. Это отразилось впоследствии на всем, что он писал, и особенно на блестящих по содержанию и по форме его общедоступных очерках. Небрежное отношение к чистоте русского языка в речи или в письме вызывало в нем сильное

негодование и раздражение. С успехом закончив курс средней школы, Александр Григорьевич в 1856 г. поступил на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета, курс которого был им с большим успехом закончен в 1860 г. По окончании университетского курса А. Г. Столетов, как один из лучших студентов, был послан в заграничную командировку и благодаря получению частной стипендии и оказанной старшим братом Василием Григорьевичем¹ материальной помощи провел за границей три с половиной года. Это оказало большое влияние на всю его дальнейшую деятельность. В эти годы пребывания за границей он сначала работал у Магнуса, в его частной лаборатории в Берлине, затем несколько месяцев занимался в

¹ В. Г. Столетов, помогавший по обычаям тогдашней патриархальной купеческой семьи отцу в торговых делах, единственный из братьев и сестер Александра Григорьевича не получил не только высшего, но даже законченного среднего образования. Однако, он оказал благотворное влияние на своих сестер и братьев, помогая им всем получить высшее образование. По семейным преданиям В. Г. Столетов был образованным человеком, достигшим этого самостоятельно, путем самообразования.

Геттингене у Вебера, а также в Париже, но большую часть времени провел в Гейдельберге у Кирхгофа. Знаменитый основатель спектрального анализа не раз отзывался о Столетове, как о лучшем своем ученике.

Преподавательскую деятельность А. Г. Столетов начал в Москве в 1866 г., в качестве доцента по теоретической физике. В 1871 г. Столетов должен был на несколько месяцев уехать в Гейдельберг для того, чтобы осуществить экспериментальную часть задуманной им докторской диссертации, так как в Москве ее выполнить было невозможно. Лишь после упорной борьбы Александру Григорьевичу удалось в 1872 г. создать при Московском университете лабораторию для научных исследований и для обучения студентов. И с того времени, т. е. с 1872 г., из стен Московской физической лаборатории вышли не только знаменитые «Актинно-электрические исследования» Столетова, стяжавшие ему мировую славу, но и целый ряд исследований многих физиков—учеников Столетова. В числе учеников А. Г. Столетова упомянем: Н. Н. Шиллера, Р. А. Колли, Н. А. Умова, П. А. Зилова, В. А. Михельсона, А. П. Соколова, Б. В. Станкевича, В. С. Щегляева.

В чем состояли научные труды Александра Григорьевича Столетова? Первая его диссертация — «Общая задача электростатики и ее приведение к простейшему случаю» имела теоретический характер. Вот как Столетов определил поставленную в ней задачу.

«В предлагаемом труде рассматривается задача о равновесии электричества на проводниках в его общем виде: берется произвольное число проводников, сплошных или полых, в присутствии произвольного комплекса неподвижных электрических полюсов. Можно доказать, что и в общей форме задача об электрическом равновесии допускает решение, и притом только одно, так же, как это имеет место для случая одного проводника. Это обобщение знаменитой теоремы Гаусса, в несколько упрощенной форме, составляет начало нашей статьи. Далее в ней показано, каким образом с помощью некоторых синтетических соображений решение общего вопроса приводится к решению бесчисленного ряда задач более простого типа. В каждой из таких элементарных задач дело идет лишь об одной замкнутой (проводящей) поверхности, притом в изолированном состоянии».

После того как эта работа была закончена, появилась работа Липшица на ту же тему. Однако, у Столетова дано более полное решение задачи. Им найдено доказательство сходимости бесконечных рядов, получающихся при решении общей задачи, а главное подробно разработано ближайшее и наиболее важное применение его метода к общей теории шарообразных проводников, что совершенно отсутствует у Липшица. Это первое большое теоретическое исследование показало блестящие способности А. Г. Столетова как математика.

В качестве второй, докторской, Диссертации

А. Г. Столетов считал необходимым взять экспериментальное исследование, так как он совершенно основательно полагал, что невозможно стать настоящим физиком, не умея как следует экспериментировать. В качестве темы он выбрал по тому времени совершенно новую задачу о намагничении мягкого железа. Диссертация носила заглавие: «Исследование о функции намагничения мягкого железа». Функцией намагничения А. Г. Столетов называл то, что теперь носит название коэффициента восприимчивости. При исследованиях намагничивалось кольцо, сделанное из данного образца мягкого железа. Метод этот является теперь широко распространенным, но далеко не все знают, что этот метод впервые был экспериментально разработан Александром Григорьевичем Столетовым. Далеко не все знают, что Столетов первый доказал существование максимума в кривой, выражающей зависимость величины коэффициента восприимчивости и связанного с ним коэффициента магнитной проницаемости как функции внешнего намагничивающего поля. Более того, А. Г. Столетов, изучая работы своих предшественников, выполненные другим методом — методом намагничения эллипсоидов вращения, вскрыл в их числовых результатах переход восприимчивости через максимум, чего они сами не заметили. Вообще, Столетов обладал совершенно исключительной проницательностью. Приступая к изучению новой для него области явлений, он обычно сразу схватывал основные закономерности.

Мировую славу А. Г. Столетову доставили его классические актино-электрические исследования. Он впервые применил в этой области явлений (теперь они носят название фотоэлектрических) гальванометр, причем он заряжал освещаемые светом вольтовой дуги металлические полированные пластинки до потенциала: от нескольких вольт до 150—160. Схема, принятая в его исследованиях, была чрезвычайно простая: небольшая батарея, состоявшая из элементов Кларка, обладавших достаточно постоянной э. д. с., включалась через гальванометр между металлической сеткой и полированной цинковой пластинкой. Между сеткой и пластинкой оставался воздушный промежуток от нескольких долей миллиметра до нескольких миллиметров. Благодаря большому воздушному промежутку в цепи тока не наблюдалось. Но как только сквозь сетку освещалась светом вольтовой дуги цинковая пластинка, соединенная всегда с отрицательным полюсом батареи, сейчас же появлялся ток. Результаты этих классических исследований были с исключительной ясностью и точностью сформулированы А. Г. Столетовым в следующих 12 тезисах:

«1) Лучи вольтовой дуги, падая на поверхность отрицательно заряженного тела, уносят с него заряд. Смотря по тому, пополняется ли заряд и насколько быстро, это удаление заряда может сопровождаться заметным падением потенциала или нет.

2) Это действие лучей есть строго униполярное; положительный заряд лучами не уносится.

3) По всей вероятности, кажущееся заряде-ние нейтральных тел лучами объясняется той же причиной (это в дальнейшем подтвердилось, А. Т.).

4) Разряжающим действием обладают — если не исключительно, то с громадным превосходством перед прочими — лучи самой высокой преломляемости, недостающие в солнечном спектре ($\lambda < 295 \cdot 10^{-6}$ nm). Чем спектр обильнее такими лучами, тем сильнее действие.

5) Для разряда лучами необходимо, чтобы лучи поглощались поверхностью тела. Чем больше поглощение активных лучей, тем поверхность чувствительнее к их разряжающему действию.

6) Такой чувствительностью, без значительных различий, обладают все металлы, но особенно высока она у некоторых красящих веществ (анилиновых красок). Вода, хорошо пропускающая активные лучи, лишена чувствительности.

7) Разряжающее действие лучей обнаруживается даже при весьма кратковременном освещении, причем между моментом освещения и моментом соответственного разряда не протекает заметного времени. Этот факт установлен Столетовым с точностью до одной тысячной секунды (теперь это проверено до одной трехмиллиардной доли секунды, А. Т.).

8) Разряжающее действие *ceteris paribus* (при прочих равных условиях, А. Т.) пропорционально энергии активных лучей, падающих на разряжающую поверхность.

9) Действие обнаруживается даже при ничтожных отрицательных плотностях заряда; величина его зависит от этой плотности; с возрастанием плотности до некоторого предела оно растет быстрее, чем плотность, а потом медленнее и медленнее.

10) Две пластинки разнородных в ряду Вольты металлов, помещенные в воздухе, представляют род гальванического элемента, как скоро отрицательная пластинка освещена активными лучами.

11) Каков бы ни был механизм актино-электрического разряда, мы вправе рассматривать его как некоторый ток электричества, причем воздух (сам ли по себе или благодаря присутствию в нем посторонних частиц) играет роль дурного проводника. Кажущееся сопротивление этому току не подчиняется закону Ома, но в определенных условиях имеет определенную величину.

12) Актинно-электрическое действие усиливается с повышением температуры.

Это исследование А. Г. Столетова является одной из основных работ, на которых построено все современное учение о фотоэлектрических явлениях, имеющее разнообразнейшее применение в науке и технике.

А. Г. Столетов не ограничился приведенным обоснованием учения о фотоэффекте. В 1890 г. он, воспользовавшись этой же схемой, изучил

фотоэффект в разреженном воздухе. Им была найдена основная закономерность, показывавшая, что наибольший фотоэлектрический ток получается при давлении воздуха p_m , удовлетворяющем условию

$$\frac{p_m l}{E} = \text{const} \quad (a)$$

где l — расстояние между сеткой и металлическим диском, заряженным отрицательно, а E — электродвижущая сила батареек. Эта величина в мировой литературе до сих пор называется «постоянной или константой Столетова». Объяснение этому закону было найдено через 20 лет в 1910 г. в Англии Таунсендом. В его маленькой книжке «Ионизация через столкновение» (Ionisation by Collision) вся проверка предложенной им теории основана на «данных Столетова». Оказывается, что при условиях, указанных в «законе Столетова», на расстоянии l см (а) происходит наибольшее число отщеплений электронов от молекул, благодаря столкновению с летящими от металлической пластинки электронами, освобожденными из металла под действием лучей света.

Здесь опять сказалась изумительная способность Столетова схватить основную закономерность даже в такой области, где еще невозможно было построить теорию (существование электрона было установлено только через 7 лет после открытия А. Г. Столетовым его закона и через год после его смерти). Эту способность сам Столетов сравнивает с творчеством художника, умеющего одним взглядом уловить самое существенное в том, что он изображает кистью или пером. Такое сравнение творчества ученого с творчеством художника блестяще проведено А. Г. Столетовым в его последней публичной лекции: «Леонардо да Винчи, как естествоиспытатель» (Сочинения, т. II). Помимо захватывающего содержания она написана так, что может смело выдержать сравнение с творениями лучших мастеров слова.

С грустью приходится отметить, что этого передового ученого, мыслителя, пользовавшегося всемирной славой, не ценила только одна официальная царская Россия. Президент Академии наук князь Константин Константинович своей властью снял в 1893 г. кандидатуру А. Г. Столетова в академики, хотя он был единственным кандидатом, выдвинутым специальной комиссией Академии наук.

В ответ на этот дерзкий вызов, брошенный русской науке, ученый мир тогдашней России, собравшийся на съезде естествоиспытателей и врачей, встретил Столетова бурной овацией. Две тысячи членов съезда долго приветствовали своего великого ученого соотечественника. Александр Григорьевич был одним из тех, кто заложил прочный фундамент современной физики.



Единые графические символы в элементных схемах электропривода

Инж. Е. А. ЛЕЙБОВИЧ и инж. У. М. ЛИТВАКОВ

Центральное бюро стандартизации и нормализации Минкстерства электропромышленности СССР

По терминологии, рекомендуемой ГОСТ 2774-44 «Аппараты электрические низкого напряжения промышленного применения. Терминология», под элементными схемами понимаются электрические схемы, на которых указаны соединения между всеми элементами электрической установки или ее части. Расположение отдельных элементов на схеме, а также элементов аппаратов производится с учетом удобства чтения схемы, независимо от действительного расположения их в аппарате или установке.

Элементные схемы прочно укоренились в отечественной практике промышленного электропривода, несмотря на то, что они сравнительно недавно начали применяться ведущими заводами Союзной электропромышленности.

Условные графические обозначения, приведенные в ОСТ 7284-7292 издания 1934 г., не отразили особенностей исполнения элементных схем. Эти ОСТы также не учли специфических требований, предъявляемых к получившим большое распространение схемам электропривода и были построены на обозначениях коммутационных аппаратов и распределительных устройств. Таким образом, для большей части аппаратов, перечисленных в ГОСТ 2774-44, до сих пор нет установленных единых обозначений.

Ниже публикуется проект стандарта на условные графические обозначения для элементных схем электропривода, построенный на основе Американского национального стандарта ASA с учетом новых норм DIN, а также с учетом установившихся традиций и практики отечественной промышленности¹.

Сравнение некоторых символов проекта с символами, установленными другими стандартами, дано на рис. 1.

Пояснения к проекту стандарта. Основные требования, предъявляемые к исполнению условных графических обозначений, приведены в тексте публикуемого проекта стандарта. При составлении проекта, кроме того, были положены в основу следующие соображения.

А. Схема должна читаться так, чтобы можно было проследить все соединения глазами, не прибегая к указке или карандашу.

По образному выражению одного английского инженера «схема должна быть выполнена так, чтобы читающий ее сумел проследить все соединения, глядя на чертеж с завязанными за спиной руками».

Б. Элементные символы должны быть общими для разных конструктивных исполнений, если элементы выполняют одинаковые функции в электрической схеме.

В. Все символы должны быть отнесены к вытянутой в прямую линию электрической цепи. Прямая, по которой располагаются выводы, должна быть направленной. Для облегчения чтения схемы направление питания должно идти слева направо в горизонтальных цепях и сверху вниз в вертикальных цепях.

Г. Ввиду трудностей, связанных с соблюдением мнемонических правил при обращении с символами, не имеющими осей симметрии или центра симметрии, применение последних должно быть ограничено и оправдано особыми обстоятельствами.

¹ Проект разработан по заданию Главэлектромашипрора Министерства электропромышленности СССР, инж. Е. А. Лейбовичем.

Линейное обозначение в проекте ГОСТ	Изображение символов			
	По проекту ГОСТ	ASA Z 32.3 1943 г. и Z 32.11 1944 г.	ПЭК-40	ОСТ 7286-7289 и МЭК
2.1				
2.6				
3.1				
4.1				
4.5				
6.1				
7.1				
9.5				
12.2				

Рис. 1. Сравнительные обозначения некоторых стандартизованных символов.

2.1—Штепсельный контакт. 2.6—Троллейный контакт. 3.1—Контакт автоматического выключателя. 4.1—Нормально открытый оперативный контакт. 4.5—Контакты нормально-открытые с выдержкой времени перед открыванием. 6.1—Сопротивление активное, сопротивление активное и индуктивное. Общее обозначение. 7.1—Емкостное сопротивление. Конденсатор. 9.5—Тяговая катушка контактора, реле, автомата и т. п. 12.2—Элемент тепловой предохранительного устройства, воздействующий на контактную систему.

Д. Графический символ, изображающий разъемный контакт, должен давать мнемоническое представление о контактной паре.

Е. Все обозначения, определяющие механические связи, механическое воздействие, наличие экранов или оболочек, выполняются пунктирными линиями в отличие от электрических соединений, выполняемых сплошными линиями.

На рис. 2—4 приведены только основные символы проекта. Не включены некоторые символы с совершенно очевидным начертанием, как, например, обозначения электрического провода, пересекающихся электрических проводов (соединенных и несоединенных электрически), аккумуляторов и некоторые другие. Следует отметить, что в проект внесены символы, используемые в схемах электропривода в качестве второстепенных, между тем как в схемах проволочной связи и радиосвязи они являются основными (например, фотоэлементы, электронные лампы и т. д.). Такие символы следует сначала стандартизовать

в той области, где они служат для выполнения основных функций в схеме.

Ниже приводятся пояснения к отдельным символам.

1. Символ (1. 8) является совмещением символа (1. 6) с символом механической связи.

Символ (1.9) также является комбинированным: к основному обозначению провода добавляется символ, указывающий на механическое усилие.

2. Каждый из символов (3.1)—(3.7) состоит из обозначения двух зажимов, соединяемых соответствующей линией. Все эти символы несимметричны относительно прямой, на которой лежат выводы, а рубящие контакты не имеют и второй оси симметрии и поэтому при переходе от горизонтального символа к вертикальному должны соблюдать особые правила, оговоренные в проекте.

3. Символы (4. 1) и (4. 2) отвечают координационному стандарту военного времени, выпущенному ASA в 1944 г. По ОСТ 7284—7292 так же, как и по МЭК, схожий символ приписывался конденсатору.

Однако, уже по стандартам ASA 1933—1934 гг. для конденсатора в силовых цепях было принято другое обозначение, вошедшее также в отечественные Правила электрооборудования кораблей ПЭК-40. По достигнутому в США соглашению конденсатору приписывается символ, приводимый ниже, символ (7. 1), а утвердившееся во многих странах мира (США, Канада, Англия, СССР) обозначение оперативного контакта сохраняется с той разницей, что раотор между параллельными линиями, обозначающими контакт, расширяется до 0,8 от длины этих линий.

4. По стандарту ASA не делается разницы между символами контактов мгновенного действия и контактов с выдержкой времени. Контакты с выдержкой времени отмечаются буквами Т. О. или Т. С. (timed opening или timed closing). Для того, чтобы не загромождать схемы лишними буквами, можно, сохранив основные символы (4. 1) и (4. 2), ввести дополнительные знаки, указывающие на выдержку времени при размыкании и замыкании. Дополнительный знак представляет ломаную линию (уголок), изображаемую над основным символом. Уголок, обращенный книзу, определяет выдержку времени перед замыканием контактов, а уголок, обращенный кверху, — выдержку времени, перед размыканием контактов. (Усилие уголка, действующее всегда вниз, препятствует смыканию или раскрытию контактов). Для символов, поворачиваемых под углом 90° (в вертикальных цепях), уголки, обозначающие выдержку времени, показываются слева.

5. Контакты путевого контроля в отечественной практике обозначались особым символом, так же как и в схемах электропривода американских фирм. Однако, стандарт ASA не предусматривает особого символа для контактов путевого контроля (конечные выключатели и т. д.), а рекомендует ставить постоянные буквенные обозначения (LS — для конечных выключателей, т. е. начальные буквы двух слов: Limit Switch).

В проекте предлагается ввести для обозначения всех оперативных контактов, не имеющих электрически управляемого приводного органа, дополнительный знак. При этом облегчается чтение схемы; знак покажет, что не нужно искать катушку электромагнитного привода, электропневматического вентили и т. д. Этот знак представляет выносную пунктирную линию, которая может быть дополнена диаграммой замыкания контактов путевых аппаратов и т. п. Для контактов многоступенчатого контроллера пунктирная выносная линия совмещается с нулевым положением контроллера [символы (5. 4) и (5. 8)].

6. Символ (5. 8) для обозначения контактов многоступенчатого аппарата (контроллера, переключателя) заимствуется из стандарта ASA. В целях единого обозначения контроллеров барабанного типа и кулачковых контроллеров вводятся модифицированные символы (5. 5) и (5. 8), позволяющие построить простейшим способом элементную схему барабанного контроллера.

7. Предлагаемый в проекте базисный символ 6. 1 принят в 1943 г. согласно стандарту ASA для схем сильного тока и предложен согласительной комиссией для использования в других областях. По координационному стандарту ASA 1944 г. этот символ распространен на схемы во всех областях электротехники. Тот же символ рекомендован

нормами DIN 1940 г., а символ МЭК сохранен для сопротивлений к измерительным приборам.

8. Символ сопротивления с бесступенчатым регулированием (6. 3) является более общим, чем символ (271) ОСТ 7286 и относится не только к металлическим сопротивлениям, но и к угольным, водяным сопротивлениям и т. д. Поэтому специального символа для жидкостного сопротивления не вводится.

9. Символ (6. 4) служит для обозначения сопротивления со ступенчатым регулированием. Может быть допущено модифицированное исполнение для дистанционного регулирования (например, реостата, вынесенного на пульт управления). Могут быть также введены дополнительные символы, указывающие на автоматическое регулирование соответственно нормам DIN.

10. Символы для обозначения конденсатора (7. 1) и (7. 2) заимствованы из американского координационного стандарта ASA 1944 г., устанавливающего единое обозначение конденсаторов в схемах энергетик, привода и связи.

11. Символ (8.1) является общим для катушек с железным сердечником и для катушек без сердечников. Однако, для того, чтобы выделить особо катушки самоиндукции с железным сердечником, допускается нанесение дополнительно двух прямых линий под основным символом.

12. Для фазных обмоток предлагается использовать допускаемый в стандарте ASA символ (круг). Принятие этого символа позволяет указывать только выводные концы обмоток, не усложняя чертежа.

