



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1939

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

1

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ГОД ИЗДАНИЯ 60-й

1

1939

ЯНВАРЬ

ОРГАН НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ И АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144, телеф. В 5-32-79.

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

1924 — *Пятнадцать лет со дня смерти* — 1939
Владимира Ильича Ленина

Идеи Ленина бессмертны, ленинские предначертания воплощены в жизнь!

Да здравствует всепобеждающее учение
Маркса—Энгельса—Ленина—Сталина!

*Помните, любите, изучайте Ильича,
нашего учителя, нашего вождя.*

*Боритесь и побеждайте врагов внутренних
и внешних,— по Ильичу.*

*Стройте новую жизнь, новый быт, новую
культуру,— по Ильичу.*

*Никогда не отказывайтесь от малого
в работе, ибо из малого строится великое,—
в этом один из важных заветов
Ильича.*

И. Сталин

*Письмо товарища Сталина, опубликованное
в „Рабочей газете“ в первую годовщину смерти В. И. Ленина.*

№ 30032

Великая клятва выполнена

Пятнадцать лет назад оставилось сердце Владимира Ильича Ленина.

Над гробом Ленина, вождя, друга и учителя трудящихся всего мира, товарищ Сталин дал великую клятву верности ленинским предначертаниям.

Это была клятва большевиков, клятва советского народа.

Под руководством товарища Сталина, лучшего ученика и гениального продолжателя дела Ленина, партия и весь советский народ выполняют священную клятву, работают над воплощением в жизнь ленинских заветов.

«Уходя от нас, товарищ Ленин завещал нам держать высоко и хранить в чистоте великое звание члена партии. Клянемся тебе, товарищ Ленин, что мы с честью выполним эту твою заповедь!» (Сталин).

Сплоченная вокруг Ленинско-Сталинского Центрального Комитета, окруженная величайшим доверием народа, неустанно борющаяся за чистоту своих рядов, партия ведет советскую страну к окончательному торжеству коммунизма.

«Уходя от нас, товарищ Ленин завещал нам хранить единство нашей партии, как зеницу ока. Клянемся тебе, товарищ Ленин, что мы с честью выполним и эту твою заповедь!» (Сталин).

Во главе с товарищем Сталиным партия беспощадно разгромила врагов большевизма, оппортунистов всех мастей, троцкистско-бухаринскую свору предателей, двурушников, фашистских наймитов и агентов иностранных разведок. Ленинская непримиримость к врагам народа и партии, революционная бдительность стали железным законом для каждого большевика. Как никогда выросло единство рядов партии.

«Уходя от нас, товарищ Ленин завещал нам хранить и укреплять диктатуру пролетариата. Клянемся тебе, товарищ Ленин, что мы не пощадим своих сил для того, чтобы выполнить с честью и эту твою заповедь!» (Сталин).

За пятнадцать лет, истекших со времени смерти Ленина, советское государство, укрепляя диктатуру пролетариата, сделалось могучей силой. По Сталинской Конституции «Вся власть в СССР принадлежит трудящимся города и деревни в лице Советов депутатов трудящихся» (Статья 3). «Экономическую основу СССР составляют социалистическая система хозяйства и социалистическая собственность на орудия и средства производства, утвердившиеся в результате ликвидации капиталистической системы хозяйства, отмены частной собственности на орудия и средства производства и уничтожения эксплуатации человека человеком» (Статья 4). Труд в СССР стал делом чести, доблести и геройства. Всенародное стахановское движение является знаменем борьбы за высокую производительность труда. Замечательные дости-

жения науки, техники и искусства поставлены на службу всему народу.

На страже этих завоеваний трудящихся высится среди капиталистического окружения несокрушимый утес советского государства.

«Уходя от нас, товарищ Ленин завещал нам укреплять всеми силами союз рабочих и крестьян. Клянемся тебе, товарищ Ленин, что мы с честью выполним и эту твою заповедь!» (Сталин).

Товарищ Сталин назвал союз рабочих и крестьян «первой и коренной основой Республики Советов». По Сталинской Конституции «Союз Советских Социалистических Республик есть социалистическое государство рабочих и крестьян» (Статья 1). «Земля, занимаемая колхозами, закрепляется за ними в бесплатное и бессрочное пользование, то-есть навечно» (Статья 8). Социалистический колхозный строй опирается на поддержку всего советского государства, на его индустриальную мощь, на новейшую техническую базу механизации и электрификации.

Союз рабочих и крестьян, руководимый партией и вождем народов товарищем Сталиным, гигантски окреп.

«Уходя от нас, товарищ Ленин завещал нам укреплять и расширять Союз Республик. Клянемся тебе, товарищ Ленин, что мы выполним с честью и эту твою заповедь!» (Сталин).

Товарищ Сталин назвал союз трудящихся национальностей нашей страны «второй основой Республики Советов». Союз и дружба многочисленных народов СССР ярко выражены и закреплены в Сталинской Конституции.

«Третьей основой диктатуры пролетариата является наша Красная армия, наш Красный флот». «Покажемся же, товарищи, что мы не пощадим сил для того, чтобы укрепить нашу Красную армию, наш Красный флот». (Сталин).

Благодаря неустанным заботам партии и лично товарища Сталина неизмеримо выросло могущество Красной армии и Красного флота. В героических боях у озера Хасан Красная армия показала силу советского патриотизма. Весь наш народ находится в состоянии мобилизационной готовности на случай нападения врагов.

«Уходя от нас, товарищ Ленин завещал нам верность принципам Коммунистического Интернационала. Клянемся тебе, товарищ Ленин, что мы не пощадим своей жизни для того, чтобы укреплять и расширять союз трудящихся всего мира — Коммунистический Интернационал!» (Сталин).

Выполняя эту клятву, партия и товарищ Сталин воспитывают в советском народе глубокое чувство международной солидарности с трудящимися всех стран.

Великие идеи Маркса — Энгельса — Ленина — Сталина завоюют весь мир.

Электроэнергетика СССР перед новыми задачами

Исторический лозунг Ленина — «Коммунизм есть советская власть плюс электрификация всей страны» — явился гениальным предвидением пути СССР к построению коммунистического общества.

Ленинско-сталинский план ГОЭЛРО был встречен врагами партии и рабочего класса ожесточенной борьбой. Однако происки врагов были опрокинуты. Товарищ Сталин совместно с Лениным разгромили право-троцкистских капитулянтов, пытавшихся подорвать план электрификации.

Далеко перевыполнив план ГОЭЛРО, советская страна с каждой сталинской пятилеткой умножает достижения электрификации.

В СССР «осуществлена в основном первая фаза коммунизма — социализм» (Сталин).

В течение второй пятилетки произошло удвоение мощности наших районных электростанций. В 1938 г. в СССР было выработано 36,5 миллиардов kWh. И если в 1923 г. наша страна по производству электроэнергии занимала девятнадцатое место в мире, то теперь она занимает третье место. Вокруг Москвы и Ленинграда, на Украине и Урале, в Закавказье и Донбассе выросли крупные районные энергосистемы, расширяющие внедрение теплофикации, использование местного топлива и гидроэнергии.

По степени электрификации промышленности, по целому ряду показателей развития своих основных энергосистем и электромашиностроения СССР опережает все капиталистические страны, наглядно демонстрируя этим превосходство планового социалистического хозяйства.

Особо следует отметить начатую в третьей пятилетке грандиозную стройку Куйбышевского гидроэнергетического узла на Волге. Куйбышевские гидроэлектростанции общей мощностью 3,4 млн. kW при средней годовой выработке 14,5 млрд. kWh должны будут обеспечить энергией ирригацию засушливого Заволжья и электрификацию всех отраслей народного хозяйства окружающих районов.

Уже теперь лучшие ученые и инженеры страны работают над разрешением беспримерных в мировой технике проблем Куйбышевского гидроэнергетического узла. Электропромышленность проектирует гидрогенераторы, мощность которых может быть определена рекордной величиной от 100 до 200 тыс. kVA при аксиальном давлении на пилу не менее 3500—4000 t, что вызывает необходимость глубокого теоретического и экспериментального исследования многих вопросов.

Для разрешения проблемы передачи больших мощностей Куйбышевских гидроэлектростанций на расстоянии в несколько сот километров имеющийся у нас опыт освоения линий 220 kV оказывается недостаточным.

Здесь приходится идти пионерскими путями: какой выбрать вариант — блочную или замкнутую схему, какое выбрать напряжение — 300 или 400 kV, как методически правильной рассчитывать статическую и динамическую устойчивость, как обеспечить противогрозную защиту, — вот некоторые из вопросов, встающих перед проектировщиками Куйбышевской системы. Принципиально новыми путями приходится идти также в конструировании трансформаторов и выключателей. Ведущиеся в этой области ВЭИ, Ленинградским индустриальным институтом и другими организациями работы должны в 1939 г. получить гораздо больший размах и быть обеспечены большим вниманием со стороны Академии наук СССР, чем это было до сих пор.

Из числа проблем, имеющих большое перспективное значение для будущих сверхдальних и мощных электропередач, передача энергии постоянным током высокого напряжения требует от научно-исследовательских учреждений систематической и упорной работы.

Успешное завершение в Горловке первых опытов подземной газификации углей, которой Ленин еще в 1913 г. предвещал огромную будущность, обязывает электротехников со всей серьезностью заняться разработкой вопросов о создании электроцентралей нового типа, базирующихся на энергоресурсах подземного газа.

Правильно понятые интересы электрификации СССР требуют в настоящее время перехода в строительстве тепловых электростанций к установкам средних и небольших мощностей (25 тыс. kW и ниже), а также широкого развертывания строительства гидроэлектростанций. Вредное увлечение крупными электростанциями и сверхмощными агрегатами ослабило заботу заводов и энергосистем об установках средней и небольшой мощности. Необходимо сейчас направить серьезные усилия на всестороннее совершенствование и комплектное изготовление агрегатов средней и малой мощности, надежных в эксплуатации, снабженных высококачественной защитой от токов короткого замыкания и перенапряжений и максимально автоматизированных.

Особо широкое распространение в нашей стране должны получить мелкие электроустановки газогенераторного и ветродвигательного типа, а так-

же автоматически работающие «микротэс».

Автоматизация гидро- и теплоэлектростанций становится одной из важнейших задач советского электрохозяйства.

Обязательство, принятое Всесоюзным совещанием по энергетике весной 1938 г. в отношении безаварийной и бесперебойной работы электростанций и электросетей, выполняется неудовлетворительно. Весьма значителен процент аварий из-за недостатков работы релейной защиты, качество вырабатываемой энергии (частота и напряжение) находится нередко на низком уровне, электрооборудование собственных нужд электростанций (трансформаторы, моторы) представляет одно из наиболее слабых мест многих энергосистем. Недисциплинированность, недостаточная квалификация, игнорирование правил эксплуатации и техники безопасности попрежнему являются причинами подавляющего большинства аварий. Организация планово-предупредительного ремонта оборудования и общая культура электрохозяйства оставляют желать много лучшего. Пережог топлива и потери электроэнергии велики.

Все эти недочеты работы электростанций и электросетей большей частью связаны с неудовлетворительным состоянием трудовой дисциплины на предприятиях. Реализация постановления правительства, ЦК ВКП(б) и ВЦСПС о мероприятиях по упорядочению трудовой дисциплины, улучшению практики государственного социального страхования и борьбе с злоупотреблениями в этом деле будет иметь огромное значение для укрепления мощи и обороноспособности нашей страны, для подъема народного хозяйства и в том числе электрохозяйства.

Есть целый ряд важных участков, где наблюдается относительное отставание наших электростанций и электропромышленности от растущих запросов народного хозяйства.

Так, например, сильно стает автоматизация гидростанций, тепловых электростанций и электросетей. Совершенно недостаточен выпуск аппаратуры автоматики и телемеханики, изготавливаемой заводом ХЭТЗ им. Сталина для промышленности и транспорта.

Качество производства ртутных выпрямителей завода «Электросила» им. Кирова не удовлетворяет возросшим требованиям и не обеспечивает бесперебойности работы важнейших отраслей электрохимии, электрометаллургии и транспорта.

Заводы высоковольтной аппаратуры в Ленинграде и на Урале до сих пор не имеют базы для испытания выключателей в виде лаборатории разрывных мощностей и не дают стране современных безмасляных и других усовершенствованных выключателей.

Отставание технического развития на некоторых важных участках, дефицит мощностей в отдельных районах — все это есть прямой результат вредительской деятельности врагов народа в энергетике. Ликвидировать до конца последствия вредительства, выполнить директиву XVII съезда ВКП(б) о необходимости «образовать во всех энергетических узлах резервы мощностей, обеспечивающих бесперебойное электроснабжение народного хозяйства» — такова главная задача

Указ Президиума Верховного Совета СССР о разделении Народного Комиссариата тяжелой промышленности на шесть союзных наркоматов и о создании Наркомата Электростанций и Электропромышленности свидетельствует о могучем росте социалистической промышленности и о том огромном внимании, которое уделяется государством делу электрификации. Создание Наркомата Электростанций и Электропромышленности СССР должно будет поднять нашу энергетику на высшую ступень и решительно улучшить качество конкретного руководства электростанциями, электро- и теплосетями, а также заводами энергомашиностроения.

Для повышения технического уровня электрификации СССР теперь больше чем когда-либо необходимо предоставить простор творчеству специалистов, новаторов электротехники, конструкторов, исследователей и изобретателей.

Нужно отмечать и поощрять творческую инициативу инженеров и научных работников, таких, например, как инженеры Г. И. Бабат и М. Г. Лозинский, предложившие метод и расчет поверхностной закалки стали путем нагрева токами высокой частоты от лампового генератора; инженер П. А. Фридкин, изобретатель сегментного статора оригинальной машины, позволившей кардинально упростить электропривод шаровых углеразомельных мельниц и создать тип безредукторного электропривода; инженер М. П. Липковский, автор советской конструкции нерезонирующих трансформаторов; научные работники И. С. Стекольников, А. П. Беляков и А. А. Акоюн, разработавшие теоретически и экспериментально новые методы изучения искрового разряда, молнии и молниеотводов; инженер М. М. Акодис, разработавший трубчатые разрядники, успешно применяемые для противоголозовой защиты в Донэнерго и других энергосистемах; инженеры М. И. Трехов и Н. Ф. Казин, проводившие эффективные рационализаторские мероприятия на автомобильном заводе им. Сталина по экономии электроэнергии, и т. д.

Наша страна, давшая в прошлом первого исследователя вольтовой дуги Петрова, пионеров электрического освещения Лодыгина, Яблочкова, Чиколева и замечательного изобретателя радиотелеграфа Попова, богата талантливыми людьми, способными двигать вперед научную мысль в области электротехники, двигать вперед дело электрификации промышленности, транспорта, сельского хозяйства и быта.

Таких талантливых деятелей немало среди молодежи, ведущей большую инженерную и научную работу в цехах и лабораториях заводов и институтов. Это — люди той науки — «... которая имеет смелость, решимость ломать старые традиции, нормы, установки, когда они становятся устаревшими, когда они превращаются в тормоз для движения вперед, и которая умеет создавать новые традиции, новые нормы, новые установки» (Сталин).

Партия Ленина — Сталина неустанно заботится о росте кадров советской интеллигенции, об ее идейно-политическом воспитании и большевистской закалке. Для этого партия создала «Краткий курс истории ВКП(б)», из которого наш

интеллигенция черпает знание науки марксизма-ленинизма, знание путей борьбы за коммунизм.

Вооруженные знанием большевизма, инженеры и ученые — электротехники страны Советов — су-

меют выполнить новые ответственные задачи, выдвигаемые в связи с дальнейшим мощным ростом электрификации СССР.

Среди наиболее актуальных вопросов развития электрификации СССР экономия электроэнергии и цветных металлов имеет первостепенное значение. Особенно ярко выявляется это положение при анализе существующих методов и практики проектирования городских электросетей и электроснабжения промышленных предприятий, а также сельскохозяйственных районов. В общей системе электрификации всей страны электрические сети представляют одно из важных звеньев, влияющих весьма ощутительно на бесперебойность электроснабжения и баланс потребления электроэнергии и цветных металлов.

Между тем именно в области проектирования электросетей царят особенный разброд и неразбериха, пользуясь которыми, враги народа создавали диспропорции и наносили большой ущерб всему электрохозяйству.

Продолжая начатое в истекшем году («Электричество» № 7 и 9, 1938) опубликование новых работ по вопросам проектирования городских электрических сетей, редакция считает нужным привлечь внимание к пересмотру ряда положений, сохраняющихся в этой области по старой традиции и не отвечающих насущным требованиям народного хозяйства СССР, выраженным в правительственных постановлениях об экономии цветных металлов и электроэнергии, о бесперебойном электроснабжении потребителей и др.

Помещаемые ниже статья инж. С. Г. Егорова, основанная на данных, представленных автором тов. Л. М. Кагановичу, и материалы дискуссии¹ указывают ряд нетерпимых недостатков в проектировании сетей.

Проектирующие организации до сих пор не располагают обоснованными и соответствующими условиям планового социалистического хозяйства методами техно-экономического проектирования сетей, а научно-исследовательские учреждения (Энергетический институт Академии наук СССР, Академия коммунального хозяйства и др.) не помогают разобраться в этих вопросах, не помогают вскрыть негодность устаревших традиций и выра-

ботать правильные методы, обеспечивающие государственные интересы экономии цветных металлов и электроэнергии наряду с надежностью работы сетей. Главэнерго, которому следовало бы играть ведущую роль и навести порядок в сетевом хозяйстве, до последнего времени находилось в стороне от этого дела.

Наиболее беспризорным является проектирование электроснабжения промышленных предприятий (в том числе и предприятий тяжелой промышленности). Здесь господствует произвол отдельных проектирующих организаций и проектировщиков, что ведет нередко к выбору неудовлетворительных схем электроснабжения, к перерасходу материалов, оборудования и электроэнергии. Об этом свидетельствует помещаемая также в настоящем номере статья инж. Н. А. Златева.

Статьи инж. Л. М. Фингера и инж. Э. Б. Ивянского (см. ниже) анализируют опыт применения напряжения 380/220 В в городских электросетях и всем своим содержанием подчеркивают значение повышения эксплуатационного напряжения электросетей. Хотя по затронутому авторами вопросу уже имеются приказы и достаточно авторитетные заключения Главэнерго, некоторые города, в частности Москва, продолжают по традиции воздерживаться от применения повышенного напряжения 380 В в распределительных сетях районов новой сплошной застройки.

Большой интерес представляет публикуемая (см. ниже) статья инж. А. Г. Захарина и И. А. Будзко, обосновывающая рациональность применения (с точки зрения экономии цветных металлов и электроэнергии) так называемой смешанной системы распределения электроэнергии для сельскохозяйственных районов.

Редакция считает необходимым ускорить опубликование руководящих указаний по проектированию городских электросетей, проект которых уже разработан. Неотложной задачей является разработка специальных руководящих указаний по проектированию электроснабжения промышленных предприятий. В ближайших номерах журнала «Электричество» редакция предоставит место дальнейшим материалам, выясняющим основные вопросы проектирования электросетей и требующим научно-общественного обсуждения.

¹ Статья инж. С. Г. Егорова и следующая за ней дискуссия представляют собой отредактированные авторами материалы совещания в энергетической секции Технического совета НКТП 28 ноября 1938 г. под председательством акад. А. В. Винтера.

Основные вопросы проектирования городских питательных и распределительных электросетей*

С. Г. ЕГОРОВ

Харьков

Таблица 1

В СВЯЗИ С ТЕМ, что потребление электроэнергии в городах СССР непрерывно и очень быстро растет (этот рост на проектный период часто бывает 5—6-кратным), развитие сетей должно производиться ежегодно вместе с увеличением нагрузок, надежности и бесперебойности питания.

Правильное решение вопроса электроснабжения городов может быть найдено путем сравнения различных вариантов с учетом динамики роста нагрузок, причем сравнение вариантов должно производиться: по техническим качествам (надежности, бесперебойности, эксплуатационным удобствам и пр.); по величине первоначальных затрат; по расходам цветных металлов и по потребности в оборудовании; по величине годовых расходов при эксплуатации с общегосударственной точки зрения.

По последнему пункту надо найти минимум годовых расходов, т. е. потерь электроэнергии и стоимости обслуживания при минимуме расхода цветных металлов и капиталовложений, рассматривая различные варианты напряжений, числа и расположения подстанций, фидерных пунктов и пр.

Экономически-наивыгоднейший вариант. Обычно минимум эксплуатационных расходов понимают как минимум издержек для того или иного города или района, не рассматривая этот минимум с общегосударственной точки зрения, а механически сравнивая цены на медь и электроэнергию. При этом все условия, приведенные выше, удовлетворяются, когда стоимость kWh ниже 2 коп., когда в проводах, выбранных по плотности тока, процент падения напряжения ($IR \cos \varphi + LX \sin \varphi$) не достигает допустимого предела и когда $\cos \varphi$ высок, а коэффициент использования максимума не высок.

В условиях города, когда $\cos \varphi$ высок, коэффициент использования не высок, а стоимость kWh составляет 5—7 коп. и выше, „экономически-наивыгоднейший“ вариант получится при большом перерасходе меди.

Сказанное легко видеть из табл. 1, в которой приведены варианты прокладки 1 км фидера на 3000 kW мощности, различные по сечению и количеству кабелей. Там же приведены их стоимости и стоимости потерь электроэнергии. В таблице приведены данные для кабелей 6 kV СБ при температуре почвы зимой +5°, коэффициенте 0,9 для двух кабелей в одной траншее, $\cos \varphi = 0,92$ и числе использования максимума 4000 h в год. Стоимости сетей приняты по данным Электропрома (табл. 1).

Анализируя таблицу, видим, что два кабеля $3 \times 25 + 3 \times 35$ мм² дают 58% экономии меди против одного кабеля 3×95 мм² и, кроме того,

№ вариантов	Количество и сечение кабелей мм ²	Допустимая нагрузка по сечению кабелей, kW	Потери энергии в год на 1 km тыс. kWh	Стоимость потерь в руб. в год при стоимости kWh			Стоимость 1 км кабелей и прокладок, руб.
				10 коп.	5 коп.	2,5 коп.	
1	$3 \times 25 + 3 \times 35$	3100	210	21 000	10 500	5250	20 000
2	$2 \times 3 \times 35$	3400	180	18 000	9 000	4500	21 000
3	$2 \times 3 \times 50$	4200	125	12 500	6 250	3125	25 000
4	3×95	3400	131	13 100	6 550	3275	20 000
5	3×120	3900	105	10 500	5 250	2625	23 000
6	3×150	4470	84	8 400	4 200	2100	25 700

надежнее в эксплуатации. Стоимость же одного километра сети с прокладкой при двух кабелях $3 \times 25 + 3 \times 35$ мм² составляет 20 000 руб., т. е. столько же, сколько стоит один кабель 3×95 мм². В то же время последний при стоимости электроэнергии в 5 коп. за киловаттчас дает экономию на потерях энергии 3950 руб. в год.

Почти такое же положение получается и при прокладке одного кабеля 3×120 мм², несмотря на то, что в этом случае медь перерасходуется вдвое. Даже при кабеле 3×150 мм² возвращение дополнительных затрат исчисляется не годами, а месяцами.

Следовательно, „экономически-наивыгоднейший“ вариант будет значительно отличаться от варианта с минимумом расхода цветных металлов, вследствие того, что стоимость меди низка и не соответствует стоимости электроэнергии.

Если обратиться к формуле Томсона, определяющей экономически-наивыгоднейшую плотность тока, то мы получим ту же картину, но в других показателях.

$$\sigma = \sqrt{\frac{57 \cdot b \cdot p}{100 \cdot m \cdot 10^{-3}}}$$

где $b = 0,0365$ — стоимость сети в рублях на погонный метр длины кабеля и 1 мм² сечения; $p = 13$ — проценты на капитал, амортизацию и ремонт; $m = 0,06$ — стоимость киловаттчаса в рублях для Донбасса; $\tau = 2250$ — коэффициент годовых потерь электроэнергии в часах при 3500 h использования максимума по кривой Эйлера для сетей с коммунально-бытовой нагрузкой.

Подставляя указанные цифры в формулу, получим для кабельных сетей максимальную плотность тока $\sigma = 1,4$ А/мм², а для воздушных сетей значительно меньше.

В то же время допустимая плотность тока по

* В порядке обсуждения. Редакция.

нагреву для кабеля СБ 6 kV составляет (табл. 2).

Таблица 2

Сечение mm^2	35	70	120	150	185
Плотность тока A/mm^2	4,86	3,72	3,00	2,76	2,54

Для воздушных проводов допустимая плотность тока еще выше, а экономическая плотность тока для сети 6 kV составляет $1,17 \text{ A/mm}^2$. Из таблицы видно, что нет такого кабеля, который бы имел допустимую плотность тока по нагреву $1,4 \text{ A/mm}^2$. В лучшем случае, чтобы работать при этой плотности тока, надо иметь нагрузку фидерного пункта 4150 kW , соответствующую по нагреву одному кабелю с сечением 150 mm^2 и проложить таких кабелей два со 100% резервом на случай выхода из строя одного из кабелей, нормально загруженных до 50%.

Но кабели с сечением 150 mm^2 , да еще с таким резервом прокладывать нецелесообразно. Коммунально-бытовая нагрузка значительного количества городов еще не достигает такой величины, а там, где она достигает и превосходит 4000 kW , требуется несколько распределительных пунктов. В то же время идти по пути постройки только части фидерных пунктов для обслуживания всех районов города, чтобы получить требующуюся нагрузку на фидерный пункт, бывает невыгодно, ибо при этом потребуются излишние капиталовложения в питательной системе. Причем распределительная сеть дезорганизуется, так как развитие ее идет не вокруг запроектированных центров, и, кроме того, на распределительном фидере получается до 15 трансформаторных пунктов (ТП).

Теперь уже в наших городах недопустимо, чтобы на одном фидере «висело» 10—15 ТП, тем более, что этого можно избежать, сэкономив на капиталовложениях и потерях электроэнергии путем проведения разумного развития сетей. Нельзя терпеть, чтобы отпуск электроэнергии лимитировался или энергия распределялась при недопустимо низком напряжении из-за узких мест в отдельных частях сети, в то время как сети в целом не используются полностью или же используются неправильно. Если при этом расширение узких мест идет без проекта да к тому же с помощью железных проводов, то можно себе представить, сколько перерасходуется средств и теряется электроэнергия.