Так, например, предлагаемый символ (9. 4) позволяет не наносить трехфазных обмоток со средними выводами, а ограничиться только нанесением выводных концов, располагаемых в определенном порядке: слева — начало, справа — конец каждой фазы, по середине — средние выводы. Такое обозначение дает простое построение цепи однообмоточного многоскоростного асинхронного двигателя и т. п.

Катушки, не приводящие в действие контактной системы, а воздействующие на механизмы расцепления, защелки, тормозные тяги и т. д., — получают дополнительную пунктирную линию, аналогично той, какая предусматривается для контактов, не приводимых в действие от катушек.

13. Обозначения обмоток возбуждения электрических машин предложены в соответствии с указаниями стандарта ASA, но для построения символа указан угол 30°. Принятые в промышленности Союза обозначения не противоречат указанным обозначениям.

Для якорных обмоток постоянного и переменного тока используются символы ASA, являющиеся упрощениями символов, принятых МЭК и ОСТ 7284-7292. Для фазных якорных обмоток предлагается ввести обозначение, аналогичное обозначению фазных катушек аппаратов.

14. Для приемных цепей измерительных приборов используется обозначение, установленное МЭК. В отличие от принятого в обозначениях катушек аппаратов и машин присоединения проводов по диаметральной линии провода к измерительным приборам подводятся по линии, лежащей выше или ниже диаметра круга, как это принято в стандарте ASA.

В заключение считаем нужным отметить, что разработка данного стандарта является первым шагом в деле создания единого стандарта на графические обозначения в элементных схемах. В дальнейшем следует разработать проекты стандартов на графические обозначения в элементных схемах распределительных устройств и связи.

На базе графических обозначений для элементных схем должны быть построены полные графические обозначения электрических машин и аппаратов для принципиальных, монтажных и прочих электрических схем.

Содержание проекта стандарта². Проект стандарта состоит из систематизированной таблицы графических символов и правил, уточняющих их начертание (см. рис. 2, 3 и 4 и нижеприведенный текст).

* Отзывы по проекту направлять в редакцию журнала и непосредственно в Центральное бюро стандартизации и нормализации (ЦБСН) Главлэлектромашпрома Министерства электротехнической промышленности (Москва, 68, завод „Динамо“ им. Кирова, ЦБСН).

14		37		55	
141		41		61	
15		42		62	
16		43		621	
17		44		63	
18		45		64	
19		46		71	
21		47		72	
26		48		81	
261		51		82	
31		52		83	
33		53		86	
86		64		87	

Рис. 2.

1.4—Провод с ответвлением. 1.41—Провод с ответвлением (упрощенное обозначение). 1.5—Электрическое соединение проводов. 1.6—Зажим выводной (этот символ может опускаться при соединении элементов одного аппарата или группы аппаратов). 1.7—Заземление. 1.8—Зажим, совмещенный с механическим шарниром. 1.9—Соединение электрического, несущего механическую нагрузку (гибкий кабель и т. п.). 2.1—Штепсельный контакт. 2.6—Троллейный контакт. 2.61—Троллейный контакт. Упрощенное обозначение для цепи, вытянутой в одну линию, не требующее нанесения троллейных проводов (это обозначение может употребляться во всех случаях, когда троллей не секционированы). 3.1—Контакт автоматического выключателя. 3.3—Контакты рубящие. 3.6—Нормально—открытые контакты пусковой кнопки с самовозвратом. 3.7—Контакты нормально—закрытые кнопки "стоп" с самовозвратом. 4.1—Нормально—открытый оперативный контакт. 4.2—Нормально—закрытый оперативный контакт. 4.3—Импульсный нормально—открытый контакт. 4.4—Импульсный нормально—закрытый контакт. 4.5—Контакты нормально—открытые с выдержкой времени перед открытием. 4.6—Контакты нормально—закрытые с выдержкой времени перед закрытием. 4.7—Контакты нормально—открытые, с выдержкой времени перед закрытием. 4.8—Контакты нормально—закрытые, с выдержкой времени перед открытием. 5.1—Исполнительные контакты контактной системы, не имеющей приводного органа с электрическим управлением. 5.2—Контакты путевого выключателя, нормально—открытые. 5.3—Контакты путевого выключателя нормально—закрытые. 5.4—Контакт командо-контроллера, обособленный. 5.5—Допустимое обозначение для контактов, замыкаемых подвижным твердым или жидким мостиком любой формы, например: контактов, замыкаемых подвижным сегментом (барabanом), контактов ртутного выключателя и т. д. 6.1—Сопротивление активное, сопротивление индуктивное и активное. Общее обозначение. 6.2—Сопротивление с выводными зажимами. 6.21—Сопротивление с выводами. 6.3—Сопротивление с бесступенчатым регулированием. 6.4—Сопротивление со ступенчатым регулированием. 7.1—Емкостное сопротивление. Конденсатор. 7.2—Конденсатор переменной емкости. 8.1—Индуктивное сопротивление. Катушка самоиндукции. 8.2—Индуктивное сопротивление с бесступенчатым регулированием. 8.3—Индуктивное сопротивление со ступенчатым регулированием. 8.6—Цепи взаимной индукции. 8.7—Автотрансформаторная цепь.

Примечания к рисункам:

1. Наклонные линии символа (2.1) расположены под углом 45° к прямой, на которой лежат выводы (базисной прямой).
2. Радиус дуги, касающейся круга в символе (2.61) равен диаметру последнего.
3. Угол наклона линий в символе (3.3) к базисной прямой составляет 30°.
4. Расстояние между параллельными отрезками в символе (4.1) и производных от него составляет 0,8 от высоты отрезков.
5. Наклонные линии символов (4.5)—(4.8) и производных от них символов составляют угол 45° с базисной прямой.

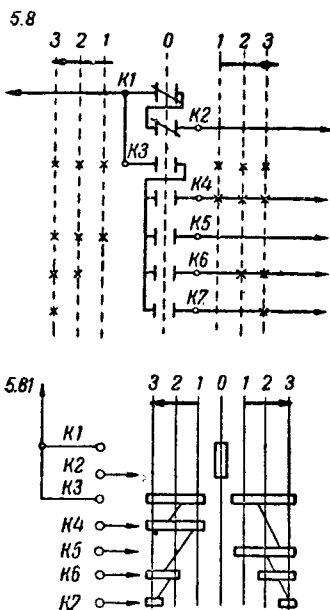


Рис. 3.

5.8—Контакты многоступенчатого барабанного контроллера в элементной схеме с указанием таблицы замыканий. 5.81—Контакты многоступенчатого барабанного контроллера в монтажной схеме с указанием плоской развертки цилиндрического барабана (диаграммы замыканий в символах 5.8 и 5.81 совпадают).

9.1		10.1		12.1	
9.2		10.2		12.2	
9.3		10.3		12.6	
9.4		10.4		12.7	
9.5		10.5		12.8	
9.6		10.6		13.1	
9.7		10.7		13.2	
9.8		10.8		13.5	
9.82		10.9		13.7	
9.9		10.9		13.8	

Рис. 4.

9.1—Катушка аппарата. Общее обозначение. 9.2—Однофазная обмотка. 9.3—Трехфазная обмотка. 9.4—Трехфазная обмотка с выведенными средними точками (с) и концами (к) каждой фазы. 9.5—Тяговая катушка контактора, реле, автомата и т. д. 9.6—Катушка тяговая с демпферной гильзой. 9.8 и 9.82—Катушки электромагнитов, не приводящих в действие контактных систем (катушки соленоидных приводов, вентилей, электромагнитных и электро-механических тормозов). 9.9—Дугогасительная катушка. 10.1—Обмотка возбуждения. Обмотка дополнительных полюсов, компенсационная обмотка. 10.2—Серийная обмотка возбуждения. 10.3—Шунтовая обмотка возбуждения. 10.4—Обмотка якоря электрической машины. Общее обозначение. 10.5—Обмотка якоря однофазная. 10.6—Обмотка якоря трехфазная. Обмотка статора короткозамкнутой асинхронной машины. 10.62—Обмотка якоря трехфазная с выведенными началом и концом каждой фазы. 10.64—Обмотка якоря трехфазная с выведенными началом (н) и серединой(с)каждой фазы. 10.7—Обмотки статора и ротора асинхронной машины с контактными кольцами. 10.9—Обмотка четырехщеточного якоря с двумя короткозамкнутыми щетками. 12.1—Предохранитель плавкий. 12.2—Элемент тепловой предохранительного устройства, воздействующий на контактную систему. 12.6—Разрядник. Общее обозначение. 12.7—Роговой разрядник. 12.8—Электролитический разрядник. 13.1—Измерительный прибор. 13.2—Приемная катушка измерительного прибора. 13.5—Термопара, датчик измерителя температуры. 13.7—Трансформатор тока измерительного прибора или реле. 13.8—Шунт измерительного прибора или реле.

6. Стрелки в символах (6.3), (6.4), (8.2), (8.3) наклонены к базисной прямой под углом 45°.
7. Стрелки в символе (7.2) наклонены к базисной прямой под углом 150°.
8. Углы между пересекающимися наклонными линиями в символах (9.1), (9.5), (9.6) и (9.8) составляют 60°.
9. Наклонные линии символа (9.9) составляют с базисной прямой угол 30°.
10. Углы между пересекающимися наклонными линиями в символах (10.1), (10.2) и (10.3) составляют 30°.
11. Диаметр наружного круга символа (10.7) в 1,5 раза больше диаметра внутреннего круга.
12. Высота прямоугольника (символ 12.1) в два раза меньше его длины. Внутренние отрезки отстоят от наружных вертикалей на расстоянии, равном 0,1 от длины прямоугольника.
13. Наклонные линии в символах (12.7) и (12.8) составляют угол 45° с базисной прямой.
14. Внутри контура символов (13.1) и (13.2) проставляются буквы русского алфавита, определяющие назначение прибора.
15. Наклонные линии символа (13.5) составляют угол 30° с базисной прямой.

1. Настоящий стандарт распространяется на обозначения основных элементов электрических цепей в элементных схемах электропривода, включая сюда и приводы, применяемые в электрической тяге.

2. Условные графические обозначения (рис. 2, 3 и 4) расположены по группам и снабжены десятичной нумерацией.

3. В стандарте приведены основные обозначения (символы). Для производных обозначений элементов, сходных с основными, но отличающихся назначением или какими-либо свойствами, должно быть использовано основное (базисное) обозначение. При этом допускается введение незначительных дополнений или усложнений в основной символ. Подобные изменения основного обозначения не должны противоречить характеру построения всего стандарта в целом.

4. Обозначения элементов приводятся вместе с выводами, расположенными горизонтально. Начало и конец обмоток и других элементов лежат всегда на одной прямой. Выводы фазных обмоток лежат на параллельных прямых.

5. Все стандартизованные условные обозначения могут быть повернуты на 90° по часовой стрелке (вертикальное обозначение). Символы, несимметричные относительно прямой, на которой лежат выводы, должны при переходе с «горизонтального» на «вертикальное» обозначение получать зеркальное отображение относительно этой прямой.

Символы, несимметричные относительно оси, перпендикулярной выводам, допускают исполнение, являющееся зеркальным отображением относительно этой оси.

6. Если в мнемонике символа содержится представление об усилии или движении, то срабатывание элемента, выражаемого символом, происходит при усилии или перемещении, направленном сверху вниз или слева направо.

7. Обозначение каждого элементарного символа может быть дополнено обозначением зажимов, располагаемых на выводах по обеим сторонам основного символа на произвольном расстоянии от него.

8. Все обозначения в настоящем стандарте выполнены условно линиями одинаковой толщины.

Элементы главной цепи должны обозначаться линиями более толстыми, чем элементы цепей управления.

9. При воспроизведении в схемах обозначений настоящего стандарта следует соблюдать пропорциональность между размерами линий, составляющих символы, и размерами отдельных символов.

10. Различные элементы одного аппарата или машины обозначаются общим буквенным и цифровым индексом. (Применяются прописные буквы русского алфавита. Цифровые индексы ставятся перед буквами или после них и имеют ту же величину, что и буквы).

Литература

1. ОСТ/ВКС 7284—7292. Обозначения графические условные для электрических схем сильного тока. Утверждены ВКС 20/VIII, 1934 г. Стандартгиз, 1936.

2. Правила электрооборудования кораблей ВМФ (ПЭК—40). Военмориздат, 1940.

3. Проекты решений Международной электротехнической комиссии по стандартизации электротехнических символов.

4. Графические символы для установок сильного тока. *Revue générale de l'électricité*, 1928, т. XXIV, № 1.

5. Стандарт США на графические символы для силовых установок, аппаратов управления и измерительных приборов, ASA, Z. 32. 3—1943.

6. Стандарт США. Координация графических символов, ASA, Z. 32. 11.—1944.

7. Графические символы для установок сильного тока, DIN—VDE, 709—717, 1940.



Научно-техническая сессия ВНИТОЭ по электрической изоляции

Доклады по теории и практическому применению диэлектриков

В сентябре 1946 г. в Ленинграде состоялась Всесоюзная научно-техническая сессия по электрической изоляции, организованная Всесоюзным научным инженерно-техническим обществом энергетики (ВНИТОЭ). В работе сессии приняло участие 260 представителей из 17 городов СССР—работники предприятий электропромышленности, энергосистем, высших учебных заведений и научно-исследовательских учреждений. Сессия заслушала и обсудила 15 докладов по вопросам теории и практического использования диэлектриков.

Открывая сессию, председатель Правления ВНИТОЭ член-корреспондент Академии наук СССР, проф. М. А. Шателен отметил особо важное значение вопросов электрической изоляции в современной электротехнике, сильноточной и слаботочной. Видное место заняли вопросы электрической изоляции на недавно состоявшейся в Париже международной конференции по сетям высоких напряжений мощных электросистем. В последнее время за границей состоялся ряд специальных съездов и конференций, посвященных электрической изоляции. М. А. Шателен отметил, что ВНИТОЭ организует несколько всесоюзных научно-технических сессий по различным отраслям энергетики и электротехники, и не случайно первой из этих сессий является сессия по вопросам техники электрической изоляции.

Первую часть докладов сессии составили доклады, обрисовывающие современное состояние теоретического изучения диэлектриков с физической и химической точек зрения и важнейшие успехи, достигнутые в этой области передовыми советскими учеными.

Член-корреспондент Академии наук СССР, проф. П. П. Кобеко представил сессии доклад на тему «Диэлектрические потери и строение твердых диэлектриков». Основная часть доклада была посвящена высокомолекулярным органическим соединениям (полимерам), которые подробно изучаются на протяжении ряда лет докладчиком и его сотрудниками. Органические полимеры имеют огромное значение для современной техники; сюда принадлежат вещества, образующие лаки, пластические массы, искусственные волокна, пленки и т. п. Многие полимеры широко используются в качестве материалов электрической изоляции. П. П. Кобеко отмечает, что для электрических свойств полимеров (диэлектрические потери, а также диэлектрическая проницаемость) весьма большое значение имеют дипольные свойства молекулы. У неполярных высокомолекулярных веществ $\text{tg } \delta$ чрезвычайно мал—он измеряется тысячными и даже десятичными долями. Поляризация этих полимеров имеет чисто электрическую природу; при возрастании температуры она убывает, причем ход ее соответствует ходу убывания плотности вещества за счет температурного расширения. Численно величина диэлектрической проницаемости ϵ весьма невелика (обычно в пределах $2 \div 3$). Благодаря этому неполярные полимеры являются весьма хорошими диэлектриками при частотах, вплоть до наиболее высоких, применяемых в современной технике; некоторые из этих веществ (полистирол, полибен и т. п.) с успехом используются для электрической изоляции в радиотехнике, в радиолокационных устройствах и т. п. Если же в составе полимера появляются полярные составляющие—безразлично, при вхождении полярного радикала в основную молекулу полимера, при совместной полимеризации полярного вещества вместе с неполярным, или, наконец, при совмещении неполярного полимера с полярным пластификатором,—появляется и меха-

низм поляризации за счет дипольной ориентации. Докладчик отмечает глубокую аналогию, существующую с точки зрения поляризации и потерь между твердыми дипольными полимерами, с одной стороны, и жидкими полярными диэлектриками, с другой стороны. Зависимость $\text{tg } \delta$ полярных полимеров от частоты характеризуется наличием резко выраженных максимумов, которые при повышении частоты сдвигаются в сторону повышения температуры.

П. П. Кобеко осветил далее свои работы по изучению электрических свойств смесей и совместных полимеров неполярных и полярных веществ при переменной концентрации составных частей.

Докладчик рассмотрел также особенности поляризации и диэлектрических потерь в кристаллах и неорганических стеклах.

В докладе доктора техн. наук, проф. М. М. Михайлова «Влияние влаги на электрические свойства органических электроизоляционных материалов» отмечалось большое практическое значение вопросов гигроскопичности электроизоляционных материалов и связи между количеством поглощенной материей воды, формой ее распределения внутри материала и другими факторами, с одной стороны, и влиянием этой воды на численное снижение электроизоляционных свойств сухого материала. Наиболее чувствительной к влиянию влаги и к форме ее распределения в материале характеристикой изоляции является угол диэлектрических потерь. Снимая зависимость $\text{tg } \delta$ от частоты при различных значениях влагосодержания, удается сделать определенные заключения о форме распределения влаги. Наименее гигроскопичными, практически не снижающими электрических свойств при действии влаги, диэлектриками являются твердые углеводороды кристаллической структуры с умеренным молекулярным весом, например, парафин.

У малополярных диэлектриков достижение насыщения влагой требует чрезвычайно длительного времени, что нередко затрудняет исследование; применение же повышенного давления или повышенной температуры, в ряде случаев может искажать результат.

Лауреат Сталинской премии доктор техн. наук, проф. К. А. Андрианов выступил с докладом на тему «Новые кремнийорганические электроизоляционные материалы». Докладчик изложил основы разработанной им теории получения высокополимерных соединений, содержащих основной скелет молекул из силоксанных группировок (цепочки чередующихся атомов кремния и кислорода) с органическими радикалами в боковых ветвях. Эти соединения обладают выдающимися свойствами: ценные электроизоляционные характеристики, малая гигроскопичность, исключительная невосприимчивость и пр. В результате теоретических работ были синтезированы кремнийорганические жидкости, смолы, каучукообразные вещества, покрытия на различных материалах и пр.; все виды этих веществ, полученные К. А. Андриановым, демонстрировались докладчиком. Значительная часть содержания доклада уже напечатана в журнале *Электричество* в статье К. А. Андрианова и его сотрудников «Новые теплоустойчивые диэлектрики-силоконы» (стр. 39—44, № 4; 1946).

Выступивший с докладом «Современные представления о природе диэлектриков» член-корреспондент Академии наук СССР, проф. Я. И. Френкель

рассмотрел современные воззрения на природу диэлектриков в сравнении с металлическими проводниками с позиций волновой механики. Докладчиком введено представление о полувязанных состояниях электронов и положительных дырок, поведение которых в электрическом поле аналогично отрицательным и положительным ионам в ионных кристаллических решетках. Докладчик делает ряд важных выводов из теории, позволяющих объяснить описанный Пулем закон возрастания электропроводности кристаллических диэлектриков при доведении напряженности электрического поля до предпробойной области, механизм чисто электрического пробоя кристаллов и т. п.

Доктор физико-математических наук, проф. Г. И. Сканиви представил доклад «Вещества с высокой и сверхвысокой диэлектрической проницаемостью», который был посвящен изложению работ лаборатории диэлектриков физического института Академии наук СССР (руководитель—член-корреспондент Академии наук СССР, проф. Б. М. Вул) последних лет по изучению диэлектрических явлений в рутине и различных содержащих соединениях. Лабораторией был разработан ряд керамических материалов с высокими значениями проницаемости и различными величинами температурного коэффициента проницаемости. Создана теория, объясняющая высокие значения проницаемости двуокиси титана и соединений двуокиси титана с окислами металлов второй группы системы Менделеева, имеющих кристаллическую решетку типа ильменита и типа перовскита. Названные работы освещены в журнале *Электричество* в статье Б. М. Вул (стр. 12—20, № 3, 1946) и в подготовляемой к печати статье Г. И. Сканиви и др. Вторая группа докладов была посвящена прикладным вопросам техники электрической изоляции в СССР.

Начальник Центральной научно-исследовательской лаборатории по изоляции (ЦНИЛИЗ) инж. В. И. Калитвянский сделал доклад под названием «Новые типы изоляции электрических машин». Докладчик отметил особую важность выбора типов изоляционных материалов и технологических процессов изолирования для получения электрических машин с высокими технико-экономическими характеристиками и надежностью в эксплуатации. Из числа новых видов материалов машинной изоляции докладчик отметил: эмалевую проводниковую изоляцию винифлекс, разработанную К. А. Андрияновым и имеющую по сравнению с обычными эмальюми преимущество большей механической прочности и эластичности.