Ярким примером такого положения может служить город, схематическое расположение сети которого приведено на рис. 1. Весь город, имеющий 17 ТП с максимальной нагрузкой в 1500 kW , питается от одного фидера окружным путем. Длина пути энергии достигает 6 км, там, где с помощью кабеля в один километр можно сократить этот путь в 3—4 раза, что сэкономит энергию, освободит неправильно загруженные сети, даст возможность использовать их там, где это надо и пр. Нетрудно видеть, что сейчас для нормального питания при минимальных капиталовложениях, расходе цветных металлов и потерях

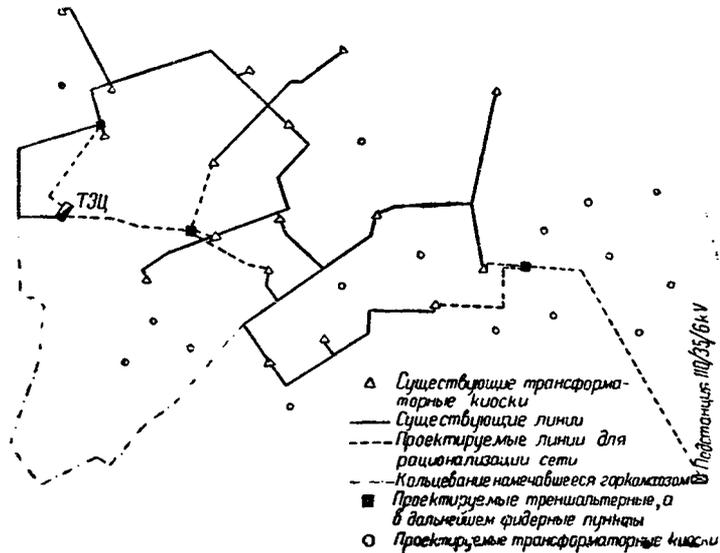


Рис. 1. Схематическое расположение 6 kV сети одного из городов.

— существующая сеть;
- - - необходимые питательные фидеры

электроэнергии, город должен иметь 2 фидера сечением по 50 mm^2 , которые удовлетворят его на третью пятилетку. Примерно такие же мероприятия нужны и в других городах.

Совершенно ясно, что в питательных сетях кабели с сечением 150 или 120 mm^2 (там, где они требуются по нагрузкам на ближайшие 3—4 года) приходится прокладывать сейчас только в крупнейших городах, как например в Москве и Ленинграде, да и то в силу необходимости сокращать число кабелей за отсутствием места, хотя при меньших сечениях медь может быть использована в 1,5—1,8 раза лучше, что является весьма важным обстоятельством.

Поскольку сейчас нельзя добиваться экономии электроэнергии за счет излишнего расхода меди, а, наоборот, надо всемерно экономить цветные металлы, то самое рентабельное сечение кабелей питательных сетей следует выбирать в пределах 35 — 50 — 70 mm^2 . При этом, чтобы получить экономически наиболее выгодную мощность фидера и фидерного пункта, необходимо применять 2—3 кабеля на фидер, прокладывая их в соответствии с ростом нагрузок по мере надобности.

Таким образом пользоваться формулой Томсона не имеет смысла. Но для того, чтобы все-таки сохранить ее, делалось много попыток. Например, в проекте руководящих указаний по проектированию городских сетей, разработанном Северо-западным отделением Теплоэлектропроекта, предусматривается поправочный коэффициент на государственную цену меди, величина которого должна быть установлена приказом НКТП. Кроме того, в силу указанных соображений, экономически наиболее выгодное сечение определяют не по среднему максимуму нагрузок для данного периода 3—5 лет, как бы это следовало, а по существующей максимальной нагрузке. Тогда в указанный период провод будет работать по кривой зависимости эксплуатационных расходов провода от потери напряжения либо потери энергии в нем

(рис. 2) от точки O до B , причем отклонение от наивыгоднейшего положения получается небольшое¹.

Из тех же соображений проф. Хрущов предлагает почему-то уменьшать сечение только на 25—30% против величин, полученных по формуле Томсона². В то же время проектировщики³ берут предельную нагрузку на проектный период (в амперах), делят ее на экономически наивыгоднейшую плотность тока и получают работу по кривой CAO , что является совершенно недопустимым, так как это ведет к омертвлению излишнего оборудования и чрезмерным эксплуатационным расходам на первом этапе эксплуатации сети.

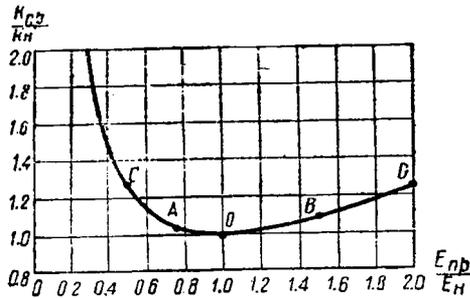


Рис. 2. Кривые зависимости эксплуатационных расходов провода от потерь напряжения либо потери энергии в нем, $K_{пр}$ — произвольные эксплуатационные расходы; K_n — наивыгоднейшие эксплуатационные расходы; $E_{пр}$ — произвольное падение напряжения; E_n — наивыгоднейшее падение напряжения

Проф. Хрущов говорит: «Следует подчеркнуть, что расчет на минимум эксплуатационных расходов есть нормальный расчет проводов и всякий другой расчет, как, например, расчет на падение напряжения, расчет на нагрев, есть исключение, которым, к сожалению, нередко пользуются совершенно неправильно, забывая, что таким путем эксплуатационные расходы неизбежно возрастают»⁴. И в другом месте: «В настоящее время у нас чувствуется большой недостаток цветных металлов и естественным образом ставится вопрос о способах их экономии. В связи с этим среди инженеров господствует мнение, что выбор сечения проводов линии передачи на основе экономической плотности тока лишен смысла. Несомненно, такой взгляд неправилен. Значительное увеличение плотности тока против наивыгоднейшей влечет за собой увеличение расхода энергии, т. е. повышенный расход топлива — материала также дефицитного»⁵.

Экономить электроэнергию за счет меди (а в этом смысл рассуждений проф. Хрущова) — дело не сложное. Не это требуется от нашего инженера. Когда медь будет в избытке, то взять большего сечения провод, чем это надо по техническим условиям, сможет любой техник. Надо только сети спроектировать правильно, а вот последнее

¹ Проф. В. М. Хрущов, Электрические сети и линии, ч. I, стр. 174.

² См. того же автора, ч. II, стр. 267.

³ См. того же автора, ч. I, стр. 238, п. «в» Расчет питающих проводов.

⁴ Проф. В. М. Хрущов, Электрические сети и линии, ч. I, стр. 171.

⁵ См. того же автора, ч. II, стр. 266.

как раз оставляет желать много лучшего; в результате же неправильного проекта действительно растрачиваются цветные металлы и электроэнергия.

Если бы мы исчерпали уже все способы экономии электроэнергии за счет различных возможностей, как, например, правильное распределение электроэнергии в системе, правильное построение сетей, стахановская загрузка оборудования, недопущение холостой работы, повышение $\cos \varphi$ и пр., и должны были бы решить самую простую задачу экономии электроэнергии за счет увеличения расхода меди, то нужно было бы установить эквивалент между тонной условного топлива и цветными металлами. Пользуясь таким эквивалентом, с учетом степени ценности для государства того или иного рода топлива и цветного металла сечение проводов можно выбрать правильно.

А что предлагают проектировщики сетей, пользующиеся формулой Томсона? По существу они предлагают дать, например, Чернигову и другим подобным районам меди в 2—3 раза больше на один ампер нагрузки, чем для Харькова, Москвы или Донбасса вследствие того, что в Чернигове электроэнергия в 5—7 раз дороже, чем в Донбассе или Харькове. Следовательно, экономии черниговского торфа отдается предпочтение перед экономией мазута и донецкого угля.

Это можно видеть из следующей таблицы, где приведены данные по трем районам, добывающим топливо (табл. 3).

Таблица 3

Наименование	Стоимость топлива в рублях за тонну	Экономическая плотность тока A/mm^2			Расход меди на один ампер, %
		для кабелей 6 кВ	для воздушных сетей 6 кВ	для воздушных сетей 380/220 В	
Баку (мазут)	24	1,7	1,40	1,01	100
Донбасс (уголь)	20	1,4	1,17	0,84	120
Чернигов (торф)	50	0,7	0,56	0,41	250

С помощью формулы Томсона во второстепенных местах нередко создается излишняя надежность в электрических сетях, в то время как пуск объектов более важного значения задерживается за отсутствием цветных металлов, и там вынуждены применять железо, которое дает потери энергии в 8—10 раз больше меди.

Если бы общегосударственные соображения баланса топлива не диктовали необходимости разработки местного низкосортного топлива, то, очевидно, в Чернигов привезли бы донецкий уголь или мазут и, следовательно, стоимость электроэнергии там была бы почти такая же, как в Харькове или Москве. Отсюда ясно, что стоимость электроэнергии в отдельном городе или районе не может быть критерием для определения потребности и расхода цветных металлов в электрохозяйстве.

Те проектировщики сетей, которые применяют формулу Томсона, пользуются по сути дела методом, чуждым плановому социалистическому хозяйству, так как сравнение цен на медь и топливо, заключающееся в данной формуле, не может всесторонне и исчерпывающе отразить значения этих материалов для государства в целом. В результате такого механического сравнения цен на топливо и цветные металлы местные интересы того или другого города противопоставляются интересам народного хозяйства в целом.

В противоположность этому расчет проводов на допустимое падение напряжения всегда был и будет основным и надежным методом проектирования сетей, так как при нем учитываются не только технические, но также и экономически-наиболее выгодные условия работы сетей.

Ведь не случайно даже сторонники применения формулы Томсона говорят, что слишком высокое значение падения напряжения свидетельствует о неудачном выборе напряжения линии или неправильном расположении подстанций, питающих данную линию⁶. К этому мы добавим, что и низкое значение падения напряжения свидетельствует о неудачном выборе напряжения линии или неправильном расположении подстанций, питающих данную линию, или же об излишне заложенном объеме проводящего металла. Выполняя расчет линий на допустимое падение напряжения и применяя в системе специальные регулирующие напряжение устройства, мы получим наилучшие условия работы токоприемников.

Наиболее выгодным в техно-экономическом отношении проектным вариантом является сейчас такой вариант, который дает возможно меньшие капиталовложения при минимуме расхода цветных металлов, а также удовлетворяет требованиям, чтобы падение напряжения в городской питательной сети не превышало 4—5% (для моторной нагрузки 10%) и потеря энергии не превышала 2%. В распределительной же сети падение напряжения не должно превышать 1,5% и, конечно, провода должны удовлетворять по нагреву току рабочему и току к. з.

Особо следует отметить необходимость более рационального использования железа и цветных металлов в электросетях. Так например, в целях экономии электроэнергии в многоамперных линиях с нагрузкой свыше 40 А всюду, где стоят железные провода, их надо в кратчайший срок заменить медными или алюминиевыми. В целях же экономии цветных металлов в малоамперных линиях с нагрузкой до 30 А необходимо применять железо, чтобы не допускать излишнего сечения по условиям механической прочности проводов и токов к. з.

Наиболее выгодные мощности и развитие сетевых устройств. При проектировании городских сетей недопустимо брать предельные нагрузки на проектный период и замечать число и сечение кабелей без учета роста этих нагрузок и развития сетей по годам. Такое «статическое» решение вопроса электроснабжения города будет совершенно неудовлетворительным, хотя бы при этом экономически-наиболее выгодная мощность фидера и была определена по соответствующим формулам, например, проф. М. Д. Ка-

менского и других авторов. Помощью указанных формул определяется количество фидерных пунктов, которое должно быть в городе при запроектированном росте нагрузок, тогда как наиболее выгодное число кабелей, их сечение и порядок прокладки может быть установлен только путем сравнения вариантов, что является самым трудным в проектировании, поскольку готовых формул здесь применить нельзя.

В результате анализа вопроса о наиболее выгодном количестве и сечении кабелей выявлена целесообразность применения в качестве фидера вместо одного кабеля крупного сечения двух кабелей меньших сечений (под один масляный выключатель)⁷. Что же касается основных принципов развития сетей, то можно рекомендовать следующие.

Определив, например, по формуле Стилла, наиболее выгодное напряжение питательной и распределительной сети, для окончательного выбора напряжения сети необходимо произвести сравнение двух или трех вариантов по материальным показателям, включая и потери электроэнергии в проводах и кабелях, выбранных по техническим условиям, так как при этом местные интересы данного объекта не противопоставляются интересам всего хозяйства страны.

Сравнение вариантов можно вести, определив, например, по формуле проф. Хрущева или других авторов экономически наиболее выгодный радиус фидерного пункта и установив количество фидерных пунктов в первом приближении. Затем, когда напряжение сети выбрано, то для данного числа фидерных пунктов (а также для большего и меньшего числа) подсчитывают по формулам стоимость распределительной сети и питательной системы. Полученные данные откладывают в системе координат и по трем-четырем точкам строят кривую. По этой кривой и получают наиболее выгодное число фидерных пунктов и их мощность, так как плотности нагрузок известны. По целому ряду проектов при плотностях нагрузок от 0,5 до 2,5 W на 1 м² наиболее выгодные мощности фидерных пунктов получились в пределах 3000—6500 kW.

Развитие питательной системы надо вести в зависимости от мощности, которая имеет место в районе, отведенном для того или иного фидерного пункта. Когда потребность данного района не превышает 10—15% от запроектированной, т. е. 600—800 kW, то ее можно легко удовлетворить от соседнего фидерного пункта через распределительную сеть. При достижении нагрузки района 20—25% уже невыгодно ее питать от соседнего пункта и к месту будущего фидерного пункта необходимо прокладывать первый кабель питательной сети мощностью не выше 50% мощности фидерного пункта, строить трансальтерный пункт, рассчитанный на 2 ввода и 3—4 распределительных фидера с инертными предохранителями и защитой от перенапряжений. Таким образом защита на этом пункте будет обладать селективностью по отношению к мгновеннодействующей защите на трансформаторном киоске, а стоимость пункта составит всего лишь 5000—6000 руб. Когда же нагрузка достигнет 40—50% от запроектированной, то должны прокладываться дополнительные кабели и строиться фидерный пункт с масляными выключателями, поскольку стоимость фидерного пункта достигает 60 000—70 000 руб.

Чтобы была возможность всюду применять трансальтерные пункты, электропромышленность должна форсировать выпуск разъединителей мощности, совмещенных с высоковольтными предохранителями, подобных запранным, которые при 6—10 kV могут размыкать токи в несколько сот ампер и обладать разрывной мощностью в 100—250 MVA.

Главные условия проектирования сетей. Главные условия, которые необходимо учитывать при проектировании сетей, достаточно полно изложены в книге Е. Е. Накмансона «Линии и сети для распределения электрической энергии» (см. стр. 244 и 245). Первое из них требует обеспечения непрерывности снабжения потребителей электроэнергией. Поэтому мы считаем, что уже в третьей пятилетке все центральные города СССР должны иметь надежное снабжение энергией, обеспеченное резервным питанием автоматически, а в четвертой пятилетке такие условия должны иметь и все областные города, включая и ответственные районы.

В этих городах надо предусматривать 100%-ный резерв на случай одной из аварий в любом месте сети. Если вообще когда-либо и возможно совпадение 2 аварий, то все же на этот случай затрачивать вдвое больше оборудова-

⁶ Проф. В. М. Хрущев, Электрические сети и линии, ч. II, стр. 269.

⁷ «Электрические станции» № 8—9, 1938.

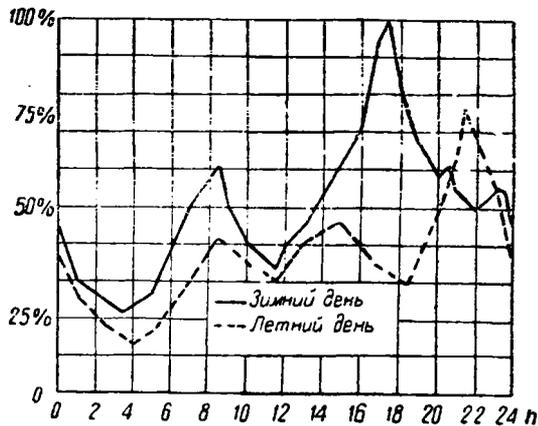


Рис. 3. Типовой суточный график электрической коммунально-бытовой нагрузки для городов УССР

ния нецелесообразно. В городах и поселках без промышленности предусматривать и 100%-ный резерв, конечно, не приходится.

Общее построение электрических систем должно предусматривать, одновременно с использованием преимуществ параллельной работы нескольких электростанций и связывающих их районных подстанций, также ограничение мощности к. з. Первым способом снижения токов к. з. в пределах сетевых устройств является применение силовых трансформаторов на подстанциях 110/35/6 kV не слишком больших мощностей с раздельной работой.

Так как число подстанций и их мощности получают путем сравнения вариантов по расходу цветных металлов, капиталовложениям и расходам при эксплуатации, то следовательно, остается решить только вопрос о мощности трансформаторов. Здесь может быть только два варианта, а именно: два трансформатора — один рабочий и второй резервный, либо три трансформатора — два рабочих и один резервный.

Вариант с тремя трансформаторами нам представляется более выгодным как в эксплуатационном отношении (более надежный, гибкий, дающий меньше потери энергии и пр.), так и в отношении капиталовложений. А самое главное при этом варианте — значительно снижаются токи к. з., часто в размере 40—50%, вследствие того, что мощность в одной единице снижается вдвое против варианта с двумя трансформаторами. При нагрузке подстанции меньше 50% в работе находится только один трансформатор вдвое меньшей мощности и, значит, с меньшими потерями. При большей нагрузке, которая бывает вечером и длится недолго (см. типовой график нагрузок городских сетей, рис. 3), работают два трансформатора раздельно, каждый на свою секцию шин, а третий, резервный, собран на главные трансферные шины и может быть автоматически подключен в случае выхода из строя одного из рабочих трансформаторов. Раздельная работа 2 трансформаторов в

течение нескольких часов в сутки не приносит сколько-нибудь заметного увеличения потерь.

Кроме того, расчетные генерирующие мощности на электростанциях, как и расчетной мощности трансформаторы на подстанциях в соответствии с ростом нагрузок, будут установлены лет через 10, и до того времени трансформаторы меньшей мощности могут работать параллельно.

Вторым способом снижения токов к. з. является применение реакторов на тэц или подстанциях 110/35/6 kV, на каждом питательном фидере. К тому же, чтобы обеспечить при к. з. наличие 70% напряжения в соседних фидерах, установка реакторов является единственным способом. Устанавливать же реакторы на распределительных фидерах, мощность которых составляет 500—800 kW, является слишком дорогостоящим мероприятием.

Третьим способом снижения токов к. з. является работа по радиальной незамкнутой системе питательной и распределительной сети, которая диктуется также релейной защитой, ибо только в этом случае можно обойтись на фидерных пунктах и киосках максимальными реле ИТ-81, не требующими постоянного тока и дающими выдержку времени при одном и том же токе к. з. от 0,25 до 4 сек. Кроме того радиальное питание по кратчайшему расстоянию дает и минимум потерь энергии. Схемы замкнутые, вследствие увеличения токов к. з. очень сложной и дорогой релейной защиты в данном случае применяться не могут.

Таким образом наиболее целесообразным является радиальное питание, которое мы принимаем как в питательной, так и в распределительной сети, при этом максимально сниженные токи к. з. позволяют всюду выбрать наиболее выгоднейшее сечение проводов и мощность аппаратуры.

Фидерный пункт мощностью до 5500 kW целесообразно иметь с двумя секциями шин, соединенных через масляный выключатель. При мощности же фидерного пункта выше 5500 kW необходимо применять двойную систему шин, так как такой пункт представляет собою уже центральное распределительное устройство.

Кроме максимальной защиты, осуществляемой на подстанциях и электростанциях с помощью реле РММ и РВ, а на фидерных пунктах — ИТ-81, необходимо предусматривать и защиту от замыканий на землю, если емкостный ток в сети превышает 15 А, чтобы предупредить пережог кабеля при переходе однофазного короткого в двух- и трехфазное⁸. Если же емкостный ток в сети не превышает 15 А, то достаточно установить на тэц или понизительной подстанции статические вольтметры, с помощью которых можно находить и от руки отключать дефектный участок сети.

В целях экономии кабеля, где это возможно, сейчас должны сооружаться воздушные сети. Как в фидерных, так и в трансформаторных пунктах должны применяться кабельные вводы, которые в настоящее время могут снабжаться вполне надежными муфтами.

Только при этом могут быть удовлетворены требования городов, предъявляемые к сетям, удобно и надежно подана энергия потребителям, а также обеспечен без дополнительных затрат переход в дальнейшем с воздушных на кабельные сети.

⁸ Руководящие указания по релейной защите Главэнерго.

ДИСКУССИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

М. Р. Сонин
Главэнерго НКТП

ПРЕДЛОЖЕНИЕ инж. С. Г. Егорова правильно освещает два вопроса. Правильно указывается им, что нельзя выбирать кабели, пользуясь формулой Томсона без дополнительных коррективов, так как техно-экономические расчеты, базирующиеся на этой формуле, в наших условиях приводят к завышенным сечениям меди. Если на Украине, судя по словам инж. Егорова, проектируют городские сети, пользуясь указанной формулой, то, несомненно, это приводит к большому перерасходу меди, что совершенно недопустимо.

Также заслуживает внимания предложение об унификации в расчетах себестоимости электроэнергии или топлива. Для всего Советского Союза достаточно, по видимому, установить 3—4 показателя расчетной стоимости энергии.

Однако инж. Егоров совершенно неправ, когда предлагает в настоящее время вовсе отказаться от учета потерь электроэнергии при выборе кабелей.

Нам важно экономить как цветные металлы, так и электроэнергию. Чрезмерные потери электроэнергии в кабелях являются также недопустимыми. Поэтому недооценивать, как это предлагает инж. Егоров, в расчетах при выборе кабеля вопрос уменьшения потерь нельзя. Необходимо установить какой-то эквивалент между стоимостью меди и топлива (или электроэнергии), оптимальный с точки зрения интересов государства на определенный отрезок времени, который бы учитывал необходимость максимальной экономии меди, а также экономии электроэнергии и топлива.

Попытки установить такой эквивалент в виде так называемого коэффициента экономии цветных металлов частично уже проработаны в предварительных предложениях инж. Лашкова (Теплоэлектропроект) и инж. Бессмертного (Коммунальноэнергосектор). Необходимо этим заняться Энергетическому институту Академии наук, используя работы Теплоэлектропроекта и Коммунальноэнергосектора.

Следует отметить, что в докладе инж. Егорова не затронут ряд вопросов, которые весьма эффективно влияют на экономию цветных металлов и должны быть учтены при выпуске руководящих указаний по городским сетям.

Прежде всего это касается вопроса выбора напряжений городских сетей. Необходимо ориентироваться на максимальное повышение напряжения, так как это может дать большую экономию цветных металлов. Однако выбор наиболее оптимального напряжения также требует техно-экономических сравнений нескольких вариантов, и в этом случае также требуется учитывать тот эквивалент, о котором шла речь выше. Иначе расчеты могут привести к более пониженным напряжениям.

Вторым фактором, весьма существенно влияющим на расход цветных металлов, является вопрос об исходной расчетной нагрузке. При выборе кабелей проектные организации исходят из нагрузки на очень длительный срок вперед от 5 до 10 лет. Это приводит к значительному омертвлению кабелей. Следует в настоящее время первую очередь сетей проектировать, исходя из нагрузки ближайших 2—3 лет. Вместе с тем, конечно, нужно учитывать возможность расширения сети при дальнейшем увеличении нагрузки (через 5 лет и далее).

Существенным может оказаться также расщепление кабелей на более мелкие сечения при обязательном условии удовлетворения их током к. з. При этом, конечно, нужно экономить медь отнюдь не за счет свинца, так как экономить нужно и тот и другой цветной металл.

Максимальная экономия меди требует тщательного проекта конфигурации сети. Пример конфигурации сети одного из городов, который приводит инж. Егоров, говорит о неграмотном подходе проектировщиков данной сети к этому вопросу. Максимальная экономия меди требует, чтобы при выборе напряжения, выборе конфигурации сети и выборе сечения кабелей проектировщики выполняли на

сколько вариантов, и лишь на основе сравнительных сопоставлений этих вариантов по расходу меди, потерям электроэнергии, капиталовложениям, потребности остродефицитного оборудования и кабелей определялся окончательный проект сети, подлежащий осуществлению.

И. С. Бессмертный
Коммунальноэнергосектор

ИНЖ. С. Г. ЕГОРОВ вполне своевременно ставит вопрос о необходимости пересмотра принципиальных оснований проектирования сетей. Однако выдвигаемые инж. Егоровым решения и конкретные предложения в части схем питательных и распределительных сетей могут служить лишь материалом в проектной работе, но никак не могут претендовать на значение всеобщих и стандартных (к тому же в значительной мере эти схемы известны и частично применялись ранее).

Наиболее важным представляется поставленный инж. Егоровым вопрос об основаниях экономических расчетов сетей. Указанные расчеты имеют первостепенное значение в проектировании электросетей, определяя затраты средств, оборудования и цветного металла и соотношение между последними, отвечающее оптимальным условиям. Между тем выбор этих наиболее экономичных условий производится по-разному в различных проектных организациях и даже в одной организации для различных проектных задач. Традиционным основанием для выбора экономически оптимальных величин считается минимум годовых эксплуатационных расходов. Например, в проекте руководящих указаний по проектированию городских сетей, разработанном Северо-западным отделением Теплоэлектропроекта в 1938 г., указано:

«§ 14. Окончательный выбор варианта производится, как правило, по минимуму годовых эксплуатационных расходов. При незначительном расхождении в величине этих расходов предпочтение дается варианту, приводящему к минимуму расхода цветных металлов».

Это указание не является, однако, бесспорным, и в ряде случаев проектные организации стремятся придать значительно большую роль весьма актуальному требованию экономии цветных металлов. Это достигается иногда условным увеличением расчетной стоимости цветного металла или введением соответствующего повышающего коэффициента к этой составляющей в расчете годовых эксплуатационных расходов, благодаря чему минимум последних искусственно сдвигается в сторону вариантов, требующих меньшей затраты металла. К сожалению, величина упомянутого коэффициента (дефицита или экономии меди) никем не установлена и не обоснована, что приводит к широкому произволу проектировщика при экономической оценке вариантов.