Большое значение получает стекловолокнистая изоляция, в частности в комбинации с кремнийорганическими полимерами. Очень широкое применение за границей (Германия и США) получили нагревостойкие пленки из сложных эфиров целлюлозы (триацетат, ацетобутират, трипропионат и т. п.). В частности, триацетатная пленка, широко распространенная в Германии, сделала возможной экономно больших количеств остро дефицитных электроизоляционных материалов. Докладчик сформулировал основные задачи, стоящие перед техникой изоляции электрических машин в части повышения нагревостойкости, морозостойкости, влагостойкости, химической стойкости и пр., в особенности для специальных типов машин (самолетные, морские и т. п.). В прениях по докладу В. И. Калитвянского выступил проф. К. А. Андриянов, уточнивший некоторые вопросы свойств и применения проводниковой изоляции винифлекс (см. статью К. А. Андриянова с соавторами в журнале *Электричество*, стр. 49—53, № 2, 1946).

Кандидат техн. наук Б. М. Тареев представил доклад на тему «Стекловолокнистая изоляция и ее применение в электротехнике». В докладе были отмечены преимущества стекловолокнистой изоляции по сравнению с изоляцией из органических волокнистых материалов и асбеста; высокая нагревостойкость, влагостойкость, механическая прочность, химическая стойкость. Рассмотрены способы получения непрерывного стеклянного волокна, а также штапельного волокна; штапельное волокно для целей электрической изоляции используется за границей в утке толстых стеклянных тканей, в виде отдельных слоев обмотки кабельных изделий и в других случаях, заменяя часть более дорогого непрерывного волокна. Стекловолокнистая изоляция внедряется и в СССР, но количество и качество стекловолокнистых изделий, выпускаемых для целей электрической изоляции Министерством легкой про-

мышленности, еще совершенно недостаточны. Рассмотрены составы стеклянных волокон, производимых в СССР, США, Германии и Франции—в основном это малощелочные борно-силикатные стекла. Стекла неэлектротехнического назначения имеют высокое содержание щелочных окислов, что ухудшает технологию вытяжки волокон, но для целей электрической изоляции такие стекла не пригодны. Следует форсировать разработку производства тонкого волокна чисто кварцевого состава, которое обладает особо высокими свойствами; в США и Германии такое волокно уже производилось в промышленном масштабе в годы войны. В докладе рассмотрен теоретически вопрос о картине электрического поля в пропитанной и непропитанной стекловолокнистой изоляции. У щелочных стекол диэлектрическая проницаемость не только относительно велика при нормальной температуре, но и резко растет при повышении температуры; последнее обстоятельство важно для нагревостойкости изоляции. Существенное значение имеет и рецептура замасливателя. Представляют интерес нагревостойкие обмоточные провода с жилами из кадмированной меди, никеля и монель-металла, изолированные стеклом; особо тонкие (0,05—0,06 мм) ленты и ткани; комбинации стеклотканей с органическими пленками; бумаги и картоны не только из стеклянного волокна, но также и из более дешевого шлакового волокна; гетинакс из стеклянной бумаги; стеклотекстолит с применением аллимеров (для пластиков, прессующихся почти без повышения давления и нагрева) и др.

В США главное внимание при введении стеклянной изоляции обращают на вопросы надежности работы и устаревания простовов из-за ремонта электрооборудования. В Германии в годы войны внедрение стекловолокна в значительной мере преследовало замену дефицитных материалов (слода, асбест и пр.). Помимо стекловолокнистой изоляции представляет интерес применение стекла в виде тонких пленок, могущих заменить слоду; фасонных изделий из стекла, обогащенного SiO_2 ; вводов и других деталей, свариваемых с металлами и керамикой; стекловидных эмалей, микалекса и др.

Выступая в прениях, проф. Г. И. Сканиви обратил внимание на необходимость расширения исследовательских работ по подбору наиболее рациональных рецептов стекла для стекловолокна электроизоляционного назначения.

В докладе кандидата техн. наук В. Т. Ренне «Современное развитие конденсаторостроения» был дан широкий обзор современного состояния этой области электропромышленности, получившей весьма большое значение за последние годы. (*Электричество*, № 8, 1946).

В докладе, озаглавленном «Новые изоляционные материалы проводов и кабелей», лауреат Сталинской премии доктор техн. наук, проф. С. М. Брагин осветил развитие кабельной техники, сопровождающееся расширением ассортимента электроизоляционных материалов сильноточных и слаботочных кабелей и проводов, а также отметил достижения в этой области, полученные в СССР. Из числа наиболее важных материалов кабельной изоляции, находящихся себе применение в последнее время, докладчик указал: стеклянное волокно, найлон и волокна из кополимеров хлорвинила, политен, лаки типа винифлекс и лаки на основе карбамидно-формальдепидных смол для применения в производстве эмальпроводов повышенного качества, каучукообразные материалы (бутиловый каучук, кополимер дивинила и стирола). В технике силовых кабелей высокого напряжения основное значение попрежнему имеет бумага в сочетании с различными пропитывающими средствами; в этой области проводятся большие исследовательские работы. Значительный интерес представляет разработка изоляции кабелей для передачи больших мощностей при весьма высоких напряжениях постоянного тока. Докладчик сообщил о методе исследования кабельной изоляции с применением моделей кабеля; этот метод разработан в руководимой докладчиком Кабельной лаборатории МЭИ (см. статью С. М. Брагина в настоящем номере). Доклад сопровождался иллюстрацией кинофильма «Электрический кабель», выпущенного Лентехфильмом по сценарию и под наблюдением С. М. Брагина.

Доклад на тему «Керамическая изоляция в электротехнике» сделал лауреат Сталинской премии доктор техн. наук, проф. Н. П. Богородицкий. Он указал на наличие в настоящее время широкого ассортимента разнообразных электрокерамических материалов, обладающих ценными для различных случаев применения свойств

вами (малый $\text{tg } \delta$, высокая диэлектрическая проницаемость, различные значения температурного коэффициента емкости, напоровостойкость, механическая прочность, возможность получения прецизионных изделий с весьма точно выдержанными размерами).—между тем, как в течение долгих лет в электротехнике употреблялся почти исключительно один керамический материал—фарфор. Особое значение получили новые керамические материалы в технике высоких частот: большое число этих материалов используется при изготовлении конденсаторов, а также для установочной изоляции в радиоаппаратуре и т. п. В СССР за последние годы разработаны и внедрены такие типы керамических материалов как ультрафарфор, радиофарфор, алюминоксид, тиконд, тидол, тимаг, тиглин, тибар и т. п.

Керамика начинает внедряться в качестве материала для баллонов электронных ламп, для оболочек герметизированных конденсаторов и т. п. Начинают находить применение высокочастотные высоковольтные конденсаторы с весьма значительной реактивной мощностью, применяемые в схемах промышленных высокочастотных печей и пр. Возможно получение керамики не только электроизоляционной, но и с самыми разнообразными значениями удельной электропроводности.

Необходимо широкое внедрение керамической изоляции в электроаппаратостроении в новой пятилетке.

Доцент М. В. Курлин выступил с докладом на тему «Трансформаторное масло и его заменители», в котором были рассмотрены свойства и поведение в эксплуатации минеральных масел, совола и совола, касторового масла и т. п. Докладчик указал на важность внедрения люминесцентного метода и метода определения коэффициента преломления для определения происхождения и оценки качества минеральных масел. Докладчик считает существующий стандарт на трансформаторное масло недостаточным; в частности, необходимо введение в стандарт требований к величине электроизоляционных характеристик масел. Неправильными являются способы искусственного старения масел с применением высоких (например 140° С) температур; такие испытания могут дать совершенно искаженное представление о сравнительной стабильности масел при нормальных рабочих температурах трансформаторной изоляции. Докладчик считает, что работы по внедрению антиоксидантов для замедления старения трансформаторного масла должны быть продолжены. Значительный интерес представляют новые синтетические изолирующие жидкости типа жидких силиконов и электронола.

Выступавшие в прениях по докладу М. В. Курлина представители энергосистем и электроаппаратостроительных заводов поддержали предложение докладчика о переработке стандарта на трансформаторное масло с включением норм на электрические свойства масла.

Два доклада были посвящены технологическим вопросам—новым методам нагрева. Первый из этих докладов «Технологическое применение высокой частоты для нагрева и сушки диэлектриков» был представлен инж. В. И. Калитвянским и инж. В. М. Дегтевым. Способ нагрева за счет выделения тепла диэлектрических потерь при внесении материала в переменное электрическое поле высокой частоты имеет большие преимущества: быстрота нагрева, возможность равномерного прогрева толстостенных изделий, удобство регулировки и возможность автоматизации и пр. Высокочастотный нагрев с успехом применяется для сушки дерева, нагрева пластмасс до и во время прессования, сварки термопластиков, сварки и плавки стекла, сушки керамических заготовок, вулканизации резиновых смесей и т. п. В ВЭИ проводятся работы, главным образом, в двух направлениях применения «радиотермического» нагрева электроизоляционных материалов. Во-первых, разработан метод предварительного подогрева пресспорошков перед загрузкой их в прессформу, что дает увеличение производительности работы, а также улучшение свойств прессованных деталей; при этом также достигается возможность изготовления особо сложных по конфигурации прессованных деталей за счет повышения текучести порошка и снижается брак при прессовке. Разработаны и уже из-

готавливаются советские высокочастотные генераторы с полезной мощностью 5 kW при 20 MHz для предварительного подогрева пресспорошков.

Во-вторых, в ВЭИ разработан способ прогрева гетинакса, текстолита, фанеры и других слоистых материалов по способу «сэндвича»; этот способ заключается в том, что между стопками листовой заготовки, уложенной в этажах пресса, размещаются металлические листы, на которые дается напряжение высокой частоты от генератора; плиты и колонны пресса, равно как и второй вывод высокочастотного генератора, заземляются. Слои прессуемого материала образуют диэлектрик конденсатора, электродами которого являются вложенные металлические листы и плиты пресса. Высокочастотный нагрев дает быстрый и равномерный прогрев всей толщи прессуемого материала.

В ВЭИ построен опытный генератор для прессовки слоистых пластинок мощностью в 60 kW при частоте 2 MHz. Разработан производственный режим прессования гетинакса с высокочастотным нагревом.

Второй технологический доклад «Новый способ нагрева инфракрасным излучением в электроизоляционной технике» представлен сессии инж. Р. С. Холодовской. Способ применения инфракрасной радиации чрезвычайно удобен и обеспечивает высокую производительность работы при сушке различных лакокрасочных покрытий, обмоток электрических машин как при их изготовлении, так и для сушки и пропитки во время ремонтных работ и во многих других случаях. Источниками инфракрасной энергии, главным образом, являются специальные лампы накаливания. Отличие этих ламп от обычных осветительных ламп сводится к более низкой температуре нити, что дает как более благоприятное распределение энергии излучения по спектру (основная часть энергии в виде инфракрасных и лишь малая часть—в виде лучей видимых), так и увеличение срока службы лампы (~ до 10 000 h). Лампы снабжаются рефлекторами для концентрации и направления в нужном направлении потока лучистой энергии. Отражающая поверхность рефлектора образуется серебром, золотом, обработанным по методу «кальзак» алюминием или же родием. Вместо внешнего рефлектора лучше наносить слой отражающего металла на внутреннюю поверхность баллона самой лампы. При этом отражающий металл соприкасается не с воздухом (как в рефлекторе), а с инертным газом лампы, почему он при высокой рабочей температуре не окисляется и не тускнеет. «Внутренний» рефлектор применен и у инфракрасных ламп (250 и 500 W при напряжениях 127 и 220 V), разработанных ВЭИ совместно с заводом Министерства промышленности средств связи.

Доклад инж. М. И. Раппопорта «Новые методы профилактики и эксплуатационного контроля состояния изоляции» явился обзором существующих в настоящее время электрических методов оценки состояния изоляции, дающих без ее повреждения или длительного вывода из эксплуатации сделать заключение о состоянии качества изоляции данного объекта, обнаружить различные местные дефекты и т. п. Основное внимание докладчика было обращено на методы, основанные на измерении протекания процесса абсорбции (снятие зависимости тока от времени при внезапном приложении или же снятии постоянного напряжения, или же кривой саморазряда изоляции), сквозных токов, зависимости емкости от температуры (важно для оценки степени увлажнения изоляции) и т. п. Доклад подвергся оживленному обсуждению, в результате которого в решении сессии был внесен пункт о создании при Всесоюзном бюро электрической изоляции постоянного комитета по разработке и внедрению методов профилактики и эксплуатационного контроля состояния изоляции.

Необходимо отметить хорошую подготовку сессии правлением ВНИТОЭ.

Кандидат техн. наук **Б. М. ТАРЕЕВ**
Ученый секретарь Всесоюзного бюро
электрической изоляции ВНИТОЭ



Всеукраинское совещание по вопросам электрификации сельского хозяйства

В сентябре с. г. в Киеве состоялось широкое совещание по вопросам электрификации сельского хозяйства Украинской ССР. В совещании приняли участие свыше 200 делегатов от 25 областей УССР, а также от трестов и контор Сельэлектро, научных учреждений и институтов и других заинтересованных организаций. В совещании принимали руководящее участие: министр земледелия УССР Г. П. Бутенко, министр технических культур УССР Н. Т. Кальченко и заведующий отделом электростанций и электропромышленности ЦК КП(б)У инж. П. А. Мауш.

На пленарных заседаниях были заслушаны и обсуждены доклады министра земледелия УССР Г. П. Бутенко и министра технических культур УССР Н. Т. Кальченко о ходе выполнения постановления Совета Министров УССР и ЦК КП(б)У о развитии электрификации сельского хозяйства Украины в 1946 г., а также доклады: доктора техн. наук, проф. А. В. Огневского «Комплексное использование малых рек УССР», инж. Л. С. Хилобченко «Схема электрификации сельского хозяйства Киевской области» и инж. Вершинина «Электрификация сельского хозяйства с помощью ветроэлектрических станций».

В докладе А. В. Огневского был обобщен фактический материал, характеризующий малые реки УССР, и намечены основные принципы комплексного использования малых рек. Общее количество малых рек на территории УССР, считая условно реки с длиной свыше 10 км, составляет 3 039, причем 47% из них принадлежит бассейну Днепра. Если же принять во внимание и весьма малые реки с длиной менее 10 км, то общее количество их достигнет 25 084.

Распределение малых рек УССР по их длине и по принадлежности к тому или иному бассейну дано в таблице.

Название бассейна	Количество рек с длиной (в км)				Всего рек
	до 10	от 11 до 50	от 51 до 200	свыше 200	
Днепр	8 163	1 275	126	23	9 587
Днестр	4 189	91	52	4	4 336
Южный Буг	1 918	267	31	1	2 217
Северный Донец	1 272	307	37	7	1 623
Приазовье	643	119	21	20	803
Причерноморье	193	83	23	1	300
Дунай	4 533	371	36	3	4 943
Висла	1 134	131	8	2	1 275
Всего	22 045	2 644	334	61	25 084

Из всего количества малых рек наиболее подходящими объектами для массового гидроэнергетического строительства следует считать всего лишь 200—250 малых рек с длиной не менее 50 км. Остальные реки целесообразно использовать лишь для прочих внутрихозяйственных целей (водоснабжение, орошение, водяные мельницы и т. п.).

До настоящего времени энергетические ресурсы малых рек использовались в УССР в крайне ограниченном размере. Так, общая мощность мелких гЭС на Украине в начале 1946 г. составляла всего 3,5 тыс. kW. Пятилетний план, принятый Верховным Советом УССР, предусматривает сооружение

мелких гЭС для целей электрификации сельского хозяйства общей мощностью в 203 тыс. kW. Увеличение по сравнению с 1946 г. намечено, таким образом, огромное.

Сооружение мелких гЭС на Украине встретится с рядом трудностей, вызываемых специфическими особенностями местных рек: небольшая водоносность (от 0,5 до 4 м³/sec), малые уклоны (от 0,03 до 2 м на 1 км длины), низкие берега и заболоченность, пересыхание на длительные сроки и т. п.

В помощь работникам по проектированию мелких гЭС составлены «Справочник по гидроэнергетическому использованию малых рек УССР» (составлен Управлением гидрометслужбы при Совете Министров УССР и Гидроэнергопроектом) и руководство «Гидрологические расчеты для малых рек УССР» (составлено Институтом гидрологии и гидротехники Академии наук УССР).

На совещании работали четыре секции. В секции по малым гидроэлектрическим станциям были заслушаны и обсуждены доклады: главного инженера Украинского отделения Гидроэлектропроекта С. Р. Медведева «Строительство гидравлических электростанций на малых реках и энергообеспечение сельских потребителей»; главного инженера Сельэлектропроекта Л. С. Хилобченко «Проектирование мелких гЭС и использование для этой цели типовых проектов» и др.

В секции по ветряным энергетическим установкам были заслушаны доклады: зав. лабораторией ветродвигателей Министерства рыбной промышленности СССР инж. Вершинина «Ветроэлектрические станции постоянного и переменного тока» и инж. Кармишина «Производство ветродвигателей, их установка и эксплуатация».

В секции по сельским тепловым электростанциям и сетям электропередачи инж. Г. Г. Кустовский доложил «О строительстве сельских тепловых электростанций на местном топливе и энергообеспечении сельских потребителей», инж. Г. И. Штурман «О строительстве сельских высоковольтных и низковольтных электрических сетей».

Секция электрификации производственных процессов в сельском хозяйстве и эксплуатации сельскохозяйственных электроустановок заслушала доклады: «Электрификация производственных процессов в колхозах и совхозах УССР: молотьбы, зерноочистки, кормоприготовления, водоснабжения, распиловки леса и др.» (докладчик — главный инженер Укрсельэлектро Н. С. Зимбалевский), «Организация ремонта и эксплуатации сельских электростанций и сетевого хозяйства» (докладчик — инж. М. А. Ходорович); «Экономика электрифицированных колхозов, совхозов и МТС» (докладчик — П. П. Храмов); «Организация подготовки кадров для сельской электрификации в 1946 г.» (докладчик — нач. отдела подготовки кадров Министерства земледелия УССР Л. Э. Дозорен).

Кандидат с.-х. наук Н. А. САЗОНОВ



Профессор Л. Д. Белькинд

к 50-летию со дня рождения

В текущем году исполнилось 50-летие доктора техн. наук, проф. Л. Д. Белькинда. В августе 1946 г. Л. Д. Белькинду присвоено почетное звание заслуженного деятеля науки и техники РСФСР.

Четверть века посвятил проф. Л. Д. Белькинд развитию высшего технического образования, подготовке инженерных кадров и научно-технической работе. С 1939 г. он заведует кафедрой «Светотехника» Московского энергетического института им. Молотова, которая в течение многих лет была центром подготовки светотехнических кадров.

Проф. Л. Д. Белькинд три раза участвовал в качестве делегата СССР на Международных светотехнических конгрессах: в 1928 г. в Канаде и США на I Международном светотехническом конгрессе, в 1935 г. на сессии Международной комиссии по освещению в Берлине и Карлсруэ, в 1937 г. на Международном конгрессе по прикладной светотехнике в Париже. С 1934 г. по 1941 г. Л. Д. Белькинд со-

стоял членом Комитета по участию СССР в международных энергетических объединениях.

Проф. Л. Д. Белькинд был в течение ряда лет редактором журнала «Светотехника», членом Светотехнической комиссии при Отделении технических наук Академии наук СССР и экспертом во многих вопросах, связанных с освещением крупных сооружений, как, например, Московского метрополитена и др.

Л. Д. Белькинд является главным редактором иностранно-русских технических словарей; он участвовал в качестве автора и редактора в составлении отдела светотехники Технической энциклопедии (1-е и 2-е изд.), физического словаря и других энциклопедических изданий. В настоящее время он является главным редактором одноименной технической энциклопедии — «Краткого политехнического словаря».

К 35-летию юбилею МЭИ Л. Д. Белькинд был награжден орденом «Знак Почета».



Профессор А. П. Иванов

К присвоению почетного звания заслуженного деятеля науки и техники РСФСР

В августе 1946 г. указом Президиума Верховного Совета РСФСР доктору техн. наук, проф. А. П. Иванову присвоено почетное звание заслуженного деятеля науки и техники РСФСР.

Алексей Петрович Иванов родился в 1885 г. В 1913 г. он окончил Московское высшее техническое училище (МВТУ), при котором был оставлен для научно-технической работы.

Со дня организации Московского энергетического института им. Молотова проф. А. П. Иванов руководит кафедрой «Электривакуумная техника».

Под руководством проф. А. П. Иванова был организован ряд новых лабораторий и новых производств; производство ртутных ламп, производство ламп и трубок газового разряда и производство электронных ламп.

Проф. А. П. Ивановым написан ряд оригинальных руководств по электрическим источникам света: «Электрические лампы накаливания и их производство», 1923 г., «Электрические источники света», ч. I, 1938 г. и «Электрические источники света», ч. II, 1942 г.

К 35-летию МЭИ А. П. Иванов был награжден орденом «Знак Почета».



Ценная книга по технике высоких напряжений

Проф. Л. И. Сиротинский. **ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Выпуск III. Перенапряжения и защита от перенапряжений. Госэнергоиздат, 1945, стр. 551, рис. 354.
Цена в переплете 23 руб.

Книга проф. Л. И. Сиротинского выходит в свет по существу уже четвертым изданием, хотя в этом издании она и изменила свой заголовок. Предыдущее издание вышло в 1937 г. Если в период написания предыдущего издания вопросы перенапряжений и защиты от них находились в стадии интенсивного развития, многие положения являлись еще спорными и вызвали большую полемику, то в настоящее время очень многое в этой области уже выкристаллизовалось. Автор книги принимал большое и активное участие в разработке всех вопросов, связанных с перенапряжениями и защитой от них, что и наложило на книгу отпечаток глубокого знания как теории, так и практики этого дела. В четвертом издании автор снова подверг свою книгу значительной переработке, причем помимо переработки содержания изменена также компоновка книги.

Книга содержит три раздела. В первом разделе, после краткого введения, автор рассматривает вопрос о взаимной зависимости между перенапряжениями и изоляцией и напоминает основные свойства и характеристики изоляции линии, трансформаторов и вращающихся машин. Далее подробно рассматриваются коммутационные перенапряжения и более кратко перенапряжения от прямого удара молнии и защита от них. В последней главе этого раздела дается общая характеристика вопроса о координации изоляции и защите подстанций от грозовых перенапряжений и ударов молнии.

Второй раздел книги посвящен вопросу о волновых процессах в линиях, трансформаторах и обмотках машин. Здесь дается достаточно подробная теория движения волн по проводам, преломления и отражения их в узловых точках. Далее рассматривается распространение волн в обмотках трансформаторов и машин. Изложив приближенную теорию распространения волн в обмотках трансформаторов, автор приводит данные экспериментального исследования его. Вопрос о распространении волн в обмотках машин рассмотрен сжато. В заключение раздела автор рассматривает вопрос о распространении волн в схемах, содержащих индуктивность, емкость и сопротивление как постоянное, так и переменное.

В третьем разделе читатель знакомится с защитой от перенапряжений. Здесь рассматриваются как защитные аппараты (разрядники, молниеотводы, компенсирующие емкость линии аппараты), так и защитные схемы (защита линий передачи, подстанций и станций). Последняя глава раздела посвящена грозовым явлениям (теория образования грозовых облаков, токи молнии, индуктированные перенапряжения).

Рассматривая данное издание книги Л. И. Сиротинского, следует отметить, что автор достиг значительно лучшей компоновки, чем в предыдущих изданиях. По поводу компоновки книги мы все же хотели бы сделать следующие замечания.

Помещение главы о теории грозы и токах молнии в последнем разделе, трактуемом о защите от перенапряжений, нам представляется неудачным. Более естественным было бы помещение ее перед гл. III, говорящей о прямом ударе молнии. С третьим разделом гл. XIII по своему содержанию не связана и ее помещение там трудно оправдать.

Далее, хотя автор во введении и говорит, что «в первом концентре дается общая, без деталей, характеристика сущности вопроса о перенапряжениях и о защите изоляции

от перенапряжений» однако, в первом разделе книги (в первом концентре) он помещает гл. II о коммутационных перенапряжениях, в которой дается исчерпывающий анализ этого вопроса. В последующих разделах к детализации его автор не возвращается. Нам кажется, что стройность книги выиграла бы, если бы в первом разделе была дана только общая краткая характеристика вопроса о коммутационных перенапряжениях, а детальное рассмотрение его было перенесено во второй раздел. Мы не хотим сказать этим, что схема построения книги по «концентрам» представляется нам наилучшей, однако, если она принята, то желательно ее выдержать.

Переходя к содержанию книги по существу, отметим большую работу автора по обновлению и переработке содержания ряда глав.

В гл. II (Коммутационные перенапряжения) даны новые материалы о перенапряжениях при размыкании цепи токоограничивающими предохранителями, при обрыве тока в ртутных выпрямителях и при несимметричных коротких замыканиях генераторов, не имеющих демпферных обмоток. Пополнены также опытные данные по вопросу о перенапряжениях при заземляющей дуге и при отключении ненагруженных линий и трансформаторов.

Гл. VII (Воздействие волн на схемы) существенно переработана и дополнена анализом некоторых новых вопросов — схемы с магнитосвязанными индуктивностями, «поглотители волн» Ферранти и пр. Кроме того, дано хотя и более сжатое, но более современное рассмотрение вопроса о преломлении и отражении волн в сложных системах.

Совершенно новый материал содержит гл. IX (Защитные зоны и заземлители молниеотводов). В основном эта глава базируется на обширных исследованиях, произведенных в ВЭИ на моделях. Результаты исследования ВЭИ сопоставлены с данными произведенных во время войны американских исследований по этому вопросу (значительно уступающих по масштабу и обстоятельности исследованию ВЭИ). На основании последних советских и американских исследований освещен также вопрос о заземлителях для отвода токов молнии.

Гл. XI и XII (Защита линий и подстанций) подверглись радикальной переработке. В них широко использован эксплуатационный опыт электрических систем СССР, а также нормативные материалы Министерства электростанций, в разработке которых автор принимал большое участие.

В большей или меньшей мере переработаны также и другие главы.

Характеризуя содержание книги, мы хотим прежде всего отметить одну особенно ценную черту. Пользуясь математическим решением ряда вопросов, автор всегда стремится дать ясное физическое истолкование полученных результатов. Это стремление проходит красной нитью по всей книге, но особенно оно проявляется в таких главах, как, например, гл. VII (Воздействие волн на схемы). Здесь ряд сложных волновых процессов, математический анализ которых приводит к довольно громоздким результатам, автор подвергает изыскному и ясному физическому анализу, который хорошо освещает полученные выводы.

Другой ценной чертой книги является современность ее изложения. Автор полностью изучил советскую и иностранную литературу по этому вопросу и из этого обширного материала черпает, критически перерабатывает, все полезное, и во многих случаях дает оригинальные разработки.

Перейдем к некоторым критическим замечаниям. Коснемся терминологии. В гл. I автор, говоря об определении понятия «перенапряжение», приводит определение, даваемое Р. У. по защите от перенапряжений. Казалось бы, что после этого можно было дальше пользоваться исключительно данным термином. В большинстве случаев автор им и пользуется. Но, например, в гл. II, § 1 автор пользуется то термином «перенапряжение», то термином «повышение напряжения». Применение этих терминов (стр. 45) таково, что у неискушенного читателя может создаться впечатление, что эти термины противопологаются друг другу. Четкость и стройность изложения выиграла бы, если бы автор пользовался только термином «перенапряжение».

Приводя в § 1 классификацию перенапряжений, автор называет «повышения напряжения, обусловленные воздействием на сеть прозовых разрядов, атмосферными, или внешними». Не говоря о некоторой неточности такого определения и соглашаясь с практической приемлемостью его, мы все же полагаем, что в данном случае было бы лучше пользоваться термином «грозовые перенапряжения».

Укажем еще на некоторые совершенно ненужные германизмы: «керн» (стр. 249), «пятишнелный трансформатор» (стр. 435, хотя здесь же через 2 строки—трехстержневые трансформаторы) и т. п.

Во многих местах автор для упрощения анализа заменяет волновые сопротивления индуктивностями. Несомненно, в некоторых случаях такая замена возможна и не ведет к большим погрешностям. Однако, строгость изложения требует указать пределы применимости подобной замены и погрешность, вызываемую ею. Без этого весьма ответственные выводы, делаемые автором на основании такой замены (гл. VII), остаются необоснованными.

На стр. 314 автор отказывается от рассмотрения воздействия на схемы, содержащие индуктивности и емкости, экспоненциальных волн и вводит волны в виде полуволны синусоиды типа $(1 - \cos \omega t)$ или четверти волны синусоиды типа $(\sin \omega t)$. Замена эта ничем не мотивирована и кажется непонятной, тем более, что автор считает анализ воздействия экспоненциальных волн не представляющим трудностей.

В гл. VI, § 6 автор приводит краткое изложение работы Рюденаберга, рассматривающего вопрос о распространении волн в обмотках при помощи макровелловских уравнений электромагнитного поля. Этот метод при наличии

допущений, которые делает Рюденаберга, не дает удовлетворительных результатов. Поэтому не стоило его и приводить. Было бы значительно интереснее, если бы автор привел материалы из работ Н. А. Карасева о распространении волн в обмотках.

Требуя уточнения и разъяснения утверждение автора (стр. 520), что «Фронтальные грозы... обычно бывают более длительными, чем тепловые, и служат источником большого числа поражений молниями». Формально это положение бесспорно, если мы будем рассматривать совокупность гроз и поражений молниями в пределах, скажем, европейской части СССР. Однако, в отдельных районах это положение может оказаться неверным. В горах, например, тепловые грозы могут быть значительно чаще фронтальных. Далее нас обычно интересует какая-либо определенная местность и определенная линия передачи или сеть. Здесь также может оказаться, что тепловые грозы окажутся длительнее и опаснее фронтальных. Прохождение фронтальной грозы над данным пунктом редко длится более 0,5—1 часа. Между тем, тепловая гроза может длиться много часов подряд. В 1936 г. мы наблюдали в Ленинграде ряд тепловых гроз, некоторые из них продолжались с небольшими перерывами почти целый день. Если сеть вытянута в определенном направлении, фронтальная гроза, идущая нормально к этому направлению, мало опасна, а тепловая гроза над этой сетью представляет известную опасность.

В предисловии автор указывает, что он отказался от снабжения книги библиографическим указателем. Об этом приходится жалеть. Ведь книга признана учебником (хотя по нашему мнению правильной было бы назвать ее «Курсом техники высоких напряжений»), а в учебнике библиографический указатель является весьма желательным и даже обязательным. Нельзя требовать, конечно, чтобы автор поместил в IV издании книги столь подробный указатель, как помещенный в первом издании (1932 г.). Однако, было бы вполне уместно привести в нем список основных книг, и хотя бы, список тех статей, на которые имеются ссылки в тексте.

В заключение скажем, что книга проф. Л. И. Сиротинского заслуживает большой похвалы и она с полным правом явится не только хорошим пособием для студента, но и настольной книгой для всякого инженера-электрика.

Доктор техн. наук, проф. А. М. ЗАЛЕССКИЙ



Новые книги по электротехнике и электроэнергетике (издания 1946 г.)

Александров А. Г. Производство радиоламп. Госэнергоиздат, 100 стр., ц. 11 руб.

Андрянов К. А. Кремнийорганические полимерные соединения, Госэнергоиздат, ч. 1, 96 стр., ц. 5 руб. 50 коп.

Архангельский Н. К. Электромонтер нефтяных промыслов. Гостехиздат, 100 стр., ц. 5 руб.

Бабат Г. И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение. Госэнергоиздат, 431 стр., ц. 30 руб.

Введенский Б. А., Аренберг А. Г. Радиоволноводы. Гостехиздат, ч. 1, 191 стр., ц. 9 руб.

Вейтков Ф. Летолось электричества. Изд. 2-е, Госэнергоиздат, 319 стр., ц. 12 руб.

Винифлекс. Новая электрическая изоляция. Под ред. В. С. Квашнина. Госэнергоиздат, 48 стр., ц. 5 руб. 50 коп.

Виноградов Н. Н. Намотка катушек и секций электрических машин. Утверждено в качестве учебника для ремесленных училищ. Госэнергоиздат, 51 стр., ц. 3 руб.

Гинзбург В. Л. Сверхпроводимость. Издательство Академии наук СССР, 204 стр., ц. 9 руб.

Гройс Е. С. Устройства защиты от перенапряжений и их эксплуатация. Госэнергоиздат, 119 стр., ц. 6 руб. 50 коп.

Диффузионный метод защиты от гниения деревянных опор высоковольтных линий электропередачи. МЭС СССР, Технический отдел, Госэнергоиздат, 131 стр., ц. 1 руб. 50 коп.

Девидзе Г. В. Теоретические основы электротехники. Под ред. А. И. Дидебулдзе. Изд. 2-е, дополненное (на грузинском языке). Техника да шрома, 443 стр., ц. 40 руб.

Дуткин Г. С. и Либерман А. Я. Сооружение и эксплуатация высоковольтных линий электропередачи. Утверждено в качестве учебника рабочих кадров. Госэнергоиздат, 312 стр., ц. 12 руб.

Залитс К. Электрификация сельского хозяйства (на латышском языке). Грамату алгаце, 212 стр., ц. 10 руб.

Инструкция по обслуживанию высоковольтных линий электропередачи. МЭС СССР, Технический отдел, Госэнергоиздат, 179 стр., ц. 6 руб. 50 коп.

Инструкция по эксплуатации трансформаторов, МЭС СССР, Технический отдел, Госэнергоиздат, 100 стр., ц. 7 руб. 50 коп.

Капустин В. С. Обмотка статоров электрических машин. Госэнергоиздат, 50 стр., ц. 3 руб.

Капустин В. С. Обмотка якорей машин постоянного тока и ротора трехфазных асинхронных двигателей. Госэнергоиздат, 67 стр., ц. 4 руб.

Карасев В. А. Теория электромагнитных процессов в обмотках, Госэнергоиздат, 87 стр., ц. 7 руб.

Касаткин А. С. Электрические измерения. Общий курс. Допущено в качестве учебного пособия для вузов. Госэнергоиздат, 447 стр., ц. 18 руб.

Коваленков В. И. Влияние параметров цепей на электромагнитные процессы. Популярный очерк. Издательство Академии наук СССР, 71 стр., ц. 3 руб. 50 коп.

Кондахан В. С. Руководство для дежурного электромонтера собственных нужд электростанций. Утверждено в

качестве учебного пособия для рабочих кадров. Госэнергоиздат, 175 стр., ц. 8 руб.

Коновалов И. М. Электротепловая резка льда. Речиздат, 120 стр., ц. 11 руб. 50 коп.

Костенко М. П., Нейман Л. Р., Блавдзевич Г. Н. Электроматнитные процессы в системах с мощными выпрямительными установками. Издательство Академии наук СССР, 107 стр., ц. 10 руб.

Круг К. А. Основы электротехники. Утверждено в качестве учебника для энергетических вузов и электротехнических факультетов. 6-е, совершенно переработанное издание. Госэнергоиздат, т. I, 472 стр., ц. 21 руб.; т. II, 634 стр., ц. 30 руб.

Куликов Ф. В., Лехциер И. Р. Заливка короткозамкнутых роторов. Госэнергоиздат, 28 стр., ц. 3 руб.

Лейкин В. Е. Плавка стали в электропечах. Металлургиздат, 331 стр., ц. 22 руб.

Либер В. П. Краткий справочник гальваностегии. Под ред. В. И. Лайнера. Машгиз, 103 стр., ц. 5 руб.

Материалы по однофазному управлению, автоматическому повторному включению (ОАПВ) и ремонту высоковольтных линий электропередачи. МЭС СССР, Технический отдел. Госэнергоиздат, 72 стр., ц. 4 руб. 50 коп.

Медведев П. Е. Энергия и ее использование (на белорусском языке). Государственное издательство БССР, 64 стр., ц. 85 коп.

Миткевич В. Ф. Магнитный поток и его преобразования. Издательство Академии наук СССР, 356 стр., ц. 29 руб.

Миткевич В. Ф. Электрическая энергия. Как она добывается, как она передается, как она потребляется. Изд. 2-е, переработанное. Госэнергоиздат, 312 стр., ц. 17 руб.

Научно-техническая сессия по электрической изоляции (сентябрь 1946 г.). Тезисы докладов. Издание ВНИТОЭ, 42 стр., беспл.

Новаковский С. В. Частотная модуляция. Связьиздат, 120 стр., ц. 10 руб.

Основные положения по проектированию промышленных тепловых электростанций средней и малой мощности и тепловых сетей. МЭС СССР, Технический совет. Госэнергоиздат, 58 стр., ц. 3 руб. 75 коп.

Островская С. А., Медовар Б. И. Новое в автоматической скоростной сварке под слоем флюса. Издательство Академии наук Украинской ССР, 24 стр., ц. 3 руб.

Павлов Н. Г., Николаев Д. С. Радио. История, научные основы, техника и применение. Указатель литературы для массового читателя. Под ред. В. А. Введенского и В. И. Шамшура. Госкультпросветиздат, 27 стр., ц. 1 руб. 20 коп.

Пасынков В. В., Курлин М. В. Руководство к лабораторным занятиям по электроизолирующим материалам. Под ред. Н. П. Богородицкого. Ленинградский электротехнический институт, 85 стр., ц. 9 руб.

Подольский Л. П. Влияние заземления нейтрали сетей низкого напряжения на условия безопасности. Госэнергоиздат, 128 стр., ц. 10 руб.

Правила противопожарного режима и тушения загораний на электростанциях и подстанциях. МЭС СССР. Управление военизированной охраны и противовоздушной обороны. Госэнергоиздат, 112 стр., ц. 7 руб.

Правила устройства заземлений в электрических установках сильного тока напряжением выше 1000 В. МЭС СССР, Технический отдел, Госэнергоиздат, 1946, 11 стр., ц. 1 руб.

Пресс С. А. Электрическое оборудование металлорежущих станков. Допущено в качестве учебника для вузов.

Изд. 2-е, исправленное и переработанное. Машгиз, 452 стр., ц. 21 руб.

Прошин Е. А., Соловьев П. Ф. Монтаж и эксплуатация кабельных линий напряжением до 35 кВ. Утверждено в качестве учебника для рабочих кадров. Госэнергоиздат, 288 стр., ц. 12 руб.

Пути экономии электроэнергии. Материалы областной конференции по экономии электроэнергии. Под ред. Л. А. Михайлова. Издание Челябинска, 55 стр., беспл.

Радовский М. М. Михаил Фарадей. Госэнергоиздат, 76 стр., ц. 2 руб.

Релейная защита и системная автоматика Мосэнерго. Под ред. И. И. Соловьева, Госэнергоиздат, 180 стр., ц. 7 руб.

Руководящие указания по выбору кабелей. МЭС, МС и МЭП СССР. Госэнергоиздат, 11 стр., ц. 75 коп.

Руководящие указания по защите от перенапряжений установок переменного тока напряжением 3-220 кВ. МЭС СССР, Технический отдел. Госэнергоиздат, 63 стр., ц. 3 руб.

Синица А. И. Ремонт и восстановление трансформаторов. Госэнергоиздат, 88 стр., ц. 5 руб.

Синьков В. М., Шаевич В. Г. Дежурный электрической подстанции. Изд. 2-е, дополненное и исправленное. Металлургиздат, 103 стр., ц. 9 руб.

Слоним Л. И. Основы нефтепромышленной электротехники. Допущено в качестве учебника для вузов нефтяной промышленности. Изд. 2-е, переработанное. Гостехиздат, 516 стр., ц. 30 руб.

Сухов Д. К. Практическое руководство по обслуживанию источников питания электрических средств связи. Речиздат, 136 стр., ц. 11 руб.

Тареев Б. М. Электротехнические материалы. Утверждено в качестве учебного пособия для рабочих кадров и среднетехнического персонала. Госэнергоиздат, 231 стр., ц. 11 руб.

Тареев Б. М., Холодовская Р. С. Электроизоляционные конструкции на основе стеклянного волокна. ЦБТИ МЭП СССР, 32 стр., ц. 2 руб. 50 коп.

Тарифно-квалификационный справочник для заводов и ремонтно-механических мастерских МЭС СССР. Госэнергоиздат, 199 стр., ц. 20 руб.

Тайц А. А., Румянцев А. С. Экономия электроэнергии в машиностроении. Госэнергоиздат, 144 стр., беспл.

Технические условия на производство и приемку общестроительных работ. МСПТИ, Главэлектромонтаж, т. III. Электромонтажные работы. Стройиздат, 152 стр., ц. 8 руб. 50 коп.