В связи с этим нередко выражалось сомнение в целесообразности расчетов стоимости и годовых расходов, и в некоторых случаях выбор из вариантных величин производился по другим показателям, как, например, минимальные затраты металла, соображения практического удобства и т. д. Общеизвестно, например, что сечения высоковольтных воздушных и кабельных линий принимаются часто без экономического расчета. Предложение инж. Егорова относится к этой же категории и сводится по существу к признанию оптимальным того варианта или величины, которые дают минимум затрат цветного металла при соблюдении необходимых технических требований (по потерям напряжения, токам к. з. и пр.).

С этим положением нельзя согласиться, поскольку принятие его в широкой проектной практике, естественно, вызовет массовый и бесконтрольный перерасход денежных средств, оборудования и увеличение потерь электроэнергии. К последнему необходимо проявить особое внимание в связи с недавними правительственными постановлениями

С другой стороны, нельзя считать безусловно правильным и традиционное положение, основывающее выбор экономических величин минимумом эксплуатационных расходов, так как при этом нивелируется значение отдельных составляющих, тогда как необходимо стремиться к экономии цветного металла, а вслед за ней — к экономии электроэнергии. Поправочные коэффициенты, вводимые для этой цели, повидимому, не удастся обосновать и ввести в общем порядке.

При рассмотрении предложения инж. Егорова в Главэнерго НКТП все эти соображения привели к желательности установления иных оснований экономических сравнений, более полно учитывающих уломанные факторы. Таким основанием может явиться бесспорное инж. Лашковым (Теплоэлектропроект) и инж. Вездерным (Коммунально-энергетический проект) положение об оценке эффективности затрат цветного металла определением экономии электроэнергии (уменьшения потерь), расходов и пр. на единицу веса металла, дополнительно запрашиваемого при вариантах, отличающихся от варианта, минимального по металлу.

При этом основой сравнения вариантов должна служить величина затрат цветного металла, но минимум таковой не является сам по себе решающим для признания варианта оптимальным. Так например, из представленных ориентировочных подсчетов экономичности 6-kV питательных кабелей для передачи 2000 kVA на 1 км следует, что минимум цветного металла может быть получен при сечении 35—50 мм² (в зависимости от величины тока к. з.), минимум годовых эксплуатационных расходов получается при 95—150 мм² (в зависимости от стоимости kWh).

Эффективность дополнительных затрат меди по потерям энергии составляет 72 kWh/kg при переходе от 50 к 70 мм²; 44 kWh/kg — от 70 к 95 мм² и 23 kWh/kg — от 95 к 120 мм². Рассматривая также аналогичные величины эффективности по капиталовложениям и др., можно признать оптимальными сечения 70—95 мм².

Таким образом выбор оптимального варианта может быть произведен при учете всех составляющих затрат и их относительного значения. Сохраняющийся элемент произвола можно было бы окончательно устранить, если бы удалось дополнительно ввести предельные эквиваленты (отношения) между отдельными составляющими, например, расходом цветных металлов и потерями электроэнергии.

Ф. П. Лашков

Теплоэлектропроект

ПРЕДЛОЖЕНИЯ инж. С. Г. Егорова касаются мероприятия по экономии цветного металла, проводимых при проектировании городских сетей. Эти мероприятия могут проводиться по двум направлениям. Первое направление — это соответствующий выбор сечений проводов при выбранном напряжении для передачи электрической энергии и выбранной схеме сети. Второе направление — это соответствующий выбор напряжения; схем коммутации и т. п. Эти направления экономии цветных металлов являются общими для сетей разных напряжений и способов выполнения, и поэтому решения, принятые для проектирования городских сетей, должны относиться в значительной части и к сетям другого назначения.

В отношении первого направления необходимо отметить следующее. Если исключить выбор сечения проводов (кабелей) по условиям экономичности, как это вытекает из предложений инж. Егорова, то во многих случаях нагрузки на провода (кабели) могут быть близкими к нормам нагрузки по условиям допустимого нагрева или их соответствовать, особенно если выбор коммутации сети будет подчинен условию уменьшения затраты цветного металла. Допустимые нагрузки на провода (кабели), обусловливаемые нагревом, достаточно высоки, потери энергии при них очень велики, и посредством некоторого снижения нагрузки можно значительно уменьшить потери энергии.

Даже для городских сетей, характеризующихся малым числом часов использования максимума передаваемой мощности, при применении нагрузки, допустимой по условиям нагревания проводов, относительно незначительное добавочное вложение проводящего металла может значительно сократить потери энергии.

Например, при нагрузке кабеля (с медными жилами), имеющего сечение 35 мм² (Н35) током в 170 А и при использовании максимума нагрузки в 3000 ч в год (чему

соответствует число часов максимальных потерь порядка 1850) потери энергии в линии (трехфазной) длиной в 1 км будут порядка 82 000 kWh в год; при передаче же этого тока по кабелю Н50 и Н70 потери будут соответственно 58 000 и 42 000 kWh в год. Уменьшение потерь энергии, отнесенное к добавочному весу меди, в кабелях дает при переходе от кабеля Н35 к кабелю Н50 52 000 kWh в год на 1 т меди, а при переходе от кабеля Н50 к кабелю Н70—35 000 kWh в год на 1 т меди.

При сечениях более высоких эффективность будет несколько ниже: так, для кабелей Н70; Н95 и Н120 при нагрузке 250 А и при тех же условиях в отношении использования потерь будут соответственно 90 000; 66 000 и 52 000 kWh в год; уменьшение потерь энергии, отнесенное к добавочному весу меди, дает при переходе от кабелей Н70 к кабелю Н95 35 000 kWh в год, а от кабеля Н95 к кабелю Н120—23 000 kWh в год на 1 т меди.

Цифры эффективности вложения проводящего металла могут быть еще выше при более высоком использовании кабельных линий (фабрично-заводские установки) и для воздушных линий. Значительная эффективность может быть в этих случаях и при нагрузках, значительно отличающихся от предельной по условиям нагревания.

Высокие цифры потерь энергии при некоторых нагрузках линий и возможность их сокращения при относительно незначительном вложении проводящего металла заставляют считать необходимым сохранение критерия экономичности и выработки в этом отношении соответствующих норм, в частности, и для городских сетей.

Эти нормы во многих случаях могут требовать сечений меньших, чем те, которые фактически будут применены в тех или других проектах, так как при проектировании приходится учитывать в большинстве случаев чрезвычайно много факторов, ведущих к снижению нагрузки против допустимой по условиям нагрева (для кабельных линий — недостаточно высокое качество пропиточной массы, прокладка нескольких кабелей в общей траншее, туннеле или в блоках; для воздушных и кабельных линий — условия резервирования и т. п.). Но наличие этих норм даст данные для избежания ошибок в тех случаях, когда снижающих факторов нет, и для нахождения при проектировании решений, сближающих технические и экономические пределы сечений проводов и кабелей.

В качестве метода для оценки экономичности вряд ли целесообразно пользоваться формулой Тсмсона, так как при теоретической правильности всех факторов, ею учитываемых, чрезвычайно трудно практически все их правильно отразить (при использовании этой формулы необходимо внести в нее в первую очередь правильную оценку стоимости энергии и металла проводов). Представляется, что правильным и достаточно простым критерием может явиться оценка по эффективности вложения проводящего металла с расчетами, аналогичными приведенным выше, или же по экономической приемлемой плотности тока, нормы которой нужно было бы установить.

В отношении второго направления для экономии цветного металла необходимо отметить следующее. Это направление при соответствующей разработке вопросов может быть чрезвычайно эффективным, особенно в фабрично-заводских установках, для которых вопросы проектирования менее регламентированы, чем для городских сетей и районных, а потребление цветных металлов очень велико. Экономия цветных металлов в этом направлении может быть достигнута за счет применения повышенного напряжения, выбора соответствующих схем коммутации сети и т. п. мероприятий.

Сокращению потребления цветных металлов в этом случае будет противопоставляться в основном увеличение капитальных затрат и высоковольтной аппаратуры. Для оценки пределов целесообразности экономии цветных металлов и для этого направления должны быть созданы критерии экономичности. Критерий эффективности вложения цветного металла мог бы быть использован частично и в этом случае.

Л. М. Фингер

Коммунально-энергетический проект

НЕЛЬЗЯ не согласиться с тем, что вопрос о принципах технико-экономических расчетов в проектах городских сетей поднят инж. С. Г. Егоровым вполне своевременно. Обычно, технико-экономические сравнения конкурирующих вариантов в проектах городских сетей производятся на

основе расхода цветного металла, капиталовложений и ежегодных затрат. В проекте руководящих указаний, разрабатываемом Северо-западным отделением Теплоэлектропроекта, рекомендуется в основном руководствоваться при технико-экономических расчетах величиной ежегодных затрат. Прав инж. Егоров, указывая, что в наших условиях подобный метод может привести к совершенно нелепым результатам.

В действительности, наибольший разброд существует в методах расчета ежегодных затрат. Так например, в стоимости киловатт-часа потерь одни учитывают только переменную составляющую ее (или топливную составляющую), другие полную стоимость — местную, третьи полную стоимость — среднегосударственную. Стоимость цветного металла некоторые берут с коэффициентом дефицитности, другие — без него. Вместо коэффициента дефицитности инж. И. С. Бессмертный и Ф. П. Лашков предлагают ввести новый коэффициент — эффективности. Допускается произвол в выборе величины начислений на капитал при исчислении ежегодных затрат. Весьма неточным является число часов максимальных потерь в году. При таком большом числе условных или совершенно произвольных величин весь расчет ежегодных затрат дает чрезвычайно неточные результаты: погрешность может доходить до $\pm 50\%$ и выше. Поэтому руководствоваться, в основном, подобными расчетами по меньшей мере рискованно.

Серьезного внимания, по моему мнению, заслуживает также вторая часть предложений инж. Егорова о типизации основных элементов схемы высоковольтной городской сети: числа кабелей в фидере, мощности фидерного пункта, сечений кабеля, очередности строительства питательной сети. На практике вопросы эти разрешаются часто неэкономично, с большим перерасходом цветного металла.

Инж. Егоров вполне своевременно выступил с критикой существующей практики проектирования питательных сетей. Правда, схемы инж. Егорова не исчерпывают рациональные схемы питательных городских сетей. Инж. Егоров рекомендует комбинировать малые сечения кабеля в питательных сетях. Подобным путем можно подчас получить экономию цветного металла порядка 25—35%. Рассматривая, однако, схемы питательных сетей городов А, Б и Г, приведенные в статье инж. Егорова как образцовые (журнал «Электрические станции» № 8—9, 1938), можно рекомендовать для этих же городов при указанных нагрузках более рациональную питательную сеть напряжением 35 kV.

Переход с напряжения 6 kV на 35 kV в городской сети может уменьшить расход цветного металла в 2, 3 и даже 4 раза. При распределении по городу мощности порядка 15 MW и выше сети 35 kV начинают конкурировать с питательными сетями 6 kV. Это обстоятельство совершенно не учтено в схемах питательных сетей, приведенных инж. Егоровым. Между тем опыт ряда городов Союза подтверждает возможность постепенного перехода питательной городской сети на напряжение 35 kV.

Таким образом наряду со схемами инж. Егорова следует рекомендовать перевод питательных сетей, где это экономично, на более высокие напряжения.

А. А. Глазунов
Москва

ВОПРОСЫ, поднятые инж. С. Г. Егоровым, являются новыми. Еще в 1931 г. трест Энергострой (ныне Теплоэлектропроект) обращался с просьбой в НКТП и Техническую академию дать указания относительно правильных положений при определении сечения проводов кабелей по эксплуатационным расходам.

Предложение инж. Егорова о выборе сечения проводов в основе только наименьших затрат металла и без учета потерь энергии на современном этапе строительства сетей в Союзе не может считаться приемлемым.

Одной из задач Технического совета НКТП является дать или коэффициенты, позволяющих привести к одному эквиваленту стоимости и потерянной энергии и цветного металла, или руководящих указаний по данному вопросу. Даже в последнем случае проектирование сетей в громадном большинстве случаев пойдет по правильному пути.

В. П. Иванов
Ленинград

ПЕРВЫМ положением, выдвигаемым инж. С. Г. Егоровым, является требование проектировать сети, исходя лишь из экономии металла. Он считает формулу Томсона порочной и поэтому отрицает возможность применения экономических расчетов при проектировании сетей.

Формула Томсона без введения в нее поправочных коэффициентов, как ею пользуются по словам инж. Егорова на Украине, и без учета специфики наших условий, конечно, не должна применяться. Однако, поскольку мы пользуемся ценами в рублях — для выражения размера материальных и трудовых ценностей, вложенных в сооружение, отрицать значение экономических расчетов в наших условиях будет безусловно неправильно.

В данном случае неправильно исходить только из необходимости экономии цветного металла, а следует также помнить о не менее обязательном для проектировщиков постановлении правительства об экономии энергии. Как это часто бывает в проектной практике, два противоположно действующие соображения должны заставить нас выбирать какое-то рациональное решение, но отнюдь не откидывать одно из этих соображений. Такое решение задачи экономить металл и экономить энергию может быть найдено только путем технико-экономического расчета. Если бы можно было установить коэффициенты, которые выражали бы дефицитность металла в некотором эквиваленте по отношению к эксплуатационным расходам, наблюдающиеся сегодня затруднения при выполнении экономических расчетов были бы сняты. Однако установление таких коэффициентов встречало большие затруднения, и при разработке проекта руководящих указаний по проектированию городских сетей мы не могли найти нужного выхода.

Отрицать значение формулы Томсона нельзя, как нельзя отказываться и от экономических расчетов; нельзя также в качестве безусловной директивы принять тезис инж. Егорова о расчете сетей, лишь исходя из экономии металла. Этому тезису инж. Егорова, кстати, противоречит другое выдвигаемое им положение, в котором, ссылаясь на факты 33% потери энергии в проводах, он рекомендует железные провода заменить медными и тем опустить потери энергии. Увязать это с ранее постулированной экономией металла я не могу, так как инж. Егоров не дает критерия, который определил бы допустимую величину потери энергии.

Следующий раздел сообщения инж. Егорова посвящен схемам сетей, вопросу о мощности фидера и пункта и т. п. Вывод автора — необходимо выработать стандартную схему городской сети — принять нельзя. Условия конкретной действительности настолько разнообразны, что уложить их в стандартную схему невозможно. Необходимо установить типовые элементы схем, выснить области применения отдельных решений, и грамотный проектировщик на этой основе запроектирует хорошую схему, но схемы все же окажутся для разных городов разными и никак не подойдут к единой стандартной схеме. В руководящих указаниях, которые пришлось нам разработать, раздел о схемах изложен именно под углом зрения рассмотрения элементов. Такое решение нам представляется правильным.

Примеры, которые приводит инж. Егоров, обосновывая необходимость стандартной схемы, по моему мнению, не подлежат обсуждению, так как приведенные им примеры (например линия с 17 ТП) противоречат общеизвестным положениям о схемах сетей и являются примерами неграмотного проектирования. Основываясь на них, заключать о необходимости стандартной схемы и именно той, которую рекомендует инж. Егоров, преждевременно.

Попутно укажу, что рекомендуемые инж. Егоровым разъединительные пункты в месте перехода одного или нескольких фидеров в распределительные линии при числе последних большем, чем число фидеров, применяться не должны, так как в этом случае необходимы не только разъединители, но и масляные выключатели.

Руководящие указания по проектированию городских сетей составляются по заданию Главэнерго Северо-западного отделением Теплоэлектропроекта, Главэнерго и Теплоэлектропроект, хотя они непосредственного отношения к некоторым городским электросетям не имеют, фактически принадлежит организация дела составления проекта руководящих указаний, которую нужно довести до конца. После широкого обсуждения разработанной проект след-

Между тем в заводских, фабричных и вообще промышленных сетях вопросы экономии металла и правильного проектирования сетей имеют не меньшее, а, пожалуй, большее значение, чем в городских сетях. Но до сих пор разработкой руководящих указаний по проектированию промышленных сетей в НКТП никто не занимается. Необходимо срочно поручить Главэнерго организацию разработки этих руководящих указаний.

В. И. Вейц

Академия наук СССР

СУЩЕСТВУЮЩИЙ разброд и разброл в методах проектирования городских, фабрично-заводских и районных электросетей (это относится и к другим не менее важным элементам энергетического хозяйства), приводящий во многих случаях к неправильным с народнохозяйственной точки зрения результатам (перерасход цветных металлов — в одном случае и значительные потери электроэнергии — в другом), объясняется в значительной степени недооценкой основных проблем технико-экономического анализа в проектировании.

Следует приветствовать инициативу инж. С. Г. Егорова, как и других товарищей, в ликвидации кустарщины и наведении порядка в области проектирования сетей (я имею в виду не только городские сети) на основе разработки научно-обоснованных руководящих указаний. Этот вопрос имеет более широкое и принципиальное значение чем собственно методика расчета сечений проводников.

Мне представляются очевидными следующие исходные положения, вытекающие из общих основ нашей социалистической экономики и относящиеся к данному вопросу:

1. Народнохозяйственная эффективность не исчерпывается собственно технико-экономическими показателями, при всей большой важности последних. Для решения вопроса о наиболее эффективном для народного хозяйства варианте технической реконструкции, наряду с анализом технико-экономических показателей, необходим экономический анализ ряда факторов качественного порядка, не всегда поддающихся количественному измерению.

2. Критерием экономической эффективности при выборе вариантов является принцип повышения производительности общественного труда. Этот принцип синтезируется показателями народнохозяйственной себестоимости продукции. Хотя эти показатели приближенно и не всегда точно отражают изменения производительности общественного труда (в особенности при несовершенстве расчетных калькуляций), но из всех практически возможных экономических и технических показателей именно народнохозяйственная себестоимость является относительно наиболее полноценным и синтезирующим измерителем эффективности технической реконструкции и связанных с ней затрат. Поэтому правильно построенные показатели народнохозяйственной себестоимости являются ведущим расчетным принципом в технико-экономическом анализе вариантов инженерных сооружений и их отдельных элементов.

Вариант, отвечающий минимуму народнохозяйственной себестоимости, должен быть проверен под углом зрения баланса одновременных вложений (величина и структура материального баланса, капиталовложений) и других технических и экономических факторов (сроки строительства, организация работ и т. д.). В зависимости от последних факторов должно быть в каждом отдельном случае обосновано принятие другого варианта, отличного от варианта, отвечающего минимуму народнохозяйственной себестоимости. При этом технико-экономический расчет должен дать в наглядной форме динамику изменений показателей издержек производства, баланса материало- и капиталовложений рассматриваемых вариантов.

3. Принятие в качестве определяющего универсального критерия при выборе вариантов — показателя минимума одновременных затрат (в денежном или в натуральном выражении) — является неправильным. Точно так же неправильно эту роль передавать показателю так называемой «окупаемости» дополнительных затрат в экономии годовых издержек производства. Ошибочность этих, — к сожалению рекомендуемых в специальной литературе

и применяемых в ряде проектов — принципов, трудно установить.

Таковы некоторые из общих принципиальных положений. Непосредственно, применительно к рассматриваемому вопросу, можно отметить следующее:

1. Неосновательность сосредоточения дискуссии по вопросу о методе выбора сечения проводов вокруг так называемой формулы Кельвина-Томсона. При всем значении работ Кельвина в разных областях физики и техники, по отношению к этому экономическому «закону Кельвина» можно сказать следующее. Верно, что

функция типа $\frac{a}{q} + bq$ имеет минимум при равенстве слагаемых ($\frac{a}{q} = bq$), но это давно известно было и до Томсона.

Что касается содержания экономических показателей этой формулы, расшифрованных Томсоном, то оно, естественно, базируется на основах капиталистической калькуляции и принципиально неверно, а потому неприменимо для условий социалистической экономики.

Споры о «законе» или формуле Томсона-Кельвина мне представляются беспредметными, схоластичными. Неправы, конечно, товарищи, которые пропагандируют «закон Кельвина», так как не приходится считать Кельвина автором решения математической задачи минимума функции указанного типа, а содержание экономических показателей, приводимое Кельвином в формуле выбора сечения проводов по минимуму эксплуатационных расходов, не соответствует нашей экономике.

2. Экономия металла, равно и электроэнергии, при проектировании сетей, являются элементами нашей технической политики отнюдь не конъюнктурного характера. Современная напряженность баланса цветных металлов и электроэнергии сильно заостряют эту проблему.

3. Принятие в качестве определяющего критерия при проектировании сетей принципа минимума металла (что в основном соответствует расчетному показателю минимума капиталовложений) является ошибочным; во-первых, потому, что это противоречило бы универсальному принципу нашей социалистической экономики — повышению производительности общественного труда; во-вторых, потому, что экономия электроэнергии является также весьма важной, народнохозяйственного значения, задачей нашей технической политики; и, в-третьих, потому, что принципиально неверно исходить в перспективно проектировании из условия закрепления современной «узости» баланса цветных металлов.

4. Зведение коэффициента дефицитности меди в технико-экономических расчетах носит сугубо формальный характер и не должно быть рекомендовано, так как это с принципиальной стороны не обосновано, а числовое определение является по существу произвольным. Вред от регламентации этого приема между прочим заключается и в том, что это формально освобождает инженеров-проектировщиков от технико-экономического анализа, перекладывая решение этой задачи по существу на счетную линейку. Так же неверна (по тем же мотивам) рекомендация применения принципа минимальной или некоей «заданной» нормы окупаемости.

5. В качестве ведущего расчетного принципа должен быть принят правильно построенный показатель народнохозяйственной себестоимости энергии, экономически призванный синтезировать проблему экономики как металла, так и энергии. При этом особое внимание следует уделить в руководящих указаниях вопросам правильного построения и анализа этого показателя (определение себестоимости потерь в сетях, составляющие себестоимости и т. д.).

Попутно замечу, что предложение о принятии в расчетах единой цены на электроэнергию для всех районов было бы неправильным.

Большое значение имеют и анализ динамики изменения показателей во времени и учет динамики расчетных нагрузок. Это требует специального рассмотрения.

Вариант, отвечающий условию минимума народнохозяйственной себестоимости энергии, должен быть прокорректирован анализом баланса цветных металлов. На современном этапе последний фактор в ряде случаев является решающим.

Я придаю особо важное значение, для технико-экономического анализа уже отмеченному здесь в выступлении

инж. Лашкова и инж. Бессмертного показателю экономии (или потерь) электроэнергии, приходящейся на каждую дополнительную тонну металла проводов. Но вместо «кустарной» увязки каждой проектирующей организацией проблемы сечения проводников по народнохозяйственной себестоимости с проблемой узости на данном этапе баланса цветного металла следовало бы, мне кажется, организовать периодические экспертизы проектных заданий при НКТП или Госплане СССР. Это обеспечило бы правильное с общегосударственной точки зрения решение задачи в каждом отдельном случае.

Очень важно ускорить обсуждение проекта руководящих указаний по проектированию городских сетей, разработанного в Ленинграде под руководством проф. В. П. Иванова. Необходимо также ускорить разработку руководящих указаний и по проектированию других элементов электрохозяйства.

Я считал бы целесообразным обсуждение принципиальных положений проекта руководящих указаний в энергетической секции ученого совета Энергетического института Академии наук, совместно с Главэнерго и с Техническим советом НКТП.

За рационализацию проектирования электроснабжения промпредприятий

Н. А. ЗЛАТЕВ

Ленинград

ПОСТАНОВЛЕНИЕ Совета Народных Комиссаров Союза ССР от 26 февраля 1938 г. «Об улучшении проектного и сметного дела и об упорядочении финансирования строительства» обязало проектные организации перестроить свою работу и провести в жизнь целый ряд рационализирующих мероприятий.

Настоящая статья выдвигает предложение, которое должно привлечь внимание организаций, разрабатывающих проекты электроснабжения промпредприятий.

Одним из способов, удешевляющих строительство и монтаж электросооружений, является повышение качества проекта и сокращение срока изготовления за счет изменения методов проектирования. Существующие же методы проектирования в Электропроме, Стройэлектро, Гипромаше и др. обуславливают громоздкость проекта и не гарантируют экономичных решений.

Целью технического проекта электроснабжения промпредприятия является решение вопросов по выбору отдельных элементов сети и их взаимной компоновке. К вопросам, которые приходится решать, как известно, относятся: выбор напряжения низковольтной сети; выбор системы питания нагрузок: силовой, осветительной, освещения безопасности; выбор мощности, количество и местоположение трансформаторных подстанций и др.

Из всех возможных решений этих вопросов должны быть приняты наилучшие по показателям техническим: удобство и безопасность обслуживания, бесперебойность питания потребителя; по экономическим: наименьшие капитальные затраты и эксплуатационные расходы, экономия дефицитных материалов (особенно цветных металлов) и электроэнергии.

Рассматривать все мыслимые решения нет необходимости, да и практически невозможно. Основных вопросов, подлежащих решению, в проекте не меньше 15 (см. ниже — о содержании руководящих указаний), в некоторых же проектах это число доходит до 30. По каждому вопросу возможно несколько решений. Решение, принятое по одному вопросу, влияет на решения смежных вопросов. Число мыслимых решений равно

примерно числу возможных решений по одному вопросу, возведенное в степень, равную числу смежных вопросов.

Практически проектирование ведется таким методом: из общего числа возможных решений рассматривается только небольшая часть, а именно те, которые представляются проектанту заслуживающими внимания (часто рассматривается только одно решение). Затем путем сравнения выбирается наилучший вариант по показателям, которые представляются проектанту наиболее решающими, после чего проверяется, насколько принятое решение удовлетворяет остальным показателям.

Вполне ясно, что этот метод проектирования является чисто субъективным, так как: отбор вариантов производится главным образом на основании опыта и интуиции проектанта; выделение показателей в качестве основных, по которым ведется сравнение, производится также на основании индивидуальной оценки проектанта, и весь ход рассуждений при проектировании не регламентирован.

Даже большой опыт, знания и интуиция проектанта не гарантируют: во-первых, что рассмотрению подверглись наилучшие варианты и, во-вторых, что проектант оценил правильно специфические особенности объекта и сравнение производилось действительно по решающим показателям.

В конечном итоге сравниваются случайные варианты по случайным показателям, и в результате нередко получаются случайные решения.