Фремке А. В. Телеизмерительные системы дальнего действия. Под ред. В. И. Коваленкова. Госэнергоиздат, 38 стр., ц. 3 руб. 75 коп.

Холман Р. Электротехника, т. I (на эстонском языке). Госиздат Эстонской ССР, 288 стр., ц. 25 руб.

Царев Б. М. 50 лет изобретения радио. Пер. М. Нагаев (на узбекском языке). Издательство Академии наук Узбекской ССР, 37 стр., ц. 2 руб. 50 коп.

Шателен М. А. Пионеры электрического освещения. Ломоносовские чтения. Молодая гвардия, 24 стр., ц. 1 руб.

Шостын Н. А. Михаил Андреевич Шателен. Под ред. В. Ф. Миткевича. Госэнергоиздат, 48 стр., ц. 1 руб. 75 коп.

Электротехнический справочник. Под ред. М. В. Хомякова. Изд. 2-е. Госэнергоиздат, 399 стр.

Янус Р. И. Магнитная дефектоскопия. Гостехиздат, 171 стр., ц. 7 руб.



ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция журнала Электричество обращается с просьбой к лицам и организациям, у которых сохранились отдельные комплекты или разрозненные номера журнала Электричество за прошлые годы (начиная с 1880), сообщить редакции о возможности приобретения этих комплектов или номеров журнала для пополнения редакционной библиотеки.

Развитие систем переменного тока на крупных самолетах в США

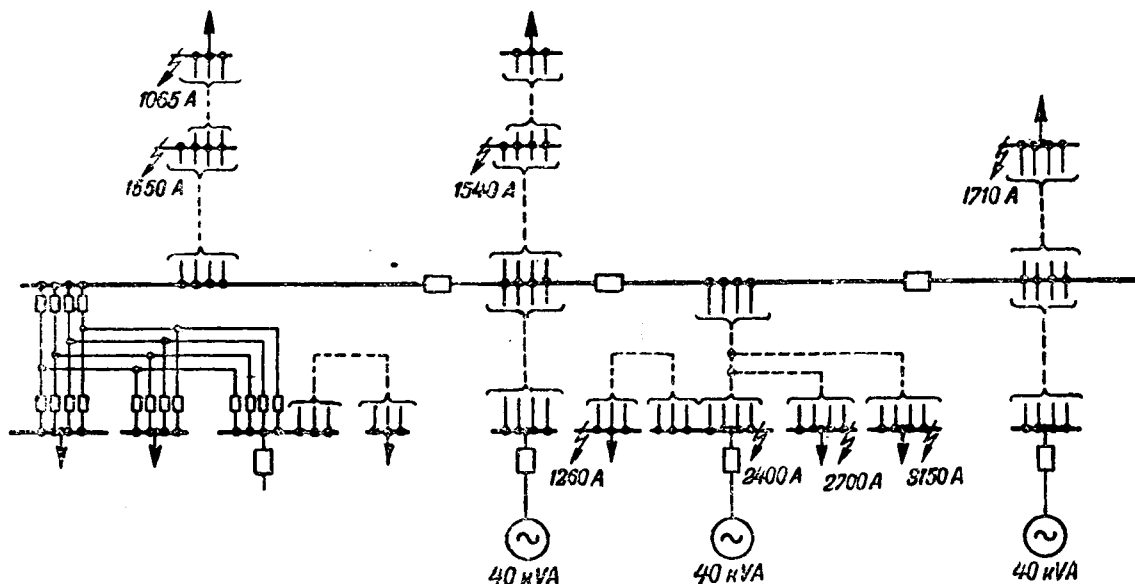
(Обзор)

В настоящее время имеется тенденция к увеличению потребления электроэнергии на крупных боевых самолетах. Электроэнергия все шире применяется для антиобледенительных устройств, точной наводки на цель пулеметов и пушек с одновременным управлением с нескольких мест, радиолокационных устройств, навигационного оборудования, наплевания воздуха в кабины и т. п. Электрический привод вытесняет гидравлический вследствие того, что повреждение какой-либо части электрической системы в большинстве случаев не отражается на ее работе, в то время как повреждение гидравлической системы в большинстве случаев вызывает потерю давления и нарушение работы всей системы. Несмотря на относительно небольшую продолжительность времени, в течение которого приходится работать электрической системе самолета (500—1000 ч), требования к надежности системы очень высоки, так как необходимо обеспечить максимальную эффективность самолета при выполнении боевых задач и способность возвращаться на базу даже при серьезных повреждениях. Желательно иметь один или два генератора в резерве. Необходимо также, чтобы система имела наименьший вес. В случаях, когда параллельная работа генераторов невозможна, система должна обеспечивать нормальное питание всех нагрузок при раздельной работе генераторов. Это требование усложняет главную силовую панель, так как тогда приходится применять секционированную систему шин с межсекционными выключателями. Работа системы должна требовать минимального внимания со стороны экипажа самолета. Система должна быть проста в эксплуатации, с минимальным количеством специального оборудования для управления и пребывать возможно меньшего специального обучения обслуживающего персонала. Замена поврежденных частей системы должна быть удобна, а номенклатура запасных частей по возможности сведена к минимуму. Привод генераторов наиболее целесообразно осуществлять от самолетных моторов. Такой привод обеспечивает минимальный вес системы, полную мощность на всех высотах и экономит горючее.

Современная сеть, распределяющая электроэнергию на самолете, должна обладать следующими свойствами: 1) в целях большей надежности питание каждой нагрузки должно осуществляться несколькими параллельными проводами; 2) при наличии одного короткого замыкания на любой линии, плавкие предохранители, ближайшие к короткому замыканию, должны отключать поврежденный участок в такое время, чтобы никакой другой плавкий предохранитель не изменил бы своей характеристики; питание всех нагрузок при этом не должно прекращаться за исключением коротких замыканий на шинах нагрузки; 3) при втором коротком замыкании питание всех нагрузок не должно прекращаться, повреждение смежных плавких предохранителей может быть допущено, но не желательно; 4) вследствие малой протяженности распределительных шин нагрузок короткое замыкание на них считается маловероятным, поэтому допускается потеря нагрузки, присоединенной к поврежденной системе шин; 5) в целях предотвращения остановки электродвигателей, время отключения коротких замыканий в системе, при двух или более параллельно работающих генераторах, не должно превышать 0,1 сек.; такое время отключения желательно, конечно, и при раздельной работе генераторов, но может оказаться недостижимым из-за малых токов короткого замыкания; 6) любая цепь должна выдерживать без повреждений

плавких предохранителей ток заторможенных асинхронных двигателей в течение времени больше 30 сек. после отключения первого короткого замыкания; исключение может быть сделано для мотор-генераторов, электродвигателей гидронасоса и групп электродвигателей; 7) электродвигатели должны продолжать работать после отключения второго короткого замыкания; 8) в конструкции шин должны быть приняты специальные меры для уменьшения последствий повреждений неприятельским огнем и найдены средства для уменьшения повреждений токами коротких замыканий; 9) число плавких предохранителей в сети и номенклатура их должны быть минимальными при условии возможности обеспечения селективного действия при любых коротких замыканиях; 10) токи нагрузок и токи коротких замыканий должны быть примерно одинаковы во всех секциях; 11) система должна одинаково хорошо работать как при одновременной, так и при раздельной работе генераторов; допускается отключение коротких замыканий в несколько большее время, чем при параллельной работе.

На рис. 1 показана типовая сеть, распределяющая электроэнергию на самолете. Это—радиальная система с питанием каждой нагрузки 3—4 параллельными линиями. Предварительные расчеты показали, что такой тип выгоднее сетчатого или кольцевого типа сети. В принятом типе сети генераторы питают главную силовую панель, часть нагрузок питается непосредственно от шин генераторов, которые, таким образом, выполняют также функции шин нагрузок. На этом же рисунке показаны токи однофазных коротких замыканий на корпус самолета с учетом электродвигателей. Произведенные расчеты показали, что наибольшие величины токов коротких замыканий при замыкании одной фазы на корпус и при работе четырех генераторов, а наименьшие токи коротких замыканий при трехфазном коротком замыкании и раздельной работе генераторов. Требования возможности как параллельной, так и раздельной работы весьма усложняют проблемы защиты вследствие большой разницы в токах коротких замыканий при этих режимах. Для облегчения согласования линейных плавких предохранителей необходимо, чтобы параллельные линии имели одинаковое сопротивление. Полное сопротивление линий зависит от расстояния между ними. Поэтому для уменьшения полного сопротивления и облегчения монтажа желательно было бы иметь все три фазы, скрученные вместе. Однако, при таком расположении проводов становятся более тяжелыми последствия повреждения токами коротких замыканий и неприятельским огнем. Наиболее целесообразно размещение проводов линии в одной плоскости с расстоянием между проводами около 13 мм. Большие исследования и расчеты были произведены для определения полных сопротивлений нулевой последовательности. Генераторы строятся на большой скорости вращения (6000 об/мин) и с форсированным воздушным охлаждением. Перегрузка генераторов допускается до 200% номинальной в течение 5 сек, без ощутительного понижения напряжения на зажимах, что облегчает пуск больших электродвигателей и отключение коротких замыканий в системе. Напряжение генератора регулируется посредством угольного регулятора, к которому подводится выпрямленное напряжение системы переменного тока. Регулятор воздействует на ток возбуждения генератора. Скорость изменения тока возбуждения генератора (от величины тока при возбуждении холостого хода до максимальной) равна 0,1 сек., включая собственное время регулятора. Посто-



Типовая схема самолетной электросети переменного тока 400 Hz напряжением 120/208 V:

яство напряжения генератора поддерживается в пределах $\pm 2\%$ номинального. Цепь регулятора содержит: компенсацию температуры, обратное питание от зажимов возбуждения для предотвращения качаний и одно соединение для обеспечения влияния реактивного тока на регулятор. Поддержание постоянства частоты и надлежащее распределение нагрузок между генераторами осуществляется специальным регулятором, находящимся на каждом генераторе и воздействующим на муфту с переменным коэффициентом передачи между самолетным мотором и генератором.

Релейная защита генератора действует при следующих условиях: 1) время протекания максимального тока в роторе генератора больше 5 сек. 2) частота ниже 360 Hz; 3) короткое замыкание в истаторе или на зажимах генератора.

В первом случае обеспечивается защита возбуждателя и ротора генератора от перегрева, защита от длительной перепрузки или повреждения вследствие короткого замыкания в системе. Во втором случае обеспечивается защита электродвигателей, трансформаторов и различных аппаратов и приборов с магнитной цепью от чрезмерного намагничивающего тока при пониженной частоте и нормальном напряжении.

Защита генератора осуществляется с помощью 3 реле: 1) максимального токового реле, включенного в цепь возбуждения генератора; 2) реле частоты, включенного на напряжение генератора; 3) дифференциального реле, включенного на разность токов начала и конца фазы обмотки генератора.

Каждое из этих трех реле замыкает цепь отключающей катушки выключателя генератора. Выключатель генератора в свою очередь имеет блокконтакты, разрывающие цепь тока возбуждения. Питание постоянным током отключающей катушки выключателя генератора осуществляется либо от возбуждателя генератора, либо от выпрямителя, присоединенного к зажимам генератора в зависимости от того, какой из этих двух источников питания может обеспечить достаточное напряжение при данном повреждении. В целях обеспечения беспереывного питания нагрузок, присоединенных к шинам генератора, отключение генератора защитой при его повреждении должно осуществляться быстрее времени перегорания плавких предохранителей на линиях, питающих ток короткого замыкания генераторную систему шин. В принятой системе время от момента возникновения короткого замыкания до отключения генератора защитой не превышает 0,02 sec.

Шины главной силовой панели состоят из четырех секций, соединенных выключателями такого же типа, какой использован для генераторов, при помощи этих шин можно осуществлять надлежащее распределение нагрузок при раз-

дельной работе четырех или трех генераторов. Работа только двух генераторов вызывает необходимость отключения некоторых боевых нагрузок. Отключение главных шин может вызвать полное расстройство работы всей системы, но потеря одной из секций не должна вызывать серьезных нарушений в работе всей системы в целом. Шины выполняются пустотелыми из высокопрочных материалов. Выключатели должны быть рассчитаны на разрыв эффективного значения тока короткого замыкания порядка 4 000 A и на номинальный ток 120 A при температуре и давлении воздуха, могущих быть в полете. Плавкие предохранители должны быть взрывобезопасны и очень точно изготовлены, чтобы обеспечить защиту при широком диапазоне токов коротких замыканий. Время перегорания предохранителей при наименьшем токе короткого замыкания должно быть достаточно мало, чтобы увеличение тока, потребляемого электродвигателями после отключения короткого замыкания, не вызвало какие-либо последствия в системе. Плавкая вставка должна изготавливаться из красной меди или серебра, так как при материале с высокой температурой плавления уменьшается влияние изменений окружающей температуры на характеристику предохранителя.

Электродвигатели, как правило, должны иметь соединение обмоток истатора в звезду в целях обеспечения работы, хотя бы с пониженным вращающим моментом при перерыве питания одной фазы. Небольшое число приводов, требующих переменной скорости, оборудуется электродвигателями постоянного тока, питаемыми через мотор-генераторы или выпрямители. Постоянный ток также необходим для питания приводов выключателей, катушек реле и некоторых специальных приборов. Учитывая тенденцию к замене на больших самолетах устройств постоянного тока устройствами переменного тока, целесообразно выполнять несколько выпрямительных установок, расположенных в центрах потребления постоянного тока, причем следует предпочитать выпрямители, а не мотор-генераторы, так как первые не вызывают радиопомех при работе. Питание большинства нагрузок постоянного тока следует осуществлять одиночными линиями, и только для особо ответственных устройств питание необходимо осуществлять несколькими параллельными линиями.

Инж. А. Б. ТИМОФЕЕВ

Литература

1. C. K. Chappuis, L. M. Olmsted. El. Eng., Tr., стр. 12—17, № 1, 1946.
2. W. K. Boice, L. G. Levoay. El. Eng., Tr., стр. 534—540, № 7, 1945.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, СТАНЦИИ СЕТИ И ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ

Электрохозяйство Швеции. *Elektrizitätsverwertung*, № 8, 1945/1946 и № 1 — 2, 1946.

Электрохозяйство Швеции базируется в основном на «белом угле». Общие реально располагаемые гидроэнергетические ресурсы страны оцениваются цифрой 11,6 млн. kW, из коих использовано (включая строящиеся станции) 2,5 млн. kW, т. е. 21,5%. Наиболее богата ресурсами гидроэнергии северная область Швеции, где использована лишь небольшая часть располагаемой мощности. На прочие области страны приходится менее 1/3 всех водных сил; значительная часть их уже освоена (табл. 1).

Таблица 1

Географическое распределение гидроэнергетических ресурсов Швеции

Области	Реально располагаемая мощность		Используемая мощность	
	млн. kW	% к итогу	млн. kW	% к располагаемой мощности
Северная	9,49	81,4	1,10	27,6
Центральная	1,03	8,8	0,43	41,7
Юго-восточная	0,35	3,0	0,27	77,0
Западная	0,79	6,8	0,70	88,8
Всего	11,66	100,0	2,50	51,5

Электробаланс страны составлял в 1938 г. 8,2 млрд., в 1941 г. — 11,0 млрд., в 1944 г. — 12,4 млрд. и в 1945 г. — 13,0 млрд. kWh. В 1938 г. на долю гЭС приходилось 89,5% суммарной выработки электроэнергии. Сокращение импорта угля и нефти в период войны сказалось в снижении выработки тЭС с 855 млн. kWh в 1938 г. до 323 млн. kWh в 1944 г. Покрытие возросших потребностей в энергии в эти годы легло на гЭС, удельный вес которых в электробалансе страны повысился в 1944 г. до 97,4%.

В годы войны на гЭС было введено около 750 тыс. kW новой мощности. Вместе с тем были проведены работы по расширению регулирующих водохранилищ. В результате объединения высоковольтных сетей почти все электростанции могли работать параллельно, что в значительной мере обеспечило надежность и бесперебойность электроснабжения.

Таблица 2

Структура потребления электроэнергии в Швеции

Категория потребителей	1933 г.		1941 г.		1944 г.		% к 1938 г.
	млн. kWh	% к итогу	млн. kWh	% к итогу	млн. kWh	% к итогу	
Быт			706	9,2	1 082	10,2	
Сельское хозяйство	1 070	15,0	283	3,7	366	3,4	188,0
Кустарная промышленность			433	5,7	569	5,4	
Крупная промышленность	5 447	76,3	5 342	70,0	7 412	70,0	136,0
в том числе:							
электрохимия и электрометаллургия	1 257	17,6	1 421	18,6	1 891	17,9	150,0
Электродвиглы	273	3,8	407	5,3	1 093	10,3	400,0
Электрические ж. д. и трамвай	623	8,7	869	11,4	1 040	9,3	167,0
Всего	7 140	100,0	7 633	100,0	10 573	100,0	148,0

Характерной особенностью обусловленных войной сдвигов в структуре расходной части электробаланса Швеции является высокий рост бытового потребления (табл. 2). За период с 1938 по 1944 гг. расход электроэнергии на бытовые нужды (включая потребление сельского хозяйства и кустарной промышленности) увеличился на 947 млн. kWh, или на 88%, а удельный вес его в суммарном потреблении возрос с 15 до 19%. За это время потребление крупной промышленности (исключая электродвиглы) повысилось на 1 145 млн. kWh, или на 22%, а удельный вес его снизился с 70,2 до 60%. Потребление энергии для электродвиглов сильно возросло в 1943—1944 гг.; осенью 1945 г. расходование энергии для этой цели было временно запрещено вследствие затруднений с электроснабжением, отчасти обусловленных недостаточным заполнением некоторых крупных регулирующих водохранилищ.

Новое электростроительство Швеции проектируется, главным образом, в северной области, где сосредоточена подавляющая часть еще неиспользованных гидроэнергетических ресурсов и отчасти в центральной области. В 1947—1948 гг. намечается расширение существующих и сооружение новых гидроэлектростанций с общей мощностью порядка 460 тыс. kW.

В. И. МИХАЙЛОВ

Экспериментальная линия электропередачи постоянного тока. *El. Times*, стр. 80, т. 109, № 2830, 1946.

Необходимость строительства дальних линий электропередач в Швеции вызвана отнюдь не индустриализацией северной части страны. В статье подчеркивается, что возможности гидроэнергетического строительства в южных и центральных районах Швеции почти исчерпаны и что дальнейший рост энергопотребления в стране может быть обеспечен только путем строительства гидроэлектростанций в горных районах севера и передачи их энергии на юг.

В настоящее время строится несколько электростанций, энергия которых будет передаваться по существующим линиям электропередач в 200 kV. Пропускная способность этих линий недостаточна. Кроме того, напряжение в 200 kV является недостаточно высоким для успешной передачи электроэнергии на большое расстояние. Возникает необходимость повышения напряжения примерно до 400 kV. Однако, передачи энергии переменным током при напряжении в 400 kV пока еще нигде практически не осуществлена.

Передача больших мощностей постоянным током высокого напряжения обладает, как известно, рядом преимуществ.

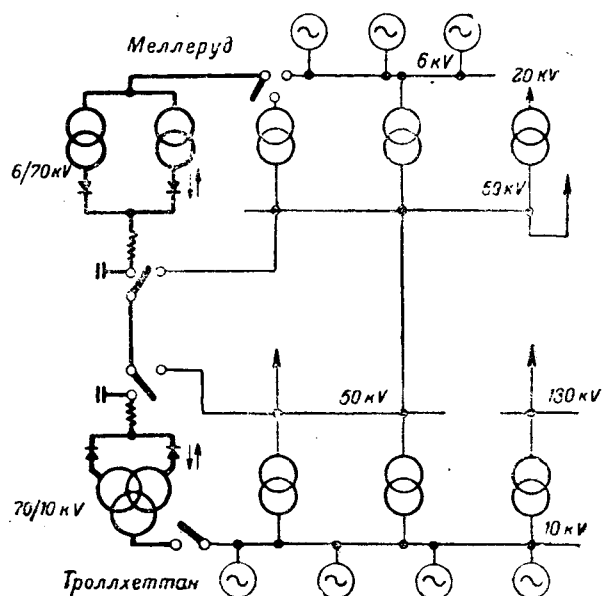


Рис. 1.