Сказанное можно иллюстрировать таким примером. При проектировании реконструкции одного объекта до выбора схемы электроснабжения заказчик вел работы на объекте по прокладке фидера от подстанции А до подстанции Б. При разработке схемы электроснабжения проектная организация рассмотрела два варианта. При сравнении по экономическим показателям выбор должен был пасть на схему, в которой отсутствует фидер от подстанции А до подстанции Б. Это поставило проектную организацию перед необходимостью либо ликвидировать производимые заказчиком работы либо выбрать худший вариант. Для разрешения затруднений был рассмот-

рен дополнительно третий вариант, исключенный ранее из рассмотрения как явно неэкономичный. Оказалось, что он экономичнее обоих рассмотренных при более гибкой схеме, и именно он был принят в проекте. Неожиданный результат удивил и экспертизу и представителей утверждающей инстанции. Это показывает, что неправильное исключение из первоначального рассмотрения третьего варианта не является ошибкой проектной организации, а является следствием неправильной методики проектирования.

Перечисленные недостатки создают затруднения и некоторый произвол при утверждении проекта, так как отсутствуют общепринятые показатели правильности принятых решений.

Сущность предлагаемого нами метода рационализации проектирования электроснабжения заключается в следующем.

Составляются единые руководящие указания, в которых: 1. Определяются задачи и объем проектного задания и технического проекта. 2. Регламентируется техническая терминология. 3. Разрабатываются типовые расчеты и типовый текст пояснительной записки. 4. Составляются технические условия, перечисляющие общие требования ко всякому объекту с классификацией их: по бесперебойности электроснабжения, по гибкости и эластичности схемы, по качеству электроэнергии и т. д. 5. Каждый вопрос проекта анализируется отдельно по следующей схеме: а) все возможные решения по данному вопросу разбиваются на типы; б) все объекты, могущие встретиться при проектировании, разбиваются на классы; в) исследуется аналитическим и опытным путем, какие типы решений к каким классам объектов применимы; конечно, к каждому классу объектов применимы не все, а только незначительная часть возможных решений.

По нашему мнению, основными разделами содержания руководящих указаний должны быть следующие: 1. Общая часть (технические термины, обозначения, порядок составления и утверждения проектных материалов, цели, задачи и объем проектного задания и технического проекта, технические условия). 2. Выбор напряжения питающей и распределительной сети высокого напряжения. 3. Выбор напряжения силовой и осветительной сетей. 4. Система питания силовой и осветительной нагрузок. 5. Выбор мощности, количества, местоположения подстанций и трансформаторов. 6. Выбор схемы электроснабжения (типы решений, классификация объектов, применение типа решений к классу объектов, теоретически минимальный процент резервирования в типовых схемах, число распределительных пунктов и мощность питающих фидеров, шкала мощностей и числа фидеров и т. д.). 7. Релейная защита. 8. Источник питания собственных нужд (хозяйство постоянного тока). 9. Компенсирующее устройство. 10. Выбор аппаратуры. 11. Заземление. 12. Трансформаторно-масляное хозяйство. 13. Обслуживание электрохозяйства. 14. Конструктивное оформление подстанций. 15. Экономические и технические показатели. 16. Технические данные аппаратуры, расчетные нормы и коэффициенты, номограммы, графики, таблицы; официальный материал (постановления и распоряжения,

касающиеся электроснабжения), тарифы электроэнергии. При таких руководящих указаниях работа по проектированию электроснабжения сведется к следующим двум операциям.

1. По каждому вопросу объект на основании его особенностей причисляется к соответствующему классу. Если по данному вопросу, для данного класса, в руководящих указаниях дано только одно решение, то вопрос разрешен; если — несколько, то выбор делается только между решениями, указанными в руководящих указаниях для этого класса. Выбор делается методом исключения, так как некоторые решения, приемлемые для данного вопроса, исключаются решениями смежных вопросов. Если все же в результате исключений останется несколько приемлемых решений, то выбор делается путем сравнения.

2. Принятые решения оформляются применительно к проектируемому объекту. Составляется конкретная схема коммутации, в типовые расчеты вставляются цифры проектируемого объекта производятся необходимые вычисления, вносятся вынужденные отступления от типового решения.

Преимущества предлагаемого метода перед существующим будут значительны. Отбор вариантов, подлежащих сравнению, производится не только на основании индивидуального опыта проектанта, а в первую очередь на основании предварительного анализа, данного в руководящих указаниях. В некоторых проектах отпадет необходимость рассматривать варианты, и это будет подтверждено работой, проделанной в руководящих указаниях. Выделение показателей в качестве основных будет также базироваться на исследованиях руководящих указаний. Перед проектантом будет поставлена задача: правильно отнести объект к соответствующему классу. Но если в руководящих указаниях разбивка на классы произведена четко и исключает двусмысленные толкования, то и при решении этой задачи не возможны ошибки, зависящие от индивидуальных способностей проектанта. Резко уменьшится объем проекта (а следовательно, и стоимость), сократится срок его изготовления, так как доказательства правильности принятых решений будут отнесены на руководящие указания и отсутствовать непосредственно в проекте. Будет единая методология проектирования, для всех проектных организаций. Будут единые, общепринятые показатели для оценки качества проектирования, следовательно, исчезнут затруднения при утверждении проектов.

Необходимо отметить, что почти все проектные организации ведут работу по упрощению проектирования: разрабатывают технические условия, руководящие указания, стандарты. Это показывает, насколько необходима такая работа. Однако эффект этих трудов невелик: работы разрознены, несвязаны единой идеей, не систематизированы.

Таким образом совершенно ясна необходимость разработки руководящих указаний по проектированию электроснабжения промпредприятий. До утверждения и издания руководящих указаний в законченном виде необходимо проект опубликовать для обсуждения

Опыт внедрения 380/220 V в городских электросетях

Л. М. ФИНГЕР

Коммуэнергопроект

В СВЯЗИ с накопившимся опытом реконструкции электросетей ряда городов СССР заслуживают внимания некоторые вопросы практического применения системы 380/220 V.

В настоящее время мы являемся свидетелями широкого распространения системы 380/220 V с заземленной нейтралью в сетях общего пользования как в Союзе, так и в Западной Европе. (В Соединенных штатах Америки напряжение выше 150 V по отношению к земле считают высоким и использование его в домашнем быту не допускается.)

В Союзе, как известно, напряжение 380/220 V появилось давно, примерно в 1923 г. В 1928 г. напряжение это принято было в качестве стандартного IX Всесоюзным электротехническим съездом. Наркомтяжпромом был издан ряд приказов, на основе которых система 380/220 V признана предпочтительной для осветительных установок. В результате во всех новых сетях Союза в последние годы другие напряжения применялись лишь в виде исключения.

Однако при осуществлении системы 380/220 V в тех городах, где существуют многочисленные старые установки для напряжений 220/127 V или 3×220 V, встретились затруднения; как пример, можно привести города Калинин, Пятигорск, Гусь-Хрустальный, Томск. Приходится вновь иметь дело с возражениями против напряжения 380/220 V, которые в основном сводятся к следующему: 1) при наличии большого числа установок на 220/127 V введение нового напряжения неэкономично; 2) система 380/220 V для потребителя небезопасна; 3) выполнение всех требований руководящих указаний для установок 380/220 V при остром недостатке установочных материалов невозможно.

В связи с этим интересно будет вспомнить историю распространения системы 380/220 V в Союзе и за границей.

В странах Западной Европы, как известно, эта система применяется свыше 30 лет, и в последние годы получила преобладающее значение в Швейцарии, Швеции, Норвегии, Германии, Дании, Голландии, Чехословакии, Польше и в некоторых частях Англии и Франции.

Причина столь широкого распространения напряжения 380/220 V совершенно ясна. Прогрессивное развитие электротехники во всех ее областях приводило и продолжает приводить к применению все более и более высоких напряжений. Естественно, поэтому преобладающее значение и получило наивысшее допустимое в домашнем быту напряжение — 380/220 V. Это напряжение позволяет экономично снабжать энергией как большие города с очень высокой плотностью нагрузки, так и населенные местности с чрезвычайно малой плотностью нагрузки и потребителями, разбросанными на значительном расстоянии друг от

друга, — сельские местности, пригородные хозяйства.

При введении в качестве стандарта напряжения 380/220 V в Швейцарии в 1920 г. был исследован вопрос, до какого предела можно повышать напряжение в быту без опасности для людей и в пожарном отношении. Опыты показали, что таким пределом является напряжение 250 V по отношению к земле. Богатый последующий опыт по эксплуатации внутренних установок 380/220 V, выполненных с соблюдением соответствующих норм, полностью подтвердил безопасность этого напряжения.

В свое время вопрос о применимости 380/220 V вызвал широкую дискуссию на страницах нашей электротехнической печати. Одним из противников напряжения 380/220 V был проф. В. М. Хрущов. Начиная с 1928 по 1933 г., им был опубликован ряд статей, в которых он отстаивал 120 V для бытовых установок. Вопрос о наиболее выгодном напряжении низковольтной сети проф. Хрущов решал чисто математически, сопоставляя два фактора — стоимость сети и стоимость энергии при разных напряжениях. Отыскивая минимум для функции, содержащей сумму всех ежегодных эксплуатационных затрат, он пришел к выводу, что для городских осветительных сетей экономически наиболее выгодным напряжением в большинстве случаев является 110 V (или близкое к нему). Применение же напряжения 380/220 V, по его мнению, должно привести к значительным излишним затратам в народном хозяйстве.

Увеличение затрат при 380/220 V, по мнению проф. Хрущова, связано с удорожанием светового потока и ламп, увеличением мощности станции и сети, уменьшением допустимого процента падения напряжения в сети и соответствующим возрастанием стоимости проводов.

Приведенные соображения, однако, оспаривались с самых разнообразных точек зрения.

Так например, указывалось, что при существующем методе калибровки ламп по потребляемой ими мощности разница между двумя напряжениями скажется не в повышенном потреблении энергии, а только в несколько меньшей эффективности освещения. Кроме того, проф. Хрущов рассматривал сеть с чисто осветительной нагрузкой, при наличии же смешанной нагрузки (нагревательных приборов, моторов и т. п.) результаты расчетов наиболее выгодного напряжения получаются совершенно другие. Наконец, что является особо важным, проф. Хрущов слишком высоко оценил топливную составляющую стоимости энергии и совсем недооценил фактор расхода цветного металла. Таким образом доводы проф. Хрущова против напряжения 380/220 V не могли найти признания.

В то же время совершенно бесспорны известные преимущества 380/220 V по сравнению с си-

стемой 220/127 V. Основное преимущество — уменьшение расхода цветного металла на провода вдвое. Заметно также снижается число трансформаторных пунктов, что дает значительную экономию в начальных затратах. Снижаются потери энергии в сети за счет уменьшения потерь холостого хода трансформаторов в связи с увеличением мощности их. В самой сети потери энергии также уменьшаются благодаря большему влиянию при 380 V округлений сечений до стандартных величин. Значительно облегчается присоединение бытовых приборов без изменения внутренних проводок при обычных сечениях провода в 1—1,5 mm². Все это говорит в пользу 380/220 V.

Серьезного внимания заслуживают возражения против системы 380/220 V с заземленным нулем с точки зрения безопасности, особенно при низком качестве проводки. Правда, электрический ток может быть опасным и при напряжении 110 V и ниже. Совершенно безопасно только напряжение 20 V, и это, однако, не является препятствием для распространения более высоких напряжений.

Специальное исследование¹ степени опасности системы 380/220 V с заземленной нейтралью было проведено Всесоюзным институтом охраны труда. Были произведены замеры на нескольких предприятиях силы тока при 26 000 условных несчастных случаях. Сопротивление человеческого тела принималось вариантно от 1000 до 10 000 Ω. На основании этих наблюдений инж. Королькова предлагает решительно отказаться в коммунальных сетях от системы 380/220 V с заземленной нейтралью, так как опасность поражения током в бытовых установках по ее мнению значительно больше, чем в промышленных предприятиях.

Наиболее спорным по нашему мнению в статье инж. Корольковой является исходное положение, что степень опасности напряжения 380/220 V с заземленной нейтралью можно определить не на основе статистических данных эксплуатации, а исключительно исходя из экспериментального исследования, как это было осуществлено институтом охраны труда.

Далее, значительного числа несчастных случаев от электричества при напряжении 380/220 V можно было бы ожидать на основе статьи инж. Корольковой лишь в том случае, если бы средняя величина сопротивления пути тока через человеческое тело в обычных условиях эксплуатации была бы ниже 5000 Ω. В действительности же в огромном большинстве случаев сопротивление человеческого тела, повидимому, значительно выше.

Сопротивление человеческого тела, как выявлено многочисленными опытами, — величина чрезвычайно изменчивая и зависит от многих факторов: величины площади соприкосновения человеческого тела с токоприемником, продолжительности соприкосновения пути тока в теле, состояния кожи, физического и психического состояния человека, окружающей обстановки, состояния обуви и одежды и от многих других еще

недостаточно изученных причин. Действие электрического тока на человека может быть самым разнообразным, начиная от едва ощутимого щекотания до смертельного удара.

Поэтому весьма трудно чисто экспериментально установить возможное число несчастных случаев от действия электрического тока. По нашему мнению экспериментальные данные следовало бы дополнить статистическим материалом эксплуатационного характера.

В свете статистики, выводы, какие можно сделать о безопасности электрических установок при напряжении 380/220 V с заземленной нейтралью будут, возможно, иные, чем у инж. Корольковой. До настоящего времени статистика травматизма в городах Союза, перешедших на напряжение 380/220 V, не дает такого числа несчастных случаев для установок 380/220 V, которое отличалось бы от обычного среднего числа для установок более низкого напряжения. Поэтому до окончательной проверки эксплуатационных данных приходится считаться с установившимся на основе опыта мнением, что установки 380/220 V с заземленной нейтралью совершенно безопасны при условии, конечно, если они выполнены квалифицированными монтерами с учетом правил безопасности, из удовлетворительного установочного материала и при соответствующем предупреждении потребителей о мерах предосторожности при пользовании электрическими установками.