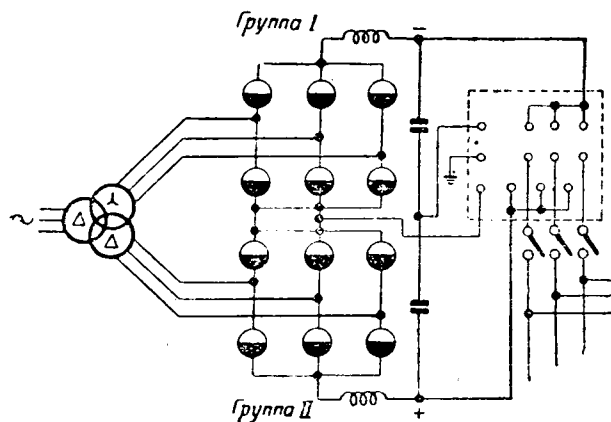


Рис. 2.

В связи с этим для проведения опытов по передаче энергии на постоянном токе использована одна из цепей существующей двухцепной линии переменного тока напряжением 50 kV между двумя электростанциями Меллеруд и Тролльхеттан.

На рис. 1 показана схема этой электропередачи (жирные линии) вместе с существующей линией передачи переменного тока (тонкие линии). Технические данные этой электропередачи следующие: протяженность—50 km; передаваемая мощность в двух направлениях—6 500 kW, максимальное рабочее напряжение—90 kV, максимальный ток—72 A.

Для выпрямления и инвертирования тока на обоих концах линии установлены ионные преобразователи с управляющими сетками. Каждый преобразователь состоит из 16 одноанодных вентилей с ртутным катодом, в том числе 12 рабочих. Рабочие вентили соединены в две группы, включенные между собой последовательно (рис. 2). Режим выпрямления—12-фазный. Параллельно каждой группе включена цепочка из двух резервных вентилей. Помимо резервирования эти вентили автоматически кратковременно шунтируют соответствующую группу при аварийном запаривании сеток в рабочих вентилеях и позволяют тем самым при обратных зажиганиях в одной из групп сохранить в работе вторую.

Строительство передачи было закончено в конце 1944 г. Исследованию подлежат нормальные и аварийные режимы, влияние передачи на линии телефонной связи, наконец, возможность использования земли в качестве обратного провода. Стоимость передачи (исключая стоимость линии) составляет 1,3 млн. крон.

Инж. Е. К. ВИННИЧЕНКО

D. Burger. Дистанционное управление. *Bull. Ass. Suisse des Electr., стр. 829—839, т. 36, № 25, 12 декабря 1945.*

Проблема управления электроснабжающей системой на расстоянии не нова, она возникла лет 40 тому назад. Однако, более или менее удовлетворительные решения этой проблемы были достигнуты только за последние 15 лет.

К объектам такого управления можно отнести: 1) ежедневное и периодическое регулирование тарифной шкалы счетчиков; 2) управление освещением общего пользования и бытовым; 3) управление приборами для аккумуляирования электроэнергии (регулирование нагрузки гидроэлектростанции включением подогревателей воды и т. п.).

Одной из наиболее разработанных и применяемых в настоящее время за рубежом систем управления является система Actadis («action à distance»). Ниже мы приводим краткое описание этой системы в той ее модификации, которая принята и успешно работает уже ряд лет в Женеве

Принцип системы «Actadis» состоит в подаче на существующие линии передачи токов тональной частоты, которые накладываются на основной ток 50 Hz. Установка состоит в основном из источника тональной частоты, средств связи этого источника с главной сетью и ряда приемных реле. Особенностью приемных реле является их нечувствительность к частоте 50 Hz и чувствительность к одной из передаваемых частот. Из схемы рис. 1 видно, что ток тональной частоты подается на питательные фидеры, идущие от главных шин к квартальным трансформаторным киоскам 18 000/220 V. Отсюда уже по сети низкого напряжения эти токи попадают в телереле, установленные на месте нахождения управляемых приемников тока. Перед реле установлены фильтры, пропускающие только токи тональной частоты.

Передачик системы «Actadis» состоит из двух агрегатов. Первый из них включает в себя трехфазный двигатель 380 V, 75 kW, 1 450 об/мин и шунтовую динамомашину, с дополнительными полюсами на 220 V, 66 kW. Напряжение динамомашин поддерживается постоянным посредством включения в ее обмотку возбуждения серии ламп—сопротивлений. От этой динамомашин питается шунтовой двигатель второго агрегата 220 V, мощностью в 59 kW. Этот двигатель в свою очередь вращает трехфазный многополюсный генератор 1 000 V, 50 kW, имеющий 40 полюсов, который дает токи тональной частоты 400 ÷ 910 Hz. На валу двигателя сидит и тахогенератор на 70 V, 5 A. В качестве резерва имеется второй такой же комплект передачика.

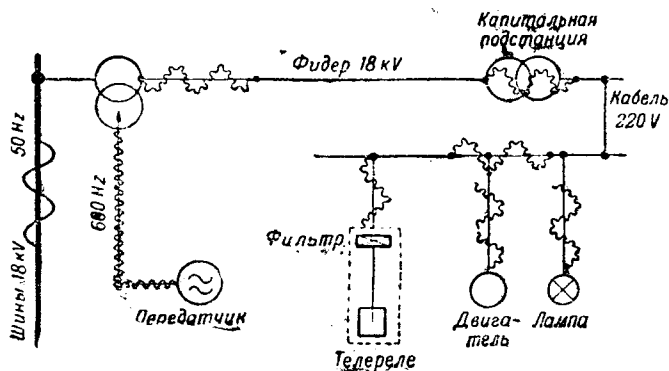


Рис. 1.

Щит управления состоит из трех панелей. На средней панели смонтировано 13 кнопок, соответствующих 13 возможным частотам. 3 амперметра, сигнальные лампочки и кнопки для приостановки выполняемой операции. Для распределения командного тока по фидерам имеется специальная решетка (наподобие телеграфного швейцарского коммутатора), помещенная внутри щита, на которой можно при помощи фишек производить включения того или иного фидера.

Левая панель—панель собственных нужд. Здесь размещены реле частоты, действующие на моторный привод редукторов для поддержания устойчивой скорости генератора. Тут же размещаются контрольные вольтметры и распределитель, подающий ток на распределительную решетку с моторным приводом.

Правая панель—контроль: сигнальные лампы показывают в каждый данный момент положение приемников в сети. Здесь размещается регистрирующий аппарат с шестью перьями, записывающий время подачи командных токов, двое часов и резервный распределитель на случай отказа распределителя, установленного на левой панели.

Наложение тонального тока на основной (50 Hz) производится при помощи специального трансформатора, первичная обмотка которого включена последовательно в линию высокого напряжения, а вторичная—в цепь генератора тональных частот. Принципиальная схема всей установки дана на рис. 2. Токи управления показаны пунктиром.

Если обозначить через Z полное сопротивление сети (рис. 2), куда передается ток управления, Z_a —полное сопротивление части сети, расположенной влево от трансформатора управления, а Z_n вправо от него, то

$$Z = Z_a + Z_n.$$

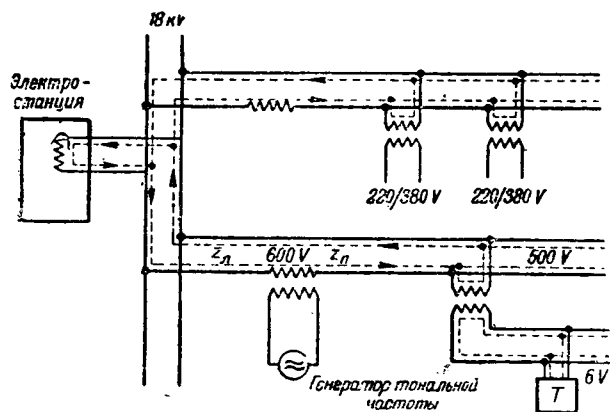


Рис. 2.

Напряжения передачи распределяются пропорционально полным сопротивлениям сети, т. е.

$$U = U_n + U_a \text{ и } \frac{U}{Z} = \frac{U_a}{Z_a} = \frac{U_n}{Z_n}.$$

Следовательно, для работы системы нужно, чтобы Z_a было всегда меньше чем Z_n . Левая часть сети всегда состоит из ряда параллельных фидеров, в то время, как правая часть представляет собой один лишь путь для тока, поэтому полное сопротивление левой части всегда будет меньше, чем правой. Специальное вольтметровое реле действует на возбуждение генератора и поддерживает его напряжение практически постоянным.

Как показали расчеты, для надежного действия системы напряжение тока управления должно быть порядка 3% от номинального напряжения сети, а потребная при этом мощность—3% от мощности тока 50 Hz.

На месте приема сигнала устанавливается телереле, состоящее из трех частей: электрической схемы, селективных вибраторных пластин и механизма—демультипликатора. При помощи этого устройства вибрирующее движение пластины превращается во вращательное движение зубчатого колеса. Через системы зубчатых колес это движение вызывает поворот ртутного выключателя, что влечет за собой его замыкание или размыкание. Каждое реле имеет две пластины и два зубчатых колеса: один комплект для выполнения команды, а другой для обратной операции. Сила тонального тока, протекающего через реле, —около 30 мА. Во избежание срабатывания реле на случайные частоты выше 50 Hz, для их работы выбраны частоты, отстоящие довольно далеко от девятой гармоники основного тока (420 и 480 Hz).

В момент передачи на зажимах телереле появляется добавочное напряжение тональной частоты в 6,5 V. Если для тока 500 Hz внутреннее индуктивное сопротивление становится в 10 раз больше, то емкость уменьшается в 10 раз и полное сопротивление реле для тока этой частоты уменьшается. Поэтому при тональном напряжении в 33 раза меньше эксплуатационного через обмотку электромагнита проходит ток порядка 30 мА. Таким образом, комплекс электромагнит, трансформатор и конденсатор образует первый, довольно грубый фильтр. Вторым фильтром являются сами вибраторные пластины реле, действующие по тому же принципу, что и ламели частотомеров. Под влиянием обра-

зующегося магнитного поля раскачается та пластина, собственные колебания которой имеют ту же частоту, что и поле.

Возможно, что при каком-нибудь случайном токе, хотя и не будет резонанса, но все же пластина будет немного колебаться, причем это колебание окажется достаточным для движения зубчатого колеса, в результате чего может произойти ошибочное включение. Следовательно, необходим еще один, третий, фильтр, исключающий возможность ошибочного срабатывания. Таким фильтром является специальное центробежное устройство, которое срабатывает только при определенной скорости движения зубчатого колеса, которая может иметь место только при полной амплитуде колебаний вибраторных пластин. Неоновая лампочка играет роль предохранителя и регулятора. Она поглощает излишнюю энергию, если тональное напряжение слишком велико, и ограничивает ток в случае полного резонанса.

Телереле монтируется в виде блока. В одном шкафу может быть установлено 2—3 блока, например одно реле для включения освещения лестниц дома, другое для включения подогревателя воды и третье для переключения тарифов счетчиков, установленных в данном доме.

Для целей управления применяются различные тональные частоты, в пределах от 400 до 1000 Hz, при этом остаются необходимые интервалы для обеспечения надежной селективности. В указанных пределах можно, таким образом, избрать 13 частот. Если этих частот нехватает, то можно модулировать одну из тональных частот на низкой частоте, порядка 1 Hz. Это даст еще 10 ÷ 20 дополнительных частот.

Теперь проследим полный процесс передачи и выполнения команды. Для передачи какой-либо команды необходимо нажать соответствующую кнопку на командном щите. При этом начнет вращаться трехфазный двигатель первого агрегата. Как только связанная с ним динамомашинка даст 220 V, замкнется реле напряжения и начнется пуск второго агрегата, путем постепенного (в три приема) выключения сопротивления в цепи возбуждения двигателя постоянного тока. Число оборотов агрегата будет постепенно возрастать, пока не достигнет соответствующей частоты данной команды. При этом сработает частотное реле, которое через средство пульты скоростей будет поддерживать число оборотов двигателя, необходимое для получения избранной частоты, с точностью до 0,5%. Таким образом, источник тока тональной частоты готов к передаче. Теперь начнет работать распределитель и в течение нескольких секунд подготавливает передачу в первый фидер. Специальный выключатель подключает линейный трансформатор к генератору передатчика и ток тональной частоты подается на высоковольтную сеть. Этот ток идет по фидеру, через понижающие квартальные трансформаторы в низковольтную сеть и попадает в телереле, настроенные на данную частоту и выполняющие полученную команду. Через 25 sec. передача по первому фидеру прерывается. В течение 5 sec. распределитель подготавливает включение следующего фидера и т. д. По окончании передачи в фидеры агрегаты передатчика выключаются и останавливаются. Таким образом, передача сигналом на 10 фидеров занимает $10 \times 30 \text{ sec.} = 5 \text{ min.}$, а включая время на пуск и пр., получаем общее время операции—7—8 min.

Описанная система представляет интерес как решение большой технической проблемы. Конечно, в наших условиях область применения подобных устройств может быть отличной от описанной выше. Самые же устройства—запатентованные типы и конструкции реле также могут потребовать пересмотра.

Инж. А. Г. ФАЙН



ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

В редакцию поступило от кандидата технических наук, доцента Харьковского электротехнического института В. В. Гусева письмо, в котором указывается, что описанная Michelson в журнале *El. Eng.*, № 5, 1945 г. (Электричество, реферат, стр. 93, № 5, 1946) схема дифференциальной защиты трансформаторов с применением реле и сухих выпрямителей, была предложена еще в 1940 г. В. В. Гусевым (авторское свидетельство № 59215 от 19 июня 1941 г.).

Указатель материалов, помещенных в журнале Электричество в 1946 г.

Статьи и авторефераты (в алфавитном порядке)

Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.	Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.
Айзенберг Б. Л. — Селективная система плавких предохранителей	5	77	Буткевич Ю. В. — Лаборатория разрывных мощностей ВЭИ	11	40
Али-Заде А. С. — Исследование молнии в Закаталах	6	78	Быбышев В. Т. — Современные тенденции и задачи в области электрооборудования металлорежущих станков	3	48
Альтгаузен О. Н. — Магнитодиэлектрики на основе сплава альсифер	9	57	Быков М. А. — Метод получения многоомных образцов постоянной времени	9	61
Андреев В. В. — Аналитическое решение уравнений четырехполосника и его применение к расчету линий электропередачи	10	56	Вайнберг А. Я. — Электрический индикатор разрыва газопровода	3	83
Андрианов К. А., Поюровская Э. И., Шишкин С. В. — Новая изоляция электрических машин	2	49	Веденеев Б. Е. — Молотовская область — энергетическая база Урала	2	5
Андрианов К. А., Грибанова О. И., Гамбарова Д. А. и Карпова А. Л. — Новые теплостойкие диэлектрики — силиконы	4	39	Академик Б. Е. Веденеев — Некролог	9	1
Аркадьев В. К. — Из воспоминаний о Петре Николаевиче Лебедеве	9	69	Вейтков Ф. Л. — Даты истории электричества, электротехники и электрификации СССР	9	71
Арутюнов В. О. — Ферродинамический компарационный логометр	10	62	Вейц В. И. — Основные вопросы энергетического баланса и направление развития энергохозяйства Западного Урала	2	9
Атабеков Г. И. и Смородинский Я. М. — Быстродействующая фильтровая высокочастотная защита	1	57	Вейц В. И. — Некоторые вопросы развития энергетики Германии в период войны	12	48
Балыгин И. Е. — О некоторых физических процессах в 35-kV кабелях в связи с частичными пробоями изоляции	2	77	Веников В. А. и Ульянов С. А. — Упрощенный метод расчета токов короткого замыкания с учетом качаний генератора	2	73
Балыгин И. Е. — Емкостный делитель высокого напряжения с экранировкой	5	84	Воеводин П. И. — Никола Тесла (к 90-летию со дня рождения)	11	78
Барзам А. Б. — К вопросу расчетов токов короткого замыкания и действия релейной защиты	11	62	Вологдин В. П. — От лейденской банки до конденсатора будущего	2	20
Безруков Ф. В. — Улучшение характеристик трубчатых разрядников из органического стекла	9	54	Вологдин В. П. — Новый генератор повышенных и высоких частот	8	28
Белопитов Н. — К применению в электросетях трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой	7	31	Волощенко Н. Ф. — Влияние барьеров на электрическую прочность воздушных промежутков	3	21
Богородицкий Н. П. и Фридберг И. Д. — Конструирование и расчет мощных высокочастотных конденсаторов	11	50	Воропанов М. В. — Высокоинтенсивная дуга малой мощности	8	67
Брагин С. М. — Высоковольтный кабель постоянного тока	2	16	Воскресенский А. А. и Воскресенская Е. Ф. — Уравнения кривых намагничивания трансформаторной стали	4	62
Брагин С. М. — Исследование электрических характеристик кабельной изоляции на моделях кабеля	12	28	Вул Б. М. — Вещества с высокой и сверхвысокой диэлектрической проницаемостью	3	12
Буйлов А. Я. — Основные типы современных выключателей высокого напряжения	5	16	Вульф А. А. и Щербачев О. В. — Режим короткого замыкания в линиях электропередачи, настроенных на полволны	4	56
Буль Б. К. — Расчет вращающего момента индукционного реле направления мощности	4	64	Вульфсон К. С. — Импульсный разряд в инертных газах	11	16
Бургсдорф В. В. — Расчет тока и времени плавления голыбеда на линиях электропередачи	2	69	Гаврилов М. А. — Методы синтеза релейно-контактных схем	2	54
Бутаев Ф. И., Савицкий В. Л. и Эттингер Е. Л. — Одноанодные ртутные выпрямители	11	29	Гейлер Л. Б. — О формулах напрева двигателей и динамики электропривода	1	79
Буткевич Ю. В. и Бронштейн А. М. — Выключатель с твердым газогенерирующим веществом 6—10 kV, 220—300 тыс. kVA	5	35	Гейлер Л. Б. — О выборе асинхронного двигателя по среднему квадратичному моменту и току	4	59
			Гейнин Н. Г. — Оптимальное местоположение узловой точки в трехлучевых схемах электросетей	3	76
			Герценштейн И. Г. — Закономерности грокальвающего пробоя силовых кабелей	8	51
			Герценштейн И. Г. — Распределение пустот в изолирующем слое силовых кабелей	12	33

Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.	Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.
Гинзбург С. А. — Электрический дифференциал для суммирования показаний мощности	1	77	— К новым задачам послевоенного развития энергетики основных районов	2	3
Гинзбург С. А. — Динамический расчет приемника частотно-импульсного телеизмерения	8	71	Каганов И. Л. — Система передачи электрической энергии на далекие расстояния постоянным током	1	20
Глазунов А. А. — Определение сечения проводов воздушных линий и жил кабелей	6	34	Кантер А. С. — К вопросу относительной стоимости конструкции с постоянными магнитами	7	59
Глазунов А. А. и Геликонский С. А. — Наиболее выгодное число промежуточных напряжений в электрических системах	7	35	Кантор Р. М. — Коммутационные перенапряжения при отключении линий, работающих в режиме холостого хода	2	25
Глазунов А. А. — Некоторые вопросы электрических станций и сетей (По материалам международной конференции по сетям высокого напряжения электрических систем, Париж, 1946)	12	6	Караулов Н. А. — Электрификация сельского хозяйства на основе использования энергии малых рек	1	50
Голубев Д. В. — Расчет магнитной цепи генератора, сохраняющего неизменный поток в якоре	11	65	Карякин Н. А. — Эффект высокой интенсивности в вольтовой дуге постоянного тока между угольными электродами	3, 4	27, 45
Голубцова В. А. — Вопросы подготовки инженерных кадров для энергетика	4	3	Ключин Г. В., Иванов В. А. — Обеспечение равномерного прогрева изделий при индукционной закалке	7	62
Гольдман А. Л. и Дружинин В. В. — Магнитные свойства холоднокатанной трансформаторной стали	10	39	Кодкин И. И. — Анализ работы компаундированного синхронного генератора	4	36
Городский Д. А. — Пример расчета установившихся значений динамических перенапряжений	6	73	Комар В. Г. — Расчет селеновых выпрямителей	9	46
Горяинов Ф. А. и Салгус Г. К. — К расчету амплитудного генератора	2	37	Комельков В. С. — Синхронизация импульсных схем заторможенным искровым разрядом	2	75
Горяинов Ф. А. — Время возбуждения регулятора	12	59	Комельков В. С. — Термические воздействия токов молнии	4	52
Грудинский П. Г. — О потерях энергии и затратах цветного металла в энергосистемах	6	4	Костенко М. В. — Деформация волн перенапряжения на проводах воздушных линий вследствие импульсной короны	1	65
Грудинский П. Г., Подольский Л. П. и Эбин Л. Е. — О ловых правилах устройства заземления в установках сильного тока	6	83	Костенко М. П., Попов В. К., Рабинович И. Н. — Обсуждение статьи Е. Я. Казовского	3	85
Гутенмахер Л. И., Градштейн И. С. и Тафт В. А. — Электрическое моделирование физических процессов при помощи матричных схем с усилителями	3	35	Костров М. Ф. и Бирюков В. Г. — 25 лет Всесоюзного электротехнического института ВЭИ	11	3
Дмитриев Е. И. — Расчет фигурных реостатов	3	67	Кравец Т. П. — От физики Максвелла к ядерной энергетике	9	10
Дмитриев Е. И. — Расчет функциональных делителей напряжения	5	81	Кравчик Э. Д. — Анализ влияния отдельных параметров на коэффициент мощности асинхронных двигателей	10	54
Ермолинский Н. Н., Шефтель Е. Б. — Люминесцентные лампы в текстильной промышленности	8	16	Кравчик Э. Д. — Влияние аксиального смещения ротора на характеристики малых асинхронных двигателей	12	62
Ефроймович Ю. Е. — Совместная работа автоматических регуляторов на трехфазных электросталеплавильных печах	5	62	Крикунчик А. Б. — Упрощение метода расчета токов короткого замыкания для выбора выключателей	12	23
Жданов Б. Г. — Анализ опыта эксплуатации ртутных выпрямителей на московском метрополитене	5	49	Круг К. А. — Проблема передачи электроэнергии на сверхдлинные расстояния	3	3
Жданов П. С., Веников В. А. — Устойчивость электрических систем при перегрузках	3	60	Кугушев А. М. — О выборе частоты при индукционном нагреве	12	42
Жданов П. С. — Перспективы передачи электроэнергии переменным током на большие расстояния	4	7	Лаврухин М. А. — Работа электросчетчиков при низкой температуре	3	72
Займовский А. С. — Задачи науки и техники в области электротехнических сплавов	9	31	Левин М. И. — Общие свойства измерительных схем	2	63
Захарин А. Г. — Энергетическая классификация сельскохозяйственных районов по условиям электроснабжения	7	15	Листов П. Н. — Некоторые вопросы теории электропращора	7	26
Илясов Б. П. — Новые тиратроны и газотроны	11	24	Люстерник Л. А. — Вычисление собственных значений и функций на электрической схеме	11	67
Иосифьян А. Г., Каган Б. М., Шереметьевский Н. Н. — Теория амплитудно-синхронно-следящей системы	3	41	Марьяновский Д. И. — Устойчивость линейных систем автоматического регулирования	9	15
Иоффе А. Б. — О коммутации тяговых двигателей при неустановившихся режимах	2	46	Меркин Г. Б. — К определению активного сопротивления обратной последовательно-сти в синхронных машинах	11	68
Иоффе А. Ф. — Полупроводники и их применение	1	3	Миц А. Л., Модель З. И. и Персон С. В. — Опыт односторонне направленного вещания на длинных волнах	8	42
			Миткевич В. Ф. и Шостын Н. А. — Михаил Андреевич Шателен	1	42
			Михайлов М. И. — Влияние контактной сети метрополитена на кабельные цепи связи	6	75

Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.	Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.
Москвитин А. И. — Машина с переменными параметрами в качестве спидометра-частотомера	10	57	Сыромятников И. А. — Повышение устойчивости электрических систем и обеспечение надежности электроснабжения потребителей	6	43
Невяжский И. Х. — Развитие техники радиопередающих устройств	8	33	Тельный С. И. — Автоматическое регулирование трехфазных дуговых электропечей	5	53
Нелепец В. С. — Об эквивалентной схеме замещения электролитического конденсатора	8	69	Тимирязев А. К. — Александр Григорьевич Столетов. К пятидесятилетию со дня смерти	12	68
Никитин В. П., Туркин В. К., Кунницкий Н. П. — Устойчивость работы и переходные процессы электроприводов с двигателями постоянного тока	4	23	Трапезников В. А. — Обобщенные условия соизмерности трансформаторов и электрических машин	2	31
Новиков А. П. — Преобразование электрического многоугольника в эквивалентную звезду	10	59	Трапезников В. А., Чечет Ю. С. — Оптимальные асинхронные двигатели	6	15
Новые лауреаты Сталинских премий — электрики	9	5	Трейвас М. Д. — Игнитроны на электрифицированном транспорте	3	79
Папалекс Н. Д. — К вопросу об измерении расстояния от земли до луны с помощью электромагнитных волн	5	9	Трухманов И. С. — К итогам испытаний воздушного выключателя на 110 kV в энергосистеме	5	31
Перекалин М. А. — Графический метод определения положения нейтрали в трехфазной системе	9	58	Тумерман Л. А. — Люминесцентное освещение и задачи его внедрения	8	3
Петров В. И. и Петров И. И. — О методах определения мощности электродвигателей при переменной нагрузке	4	30	Урнов К. В. — Система Леонарда с вольтодобавочными машинами для широкого электрического регулирования скорости	10	51
Петров Г. Н. и Окунь С. С. — Компенсация погрешностей трансформаторов тока подмагничиванием сердечника полем рассеяния	8	46	Успенский Б. С., Якуб Ю. А. — Основные принципы проектирования электромеханической части многоагрегатных водосливных гидроэлектростанций большой мощности	4	14
Пиотровский Л. М. — Геометрическое место токов асинхронной машины с переменным насыщением стали	2	42	Фабрикант В. А. — Современная физика и энергетика	5	3
Пиотровский Л. М. — Развитие круговой диаграммы асинхронной машины за 50 лет	6	69	Фабрикант В. Л. — Применение симметричных составляющих к трехфазным системам в свете теории Крона	3	82
Пироцкий П. П. — Применение осциллографа для получения диаграммы моментов вращения электродвигателя	1	75	Фазылов Х. Ф. — Обобщенный метод расчета потоков распределения мощностей в сложных цепях	11	54
Поливанов К. М. — Теорема вариации параметров линейной электрической цепи	2	60	Файбисович И. Л. — Автоматическое отключение контактного провода в случае его обрыва	5	85
Потужный А. К., Фертик С. М. — Затухание блуждающих волн очень высокого напряжения в 110-kV линии электропередачи	6	52	Фрейдзон И. Р. — Электрическое оборудование гребной установки турбоэлектродвигов «Иосиф Сталин» и «Вячеслав Молотов»	3	54
— Проблема расхода металла и снижения потерь электроэнергии в электрохозяйстве СССР	6	3	Френкель Я. И. — Атмосферное электричество и грозовые явления	10	5
Пружинкина-Грановская В. И. — Новый тип линейных объемных сопротивлений «дефар»	11	45	Фюрстенберг А. И. — Лампочка накаливания, как индикатор для электрических и радиотехнических измерений	11	69
Рабинович А. А. — Новые задачи в области электрооборудования для транспорта	12	33	Холмский В. Г. — Питание разомкнутых электрических сетей по схеме независимых нитей	2	66
Рабинович С. И. — Условия соизмерности и коэффициент полезного действия трансформаторов	6	27	Холмский В. Г. — О рациональном распределении проводникового металла и потерь энергии в звеньях электрической системы	7	67
Ренне В. Т. — Современные конденсаторостроения	8	13	Цейров Е. М. — Гасительная камера воздушного выключателя ВЭИ на 110 kV	5	24
Савицкий В. Л. — Мощный однофазный ртутный выпрямитель	11	35	Цейров Е. М. — О некоторых вопросах газодинамики воздушного выключателя	12	14
Сазонов Н. А., Будзко И. А. — Основные научно-технические задачи развития сельской электрификации СССР	7	3	Цейтлин Л. А. — Общие основания расчета коэффициентов самоиндукции кристаллических проводов	7	52
Сербиновский Г. В., Славский А. М. — О тарифах на электроэнергию	6	39	Цивьян Л. Я. — Рационализация электропривода в сельском хозяйстве	7	21
Сердинов С. М. — Итоги и перспективы электрификации железных дорог	1	46	Цыпкин Я. З. — Нерезонансные электрические цепи с переменным параметром	8	61
Соловьев И. И. — Развитие релейной защиты и автоматики энергосистем	10	16	Шальников А. И. и Шарвин Ю. В. — Сверхпроводимость	1	11
Стекольников И. С. — Сверхмощный генератор импульсных токов	3	81	Шателен М. А. — Знаменательная дата в развитии электрификации СССР	10	3
Стекольников И. С. — Современное состояние катодной осциллографии	10	28	Шателен М. А. — Собрание Международных энергетических объединений в 1946 г.	12	3
Стеценко В. Г. — Новая конструкция электрического трактора	7	65	Академик К. И. Шенфер — Некролог	5	86
Суетин Т. А. — Стенотрон-ионная генераторная лампа	5	44	Шляпошников Б. М. — Новые возможности развития тяговых подстанций электрифицированных железных дорог	6	58

Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.	Авторы и названия статей и авторефератов	№ жур-нала	стр.
Шостын Н. А. — Петр Николаевич Лебедев. К 80-летию со дня рождения . . .	9	63	Щедрин Н. Н. — К теории сложных несимметричных режимов электрических систем	5	66
Шпильберг П. И. — Электрические потенциалы человеческого мозга	1	70	Щуров С. В. — Итоги и перспективы электрификации сельского хозяйства СССР	7	11
Шрамков Е. Г. — Магнитные эталоны . . .	7	42	Эпштейн Я. С. — Электромеханические усилители ВЭИ	11	59
Штейн Б. Б. — Определение нестационарных явлений в сложной системе с помощью частотных характеристик	7	69	Юдицкий С. Б. — Малая электрическая станция с самовозбуждающимся синхронным генератором	1	54
Штурман Г. И. — Индукционные машины с разомкнутым магнитопроводом	10	43	Юдицкий С. Б., Немчин С. Ю. — Влагостойкость и водостойкость твердых выпрямителей	3	64
Шухатович М. Ю. — Задачи развития электрического привода врубных машин и конвейеров	4	20			

II. Тематический указатель материалов

Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.	Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.
I. ФИЗИЧЕСКИЕ И ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ			Щедрин Н. Н. — К теории сложных несимметричных режимов электрических систем	5	66
Статьи и авторефераты			II. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ		
Вульфсон К. С. — Импульсный разряд в инертных газах	11	16	Статьи:		
Гутенмахер Л. И., Градштейн И. С. и Тафт В. А. — Электрическое моделирование физических процессов при помощи матричных схем с усилителями	3	35	Веденеев Б. Е. — Молотовская область — энергетическая база Урала	2	5
Иоффе А. Ф. — Полупроводники и их применение	1	3	Вейц В. И. — Основные вопросы энергетического баланса и направления развития энергохозяйства Западного Урала	2	9
Кравец Т. П. — От физики Максвелла к ядерной энергетике	9	10	Вейц В. И. — Некоторые вопросы развития энергетики Германии в период войны	12	47
Люстерник Л. А. — Вычисление собственных значений и функций на электрической схеме	11	67	Голубцова В. А. — Вопросы подготовки инженерных кадров для энергетики	4	3
Новиков А. П. — Преобразование электрического многоугольника в эквивалентную звезду	10	59	Сербиновский Г. В. и Славский А. М. — О тарифах на электроэнергию	6	39
Папалекси Н. Д. — К вопросу об измерении расстояния от земли до луны с помощью электромагнитных волн	5	9	Рефераты:		
Поливанов К. М. — Теорема вариации параметров линейной электрической цепи	2	60	Возможности гидроэнергостроительства в Китае	1	92
Фабрикант В. А. — Современная физика и энергетика	5	3	Ветроэлектрическая энергия	2	92
Фабрикант В. Л. — Применение симметричных составляющих к трехфазным системам в свете теории Крона	3	82	Схема использования гидроресурсов р. Миссури	2	93
Фазылов Х. Ф. — Обобщенный метод расчета потоков распределения мощностей в сложных цепях	11	54	Влияние военных факторов на электрохозяйство в Англии (обзор)	4	88
Френкель Я. И. — Атмосферное электричество и грозовые явления	10	5	Электрохозяйство Франции в период войны (обзор)	6	90
Цейтлин Л. А. — Общие основания расчета коэффициентов самоиндукции криволинейных проводов	7	52	Структура капиталовложений по американским энергосистемам общего пользования. Электрификация США в 1945 г. (обзор)	6	92
Цыпкин Я. З. — Нерезонансные электрические цепи с переменным параметром	8	61	Электрификация США в 1945 г. (обзор)	8	90
Шальников А. И. и Шарвин Ю. В. — Сверхпроводимость	1	11	Электрохозяйство Швеции	12	85
Шпильберг П. И. — Электрические потенциалы человеческого мозга	1	70	По страницам технических журналов США	1	90
Штейн Б. Б. — Определение нестационарных явлений в сложной системе с помощью частотных характеристик	7	69		3	95
				4	94
				10	92
			III. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, СТАНЦИЙ, СЕТИ И ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ		
			Статьи и авторефераты		
			Андреев В. В. — Аналитическое решение уравнений четырехполосника и его применение к расчету линий электропередачи	10	56
			Белопитов Н. — К применению в электро-сетях трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой	7	21

Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.	Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.
Бургсдорф В. В. — Расчет тока и времени плавления гололеда на линиях электропередачи	2	69	Первые результаты эксплуатации межконтинентальной связи постоянным током высокого напряжения в США	3	91
Веников В. А. и Ульянов С. А. — Упрощенный метод расчета токов короткого замыкания с учетом качаний генератора	2	73	Однофазные распределительные электрические сети в США (обзор)	4	85
Вульф А. А. и Щербачев О. В. — Режим короткого замыкания в линиях электропередачи, настроенных на подволны	4	50	Гидроэлектростанция Брайдж Каньон Дам	6	93
Гейнин Н. Г. — Оптимальное местоположение узловых точки в трехлучевых схемах электросетей	3	76	Новый метод снижения электропотребления собственных нужд на гидроэлектростанциях	6	94
Глазунов А. А. — Определение сечений проводов воздушных линий и жил кабелей	6	34	Переносные силовые агрегаты	6	94
Глазунов А. А. и Геликонский С. А. — Наиболее выгодное число промежуточных напряжений в электрических системах	7	35	Гидроэлектростанция Портйон в Пиренеях	8	92
Глазунов А. А. — Некоторые вопросы электрических станций и сетей (По материалам международной конференции по сетям высокого напряжения электрических систем, Париж, 1946)	12	6	Исследование стоимости систем воздушных линий передач напряжением от 69 до 345 kV в США	8	92
Грудинский П. Г. — О потерях энергии и затратах цветного металла в энергосистемах	6	4	Новые исследования по проблеме передачи энергии постоянным током в Швейцарии (обзор)	9	85
Жданов П. С. и Веников В. А. — Устойчивость электрических систем при перегрузках	3	60	Эксплуатация энергосистемы «грид» в 1945 г.	10	84
Жданов П. С. — Перспективы передачи электроэнергии переменным током на большие расстояния	4	7	Экспериментальная линия электропередачи постоянного тока	12	85
Каганов И. Л. — Система передачи электрической энергии на дальние расстояния постоянным током	1	20	IV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТРАНСФОРМАТОРЫ		
Крикунчик А. Б. — Упрощение метода расчета токов короткого замыкания для выбора выключателей	12	23			
Круг К. А. — Проблема передачи электроэнергии на сверхдальние расстояния	3	3	Статьи и авторефераты:		
Перекалин М. А. — Графический метод определения положения нейтрали в трехфазной системе	9	58	Воскресенский А. А. и Воскресенская Е. Ф. — Уравнения кривых намагничивания трансформаторной стали	4	62
Сыроматников И. А. — Повышение устойчивости электрических систем и обеспечение надежности электроснабжения потребителей	6	43	Гейлер Л. Б. — О выборе асинхронного двигателя по среднему квадратному моменту и току	4	59
Успенский Б. С. и Якуб Ю. А. — Основные принципы проектирования электромеханической части многоагрегатных водосливных гидроэлектростанций большой мощности	4	14	Голубев Д. В. — Расчет магнитной цепи генератора, сохраняющего неизменный поток в якоре	11	65
Файбисович И. Л. — Автоматическое отключение контактного провода в случае его обрыва	5	85	Горяинов Ф. А. и Салгус Г. К. — К расчету амплитудного генератора	2	37
Холмский В. Г. — Питание разомкнутых электрических сетей по схеме независимых нитей	2	66	Кантер А. С. — К вопросу относительной стоимости конструкции с постоянными магнитами	7	59
Холмский В. Г. — О рациональном распределении проводникового металла и потерь энергии в звеньях электрической системы	7	67	Кодкин И. И. — Анализ работы компаундированного синхронного генератора	4	36
Юдицкий С. Б. — Малая электрическая станция с самовозбуждающимся синхронным генератором	1	54	Кравчик Э. Д. — Анализ влияния отдельных параметров на коэффициент мощности асинхронных двигателей	10	54
Рефераты:			Кравчик Э. Д. — Влияние аксиального смещения ротора на характеристики малых асинхронных двигателей	12	62
Передача энергии на дальние расстояния	2	94	Меркин Г. В. — К определению активного сопротивления обратной последовательности в синхронных машинах	11	68
Гидроэлектрические установки Индии	3	91	Пиотровский Л. М. — Геометрическое место токов асинхронной машины с переменным насыщением стали	2	42
			Пиотровский Л. М. — Развитие круговой диаграммы асинхронной машины за 50 лет	6	69
			Рабинович С. И. — Условия соразмерности и коэффициент полезного действия трансформаторов	6	27
			Трапезников В. А. — Обобщенные условия соразмерности трансформаторов и электрических машин	2	31
			Трапезников В. А. и Четет Ю. С. — Оптимальные асинхронные двигатели	6	15
			Штурман Г. И. — Индукционные машины с разомкнутым магнитопроводом	10	43
			Эпштейн Я. С. — Электромеханические усилители ВЭИ	11	59
			Рефераты:		
			Силовые высоковольтные трансформаторы со сжатым газом	1	95

Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.
Стандартизация электрической прочности и характеристики изоляций масляных трансформаторов	2	95
Характеристики, применение и экономичность преобразователей частоты	3	93
Новые конструкции высоковольтных и мощных трансформаторов (обзор)	4	89
Намагничивающий ток включения трансформаторов и его влияние на работу сети	4	90
Новое в импульсных испытаниях трансформаторов (обзор)	6	91
Новые стандарты на турбогенераторы	5	91
Конструкция трансформаторов типа Variac	5	92
Бесконтактный регулировочный трансформатор с плавным регулированием напряжения	5	92
Методы обнаружения импульсных пробоев в распределительных трансформаторах	5	93
Электрическая прочность и защита современных сухих трансформаторов	9	89
Метод точного определения вторичного напряжения трансформаторов путем измерения на первичной стороне	10	85
V. ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ		
Статьи и авторефераты:		
Быбшев В. Т. — Современные тенденции и задачи в области электрооборудования металлорежущих станков	3	48
Гейлер Л. Б. — О формулах нагрева двигателей и динамики электропривода	1	79
Горяинов Ф. А. — Время возбуждения регулятора	12	59
Иосифьян А. Г., Каган Б. М. и Шереметьевский Н. Н. — Теория амплитудно-селективной синхронно-следящей системы	3	41
Никитин В. П., Туркин В. К. и Куницкий Н. П. — Устойчивость работы и переходные процессы электропривода с двигателями постоянного тока	4	23
Петров В. И. и Петров И. И. — О методах определения мощности электродвигателей при переменной нагрузке	4	30
Урнов К. В. — Система Лезарда с вольтодобавочными машинами для широкого электрического регулирования скорости	10	51
Шухатович М. Ю. — Задачи развития электрического привода врубных машин и конвейеров	4	20
Рефераты:		
Электروهидравлический стабилизатор орудия танка. Гирокоп для стабилизации танковых орудий	1	92
Регулируемый электропривод вентиляторов аэродинамических труб	1	93
Электростатическая окраска и сушка	9	94
Энергия для управления орудийным огнем «В-29»	10	87
Электропривод вспомогательных устройств тепловых электрических станций	10	86
Электродвигатели приводов постоянной и переменной скорости вспомогательных устройств центральных электрических станций	10	86
Приводы постоянного тока для генераторов самолетов	10	87
Современные перегружательные краны	11	92
Сравнение различных исполнений электрического привода подъемников	11	92
VI. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА		
Статьи:		
Иoffee А. Б. — О коммутации тяговых двигателей при неустоявшихся режимах	2	46

Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.
Рабинович А. А. — Новые задачи в области электрооборудования для транспорта	12	38
Сердинов С. М. — Итоги и перспективы электрификации железных дорог	1	46
Трейвас М. Д. — Игнитроны на электрифицированном транспорте	3	79
Фрейдзон И. Р. — Электрическое оборудование гребной установки турбоэлектроходов «Иосиф Сталин» и «Вячеслав Молотов»	3	54
Шляпошников Б. М. — Новые возможности развития тяговых подстанций электрифицированных железных дорог	6	58
Рефераты:		
Успокаивающее воздействие двигателей постоянного тока гребных установок судна на колебания, производимые на валу привода большими гребными винтами	2	95
Прогресс пассажирского транспорта в США	3	94
Заземление электрических цепей в самолетах экипажах	3	94
Турбовоз с газовой турбиной и электрической передачей	4	92
Развитие электромобилей в Англии в послевоенный период (обзор)	5	94
Электричество на судах	5	95
Опыт эксплуатации Паулистской и Центральной электрических железных дорог в Бразилии	5	95
Тяговая передвижная подстанция	6	95
К вопросу о системе тока для электрических магистральных железных дорог	8	93
Электрификация гребного привода морских судов в современном судостроении	8	94
Послевоенное развитие городского пассажирского электропоязда в США	9	90
«Queen Elizabeth»	10	87
Электромоторчик	10	87
Электрификация железной дороги Брюгге	11	94
Параллельная работа самолетных генераторов на частоте 400 Hz	11	93
Развитие систем переменного тока на крупных самолетах в США (обзор)	12	83
VII. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА		
Статьи и авторефераты:		
Захарин А. Г. — Энергетическая классификация сельскохозяйственных районов по условиям электроснабжения	7	15
Караулов Н. А. — Электрификация сельского хозяйства на основе использования энергии малых рек	1	50
Листов П. Н. — Некоторые вопросы теории электропривода	7	26
Сазонов Н. А. и Будзко И. А. — Основные научно-технические задачи развития сельской электрификации СССР	7	3
Стеценко В. Г. — Новая конструкция электрического трактора	7	65
Цивьян Л. Я. — Рационализация электропривода в сельском хозяйстве	7	21
Щуров С. В. — Итоги и перспективы электрификации сельского хозяйства СССР	7	11
Рефераты:		
Развитие сельской электрификации в США за 1944 г.	2	94
Фазовые инверторы в сельских электрических сетях	3	94

Авторы и названия материалов	№ жур- нала	стр.
Применение электроэнергии в сельском хо- зяйстве зарубежных стран	7	92
Полностью электрифицированные фермы	7	95
Создание промышленными, бытовыми и сель- скими потребителями хорошо балансируе- мой нагрузки	7	95
Рост применения электродвигательных машин	7	95
Большая электрифицированная ферма	7	95
Электрическая сушка зерна	7	96
Заземление в сельских районах	7	96

VIII. ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ (ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА, ГРОЗОЗАЩИТА)

Статьи и авторефераты:

Али-Заде А. С. — Исследование молнии в Закаталах	6	78
Балыгин И. Е. — Емкостный делитель вы- сокого напряжения с экранировкой	5	84
Безруков Ф. В. — Улучшение характеристик трубчатых разрядников из органического стекла	9	54
Буйлов А. Я. — Основные типы современных выключателей высокого напряжения	5	16
Буткевич Ю. В. и Бронштейн А. М. — Вы- ключатель с твердым газогенерирующим веществом 6—10 kV 200—300 тыс. kVA	5	35
Буткевич Ю. В. — Лаборатория разрывных мощностей ВЭИ	11	40
Волощенко Н. Ф. — Влияние барьеров на электрическую прочность воздушных про- межутков	3	21
Городский Д. А. — Пример расчета устано- вившихся значений динамических перена- пряжений	6	73
Кантор Р. М. — Коммутационные перенапря- жения при отключении линий, работаю- щих в режиме холостого хода	2	25
Комельков В. С. — Синхронизация импульс- ных схем заторможенным искровым раз- рядом	2	75
Комельков В. С. — Термические воздейст- вия токов молнии	4	52
Костенко М. В. — Деформация волн перена- пряжения на проводах воздушных линий вследствие импульсной короны	1	65
Потужный А. К. и Фертик С. М. — Затуха- ние блуждающих волн очень высокого на- пряжения в 110 kV линии электропередачи	6	52
Стекольников И. С. — Сверхмощный генера- тор импульсных токов	3	81
Трухманов И. С. — К итогам испытаний воздушного выключателя на 110 kV в энергосистеме	5	31
Цейров Е. М. — Гасительная камера воз- душного выключателя ВЭИ на 110 kV	5	24
Цейров Е. М. — О некоторых вопросах газо- динамики воздушного выключателя	12	14

Рефераты:

Трехпериодный мощный масляный выключа- тель высокого напряжения	3	92
Трехпериодный воздушный выключатель 3 500 000 kVA	4	91

IX. ИОННО-ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА И ТВЕРДЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Статьи:

Бугаев Ф. И., Савицкий В. Л. и Эттингер Е. Л. — Одноанодные ртутные выпрями- тели	11	29
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----	----

Авторы и названия материалов	№ жур- нала	стр.
Жданов Б. Г. — Анализ опыта эксплуата- ции ртутных выпрямителей на московском метрополитене	5	49
Илясов Б. П. — Новые тиристоры и газо- троны	11	24
Комар В. Г. — Расчет селеновых выпрями- телей	9	46
Савицкий В. Л. — Мощный одноанодный ртутный выпрямитель	11	35
Суетин Т. А. — Стенотрон-ионная генера- торная лампа	5	44
Юдицкий С. Б. и Немчин С. Ю. — Благо- стойкость и водостойкость твердых вы- прямителей	3	64

Рефераты:

Отпаянные игнитронные выпрямители для трехпроводной системы	1	94
Обратные зажигания в выпрямительных ус- тановках	1	91
Аварийные токи выпрямителя	3	93
Высоковольтные игольчатые выпрямители	4	95
Термисторы	4	93
Прогресс в области рентгеновских трубок за 50 лет со времени Рентгена и до наших дней	5	95

X. РАДИОТЕХНИКА, ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ ПО ПРОВОДАМ

Статьи и авторефераты:

Богородицкий Н. П. и Фридберг И. Д. — Конструирование и расчет мощных высо- кочастотных конденсаторов	11	50
Вологдин В. П. — Новый генератор повы- шенных и высоких частот	8	23
Клюшин Г. В. и Иванов В. А. — Обеспе- чение равномерного прогрева изделий при индукционной закалке	7	62
Кугушев А. М. — О выборе частоты при ин- дукционном нагреве	12	42
Минц А. Л., Модель З. И. и Персон С. В. — Опыт односторонне направленного веща- ния на длинных волнах	8	42
Михайлов М. И. — Влияние контактной се- ти метрополитена на кабельные цепи связи	6	75
Невяжский И. Х. — Развитие техники ра- диопередающих устройств	8	33
Нелепец В. С. — Об эквивалентной схеме замещения электролитического конденса- тора	8	69

Рефераты:

Применение индукционного и диэлектриче- ского нагрева в США	2	96
Дуплексная радиосвязь в железнодорожном транспорте	6	96
Телефонизация сельских местностей по вы- соковольтным линиям передачи	9	91
Влияние высоковольтных линий передачи на телефонную связь	10	88

XI. АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, ТЕХНИКА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И НИЗКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА

Статьи:

Айзенберг В. Л. — Селективная система плавающих предохранителей	5	77
Атабеков Г. И. и Смородинский Я. М. — Быстродействующая фильтровая высоко- частотная защита	1	57

Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.
Барзам А. Б. — К вопросу расчетов токов короткого замыкания и действия релейной защиты	11	62
Буль Б. К. — Расчет вращающего момента индукционного реле направления мощности	4	64
Гаврилов М. А. — Методы синтеза релейно-контактных схем	2	54
Гинзбург С. А. — Динамический расчет приемника частотно-импульсного телеизмерения	8	71
Дмитриев Е. И. — Расчет фигурных реостатов	3	67
Дмитриев Е. И. — Расчет функциональных делителей напряжения	5	81
Ефроймович Ю. Е. — Совместная работа автоматических регуляторов на трехфазных электросталеплавильных печах	5	62
Марьяновский Д. И. — Устойчивость линейных систем автоматического регулирования	9	15
Соловьев И. И. — Развитие релейной защиты и автоматики энергосистем	10	16
Тельный С. И. — Автоматическое регулирование трехфазных дуговых электропечей	5	53
Р е ф е р а т ы:		
Электрооборудование копировального станка для обработки гребного винта. Следящий привод копировального станка для гребного винта	2	94
Девятилетний опыт эксплуатации сверхбыстродействующего автоматического повторного включения на линиях передачи высокого напряжения	3	92
Усовершенствованная защита трансформаторов с помощью дифференциальных реле с блокировкой от бросков тока включения	4	91
Выпрямительное реле для защиты трансформаторов	5	93
Электронный принцип автоматического контроля и регулирования температуры и уровня жидкости (обзор)	9	87
Телеуправление тяговыми подстанциями на Великой индийской полуостровной железной дороге	6	94
Резонансный регулятор тока постоянной величины	10	88
Выключатели для самолетных сетей	10	89
Электронное рентгеновское реле времени	11	93
Емкостная стабилизация электросварочного трансформатора	10	91
Дистанционное управление	12	86
XII. КАБЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА		
Статьи:		
Балыгин И. Е. — О некоторых физических процессах в 35-kV кабелях в связи с частичными пробоями изоляции	2	77
Брагин С. М. — Высоковольтный кабель постоянного тока	2	16
Герценштейн И. Г. — Закономерности прожигывающего пробоя силовых кабелей	8	51
Герценштейн И. Г. — Распределение пустот в изолирующем слое силовых кабелей	12	33
Р е ф е р а т ы:		
Кабель давления	6	96
Десять лет эксплуатации маслостатической кабельной системы в Пенсильвании	8	94
Градиенты напряжения в масле пропитанной бумажной изоляции	9	91

Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.
Электролиз и коррозия подземных силовых кабелей	9	92
Исследование переменных токов в оболочках кабеля и их влияние на коррозию свинцовых оболочек	10	89
XIII. СВЕТОТЕХНИКА		
Статьи:		
Воропанов М. В. — Высокоинтенсивная дуга малой мощности	8	67
Ермолинский Н. Н. и Шефтель Е. Б. — Люминесцентные лампы в текстильной промышленности	8	16
Карякин Н. А. — Эффект высокой интенсивности в вольтовой дуге постоянного тока между угольными электродами	3	27
	4	45
Тумерман Л. А. — Люминесцентное освещение и задачи его внедрения	8	3
Р е ф е р а т ы:		
Новое о люминесцентных лампах	1	95
Как создаются источники света	11	94
Лучистая энергия флюоресцентных ламп	11	94
XIV. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ		
Статьи:		
Арутюнов В. О. — Ферродинамический компенсационный логометр	10	62
Быков М. А. — Метод получения многоомных образцов постоянной времени	9	61
Вайнберг А. Я. — Электрический индикатор разрыва газопровода	3	83
Гинзбург С. А. — Электрический дифференциал для суммирования показаний мощности	1	77
Лаврухин М. А. — Работа электросчетчиков при низкой температуре	3	72
Левин М. И. — Общие свойства измерительных схем	2	63
Москвитин А. И. — Машина с переменными параметрами в качестве спидометра-частотомера	10	57
Петров Г. Н. и Окунь С. С. — Компенсация погрешностей трансформаторов тока подмагничиванием сердечника полем рассеяния	8	46
Пироцкий П. П. — Применение осциллографа для получения диаграммы моментов вращения электродвигателя	1	75
Стекольников И. С. — Современное состояние катодной осциллографии	10	28
Фюрстенберг А. И. — Лампочка накаливания, как индикатор для электрических и радиотехнических измерений	11	63
Шрамков Е. Г. — Магнитные эталоны	7	42
Р е ф е р а т ы:		
Портативный прибор для измерения сопротивления изоляции высоковольтных установок	9	89
Конструктивные достижения и новые принципы в области измерительных трансформаторов	10	90
Измерение мгновенных значений полных сопротивлений синхронных машин	11	91
Измерительные трансформаторы	10	91

Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.	Авторы и названия материалов	№ жур-нала	стр.
XV. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ					
Статьи:					
Альтгаузен О. Н. — Магнитодиэлектрики на основе сплава альсифер	9	57	По статье Е. Я. Казовского «Теоретические вопросы современного электромашиностроения» (Электричество, № 7, 1945)	3	85
Андрианов К. А., Поуровская Э. И. и Шишкин С. В. — Новая изоляция электрических машин	2	49	По статье А. И. Шальникова и Ю. В. Шарвина «Сверхпроводимость» (Электричество, № 1, 1946)	6	81
Андрианов К. А., Грибанова О. И., Гамбаров Д. А. и Карпова А. Л. — Новые теплоустойчивые диэлектрики — силиконы	4	39	По статье В. А. Голубицовой «Вопросы подготовки инженерных кадров для энергетики» (Электричество, № 4, 1946)	8	74
Брагин С. М. — Исследование электрических характеристик кабельной изоляции на моделях кабеля	12	28	По статьям В. А. Трапезникова «Обобщенные условия соразмерности трансформаторов и электрических машин»	11	73
Вологдин В. П. — От лейденской банки до конденсатора будущего	2	20	По статьям П. Г. Грудинского, В. А. Трапезникова и Ю. С. Чечета, С. И. Рабиновича и А. А. Глазунова, посвященным проблеме расхода металла и снижения потерь электроэнергии в электрохозяйстве СССР (Электричество, № 6, 1946)	9	72
Вул Б. М. — Вещества с высокой и сверхвысокой диэлектрической проницаемостью	3	12		12	64
Гольдман А. Л. и Дружинин В. В. — Магнитные свойства холоднокатанной трансформаторной стали	10	39	XVIII. БИБЛИОГРАФИЯ		
Займовский А. С. — Задачи науки и техники в области электротехнических сплавов	9	31	В. К. Попов — Рецензия на книгу «Справочник по электрооборудованию промышленных предприятий». Под общей редакцией М. Д. Суховольского	1	88
Пружинина — Грановская В. И. — Новый тип линейных объемных сопротивлений «дефар»	11	45	Новые книги	1	89
Ренне В. Т. — Современное конденсаторостроение	8	19	Г. И. Атабеков — Рецензия на книгу «Основы телефонии и телефонные станции ручного обслуживания» Е. В. Китаева	3	90
Рефераты:			Е. В. Нитусов и В. Н. Андрианов — Рецензия на книгу «Электрические машины» М. П. Костенко	4	83
Бумажные конденсаторы, пропитанные хлорированными диэлектриками	1	96	П. Н. Апушкинский — Рецензия на книгу «Определение места повреждения воздушной и кабельной линии» А. И. Дидебулидзе	6	88
Тонкие листы для магнитопроводов трансформаторов	2	95	Новая литература по электрификации сельского хозяйства	7	91
Эмальпроводами	5	96	Р. Л. Аронов — Рецензия на книгу «Основы электропривода» В. К. Попова	8	88
Конденсаторы для промышленных высокочастотных установок	8	94	В. П. Иванов, А. М. Залесский, В. В. Болотов и др. — Рецензия на книгу «Электрические станции и подстанции» под ред. проф. А. А. Глазунова	10	81
Самовосстанавливающиеся бумажные конденсаторы	8	95	М. А. Гаврилов — Рецензия на книгу «Телеуправление» Б. К. Шукина	11	88
Испытание электроизоляционных лаков	8	95	А. М. Залесский — Рецензия на книгу «Техника высоких напряжений» Л. И. Сиротинского	12	80
Новый керамический диэлектрик	8	96	Новые книги	12	81
Прочность стеклянного волокна	9	93	XIX. СТАНДАРТЫ, ПРАВИЛА И НОРМЫ		
Новые постоянные магниты	9	93	Новые стандарты на электроизоляционные материалы	1	86
Свойства и применение политепа	11	95	Новый стандарт на тяговые электродвигатели	2	91
Покрывания для резисторов с проволоочной обмоткой	10	92	Государственные общесоюзные стандарты (ГОСТ) в области электротехники (перечень)	4	77
Производство конденсаторов из серебряной слюды	10	92	О новых правилах устройства заземлений в установках сильного тока	6	83
XVI. ИСТОРИЯ НАУКИ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ И ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ			О проекте стандарта «Машины электрические. Терминология»	7	71
Статьи:			Руководящие указания по проектированию электрических систем	10	65
Аркадьев В. К. — Из воспоминаний о Петре Николаевиче Лебедеве	9	69	Единые графические символы в элементных схемах электропривода	12	71
Вейтков Ф. Л. — Даты истории электричества, электротехники и электрификации СССР	9	71			
Воеводин П. И. — Никола Тесла. К 90-летию со дня рождения	11	78			
Тимирязев А. К. — Александр Григорьевич Столетов. К 50-летию со дня смерти	12	68			
Шостын Н. А. — Петр Николаевич Лебедев. К 80-летию со дня рождения	9	63			
XVII. ДИСКУССИИ					
По статье И. С. Брука «О механических методах решения систем алгебраических уравнений» (Электричество, № 11, 1945)	3	40			

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ОТКРЫТА ПОДПИСКА

НА 1947 ГОД

НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

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

**Основан в 1880 году Русским техническим обществом
12 номеров в год по 12 печ. листов**

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников в широкой области исследования и применения электричества и освещает основные теоретические и практические проблемы, связанные с развитием всех отраслей электротехники и электрификации СССР

В журнале принимают участие:

Доктор техн. наук, проф. К. А. Андрианов, доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров, член-корр. АН СССР В. К. Аркадьев, доктор техн. наук, проф. Р. Л. Аронов, доктор техн. наук, проф. Г. И. Атабеков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Бабат, доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд, академик А. И. Берг, доктор технических наук, проф. С. М. Брагин, член-корр. АН СССР И. С. Брук, доктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич, академик С. И. Вавилов, академик Б. А. Введенский, член-корр. АН СССР В. И. Вейц, академик А. В. Винтер, член-корр. АН СССР В. П. Вологдин, доктор техн. наук, проф. А. А. Воробьев, член-корр. АН СССР Б. М. Вул, доктор техн. наук, проф. А. А. Вульф, доктор техн. наук, проф. А. А. Глазунов, доктор техн. наук, проф. А. А. Горев, кандидат техн. наук П. Н. Горшков, проф. П. Г. Грудинский, доктор техн. наук, проф. Л. И. Гутенмахер, проф. Д. В. Ефремов, доктор техн. наук, проф. П. С. Жданов, доктор техн. наук, проф. А. М. Залесский, доктор техн. наук, проф. А. Г. Иосифьян, академик А. Ф. Иоффе, доктор техн. наук, проф. И. Л. Каганов, инж. Е. Я. Казовский, доктор техн. наук, проф. П. Л. Калантаров, доктор техн. наук, проф. М. Д. Каменский, инж. Я. А. Климовицкий, кандидат техн. наук Е. Г. Комар, член-корр. АН СССР В. И. Коваленков, член-корр. АН СССР М. П. Костенко, член-корр. АН СССР Т. П. Кравец, академик Г. М. Кржижановский, инж. Ю. С. Кронгауз, член-корр. АН СССР К. А. Круг, академик В. С. Кулебакин, действительный член АН УССР С. А. Лебедев, доктор техн. наук, проф. С. О. Майзель, доктор техн. наук, проф. Э. А. Меерович, академик В. Ф. Миткевич, доктор техн. наук, проф. М. М. Михайлов, доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов, доктор техн. наук, проф. Л. Р. Нейман, академик В. П. Никитин, доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов, академик Н. Д. Папалекси, доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров, доктор техн. наук, проф. Л. М. Пиотровский, доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов, доктор техн. наук, проф. В. К. Попов, доктор техн. наук, проф. С. А. Ринкевич, доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд, доктор техн. наук, проф. Л. И. Сирогинский, доктор техн. наук, проф. И. С. Стекольников, кандидат техн. наук И. А. Сыромятников, инж. А. И. Товстопалов, доктор техн. наук, проф. В. А. Толвинский, доктор физ.-мат. наук, проф. В. А. Фабрикант, член-корр. АН СССР Я. И. Френкель, доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет, член-корр. АН СССР М. А. Шателен, доктор техн. наук, проф. Е. Г. Шрамков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Штурман, доктор техн. наук, проф. Н. Н. Щедрин и др.

Подписная цена на год 96 руб.

Подписка принимается в отделениях „Союзпечати“ и на почте