Наиболее труден перевод на новое напряжение старых сетей с напряжением 220/127 или 3 × 220 V. Поэтому относительно много противников 380/220 V встречается среди работников, стремящихся во что бы то ни стало сохранить свои старые сети с более низким напряжением.

Весьма поучительной в этом отношении является история реконструкции электросетей группы курортов Кавказских минеральных вод. В 1936 и 1937 гг. электрические сети этих курортов были переоборудованы согласно проекту Коммунального энергостроя и должны быть пущены в эксплуатацию при новом напряжении — 380/220 V. Однако краевые организации предложили отказаться от 380/220 V и оставить существующую систему (3 × 220 V без нуля) по следующим мотивам: напряжение 380/220 V, мол, неприменимо с точки зрения безопасности и неэкономично в условиях курортных городов; при отсутствии необходимых установочных материалов и оборудования выполнение установок в полном соответствии с существующими руководящими указаниями для системы 380/220 V невозможно.

Решение вопроса о выборе напряжения для курортных городов было передано специальной комиссии при Наркомхозе в Москве. Комиссия этого вопроса не разрешила, но все же признала принципиально вполне допустимым с точки зрения безопасности напряжение 380/220 V в условиях курортов.

Какие же собственно изменения требуются в существующих установках при переходе с линейного напряжения 220 V на 380 V?

В первую очередь необходимо приспособить имеющееся оборудование к новому напряжению. Обычно приходится перемотать моторы, трансформаторы, менять счетчики, лампы, переключатели.

¹ В. И. Королькова, Проблема заземления электроустановок 380/220 V. „Электричество“ № 2, 1937.

ные приборы, радиоприемники и т. п. Кроме того, новые установки на 380/220 V могут быть включены в сеть лишь после проверки соответствия их требованиям правил безопасности.

Существующие «Временные руководящие указания для устройства электротехнических установок трехфазного тока напряжением 380/220 V с заземленной нейтралью» пестрят ссылками, с одной стороны, на «Руководящие указания для расчета и устройства заземлений и занулений в установках низкого напряжения», с другой, — на «Правила безопасности и правила устройства для электротехнических сооружений сильного тока низкого и высокого напряжений». К сожалению, сейчас нет исчерпывающих указаний, собранных воедино и отвечающих на все вопросы, связанные с переходом на 380/220 V.

В части изоляции, защиты от прикосновений, заземлений и занулений требования правил безопасности совершенно одинаковы для установок низкого напряжения, вне зависимости от величины напряжения, начиная от 65 до 250 V по отношению к земле. Наряду с этим твердо установленных правил расчета и устройства заземлений нет. Существующие временные руководящие указания для установок 380/220 V не дают достаточных материалов по данному вопросу. Требования

руководящих указаний, относящиеся к установке выключателей, штепселей и патронов, применению специальной шнуровой проводки, на практике коммунальными сетями обычно не выполняются из-за недостатка, а иногда и отсутствия соответствующих материалов.

Поэтому назрела острая необходимость скорейшего пересмотра руководящих указаний в целях уточнения всех минимальных требований, предъявляемых к установкам 380/220 V с заземленной нейтралью, выполнение которых безусловно обязательно. Следует также пересмотреть и уточнить существующие распоряжения о напряжении 380/220 V. При пересмотре необходимо учесть имеющийся опыт эксплуатации установок 380/220 V. Кроме того, совершенно необходимо: наладить учет электротравматизма на существующих установках 380/220 V и 220/127 V; выработать инструкцию для потребителей электроэнергии, поясняющую, как следует переводить существующие установки с напряжения 220/127 на 380/220 V; наладить в кратчайший срок на заводах достаточный выпуск оборудования и установочных материалов, требующихся для установок 380/220 V.

Нужно перейти к решительному внедрению системы 380/220 V в электросетях населенных мест.

Экономика перевода городских электросетей на 380/220 V¹

Э. Б. ИВЯНСКИЙ

Коммунаэнергопроект

ОБЫЧНО противники напряжения 380/220 V в городских электросетях выдвигают в качестве одного из основных возражений то, что переоборудование внутридомовой проводки, вызываемое введением напряжения 380/220 V, при громадном количестве установок внутреннего освещения требует очень больших капиталовложений, приводит к перерасходу средств и, следовательно, переход на это напряжение экономически невыгоден.

Не касаясь технических проблем, возникающих при применении напряжения 380/220 V, подробно освещенных в ряде журнальных статей, мы излагаем ниже экономическое сравнение вариантов напряжения низковольтных сетей двух городов (Калуги и Томска), имеющее своей целью дать на конкретных примерах всестороннее освещение экономики перевода реконструируемых сетей на напряжение 380/220 V.

Такое экономическое сравнение целесообразно провести, когда существующая сеть имеет напряжение 220/127 V, как это имеет место в рассматриваемых ниже примерах. Если же существующая сеть — трехфазная без нулевого провода имеет напряжение 120 либо 220 V, то новое напряжение 380/220 V представляет настолько большие и очевидные преимущества, что экономическое сравнение становится уже излишним. Это объясняется тем, что при трехфазной сети 120 V потребное количество цветных металлов для проводов теоретически в 8,2 раза, а практически не менее чем в 5 раз больше, чем при 380/220 V. Такой громадный перерасход остродефицитных металлов,

конечно, не сможет полностью окупиться большей экономичностью 120-V ламп. Трехфазная же система с напряжением 220 V без нулевого провода отличается всеми недостатками пониженного напряжения, но не имеет его преимуществ, а поэтому она также не может быть экономически сравнима с системой 380/220 V.

Нужно отметить, что это экономическое сравнение для обоих городов производилось в стадии проектного задания, без детальных расчетов сетей, что, понятно, не могло не отразиться на точности подсчетов. Однако полученные результаты могут все же служить основанием для экономического сравнения.

Основное экономическое преимущество осветительных установок напряжением 220/127 V по сравнению с такими же установками на 380/220 V — это большая экономичность ламп 120 V, чем ламп 220 V.

Согласно ОСТ 5154, светоотдача ламп при 120 V больше на 13—27%, чем при 220 V. Выпущенные в последнее время биспиральные лампы малых мощностей (до 100 W) экономичнее стандартных и имеют разницу в светоотдаче при 120 и 220 V лишь от 11 до 13%. В среднем же увеличение светоотдачи ламп 120 V можно считать выше на 17—18%. Однако это не означает, что и установленная мощность ламп 120 V может быть пропорционально снижена. Практика проектирования внутреннего освещения и статистические данные ряда проектов показывают, что при 120 V снижение установленной мощности ламп достигает только 11% и то лишь в случаях, где можно запроектировать и выполнить освещение рациональными арматурами, как, например, при освещении лечебных, учебных и культурных учреждений, или торгово-складочных помещений. Для

¹ В основу статьи положены проектные материалы, разработанные совместно с инж. Н. И. Ивановой.

456795

квартирного же освещения, где в основном применяются нерациональные аппаратуры, снижение установленной мощности ламп при 120 В принято только в 6%.

В табл. 1 представлены расчетные нагрузки низковольтных сетей городов Калуги и Томска для напряжений 220/127 и 380/220 В, положенные в основу дальнейших расчетов. Эти нагрузки были рассчитаны для напряжения 380/220 В и соответственно на 11 и 6% уменьшены для напряжения 220/127 В.

Таблица 1

Наименование нагрузок	Максимальная нагрузка, kW			
	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Внутреннее освещение				
а) Жилые помещения	2500	2660	3810	4050
б) Учреждения общего характера, лечебные, учебные и культурные учреждения, торгово-складочные и мелкие промышленные помещения	1690	1900	820	920
Уличное освещение	520	585	490	550
Бытовая нагрузка	685	685	900	930
Мелкомоторная нагрузка	370	370	680	680
Итого	5765	6200	6700	7100

Технические показатели, определение стоимости сетей и эксплуатационных расходов. Очевидно, при напряжении 220/127 В число трансформаторных пунктов (ТП) будет больше, а средняя мощность их меньше, чем при напряжении 380/220 В.

Число ТП для г. Калуги было определено по формуле Зенгеля и проверено по формуле «группы ленинградских инженеров», а распределение их по мощностям произведено по аналогии с выполненными проектами городских сетей. Для г. Томска число ТП и распределение их по мощностям определялось более точно — по кривым экономической мощности ТП в зависимости от плотности нагрузки, разработанным в Коммунально-энергетическом проекте инж. И. С. Бессмертным совместно с инж. Н. И. Ивановой. Распределение ТП по типам для обоих городов произведено по данным аналогичных проектов.

Необходимо еще отметить, что в Калуге в настоящее время имеется 25 коммунальных ТП, которые при напряжении 220/120 В могут быть использованы полностью без переоборудования, а при 380/220 В потребуют замены трансформаторов. В Томске же все существующие коммунальные ТП, при обоих вариантах, необходимо полностью переоборудовать ввиду того, что существующая 3-kV сеть заменяется сетью 6 kV.

Число, характеристика и стоимость ТП для сравниваемых вариантов даны в табл. 2.

Для определения характера изменения распределительной 6-kV сети с изменением числа ТП были произведены сравнительные расчеты сети с различным числом ТП для района города, соответствующего средней плотности нагрузок городов Калуги и Томска (табл. 3).

Из табл. 3 получаем при увеличении числа ТП в 1,6 раза уменьшение длины сети на один ТП на 34%. По ряду выполненных проектов 380/220 В выведены средняя стоимость 6-kV сети на один ТП 15 000 руб., а средний расход цветных металлов, приведенный к меди, — 0,8 т.

Принимая эти цифры для варианта 380/220 В, получим для варианта 220/127 В, учитывая увеличение числа ТП в 1,6 раза, стоимость сети — 10 000 руб. и расход меди 0,53 т на один ТП.

В табл. 4 даны стоимость и расход меди для сети, причем как в этой таблице, так и в последующих дана, кроме действительной стоимости, еще и стоимость с учетом коэффициента дефицитности на государственную цену цветных металлов, принятого равным 5.

Средние величины удельного расхода проводов для низковольтных сетей при напряжении 380/220 В на 1 расчетной мощности, определенные по проектам сетей аналогичных с Калугой и Томском, городов (Пенза, Тобольск, Владимир, Симферополь, Кострома), даны в табл. 5.

Таблица 2

Наименование	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Число ТП	89	52	125	84
Пределы мощности одного ТП, kVA	50—100	50—180	20—100	20—24
Суммарная мощность, kVA	5950	6230	6930	7360
Суммарная стоимость всех ТП в тыс. руб. с учетом использования существующих помещений и реализации демонтированных трансформаторов, тыс. руб.	968	565	1668	1212
Вес меди трансформаторов, т	5,2	4,2	6,0	5,6

Таблица 3

Мощность ТП, kVA	Число ТП	Общая длина линий распределительной сети 6 kV	Длина линий на ТП	Уменьшение длины сети на ТП, %
320	3	3100	1030	—
180	5	3400	680	34
100	9	4200	470	31
50	18	5900	330	30

Таблица 4

Наименование	Стоимость и расход металла			
	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Стоимость распределительной сети 6 kV, тыс. руб.	890	765	1250	1260
То же, но с учетом коэффициента дефицитности, тыс. руб.	1295	1110	1815	1830
Расход меди в сети 6 kV, т	47,2	40,8	66,2	67,1

Таблица 5

Наименование	Распределительная сеть низкого напряжения			Сеть уличного освещения		
	медь	алюминий	железо	медь	алюминий	железо
Удельный расход проводов по сетям низкого напряжения 380/220 в кг/kW	0,7	5,0	5,0	1,0	4,0	70,0
Расход проводов, приведенный к меди	11,1			14,8		

Расход проводов в сети 220/127 V теоретически втрое больше, чем в сети 380/220 V. Однако увеличение числа ТП при 220/127 V значительно снижает расход. По произведенным для обоих напряжений точным расчетом сетей двух городов (Севастополь и Евпатория) расход проводов сети 220/127 V увеличился в среднем в 1,5 раза при увеличении числа ТП в 1,6 раза.

Необходимо учесть, что применение железных проводов в сети 220/127 V ограничено ввиду резкого увеличения потери напряжения в них с увеличением плотности тока. Поэтому расход железных проводов при напряжении 220/127 V был получен вдвое меньшим, чем при напряжении 380/220 V, а расход алюминиевых проводов увеличился в связи с необходимостью замены 50% железных проводов алюминиевыми минимального сечения (А16).

Таким образом вес проводов сети 220/127 V можно определить из следующих соотношений:

медные провода

$$Q_{м 220} = 1,5 Q_{м 380}$$

алюминиевые провода

$$Q_{А 220} = 1,5 Q_{А 380} + 0,5 \frac{Q_{жс 380}}{\gamma_{жс ср}} \gamma_{А 16}$$

железные провода

$$Q_{жс 220} = 0,5 Q_{жс 380}$$

где $\gamma_{жс ср}$ — средний вес км железного провода, равный 81 kg, $\gamma_{А 16}$ — вес км алюминиевого провода А16, равный 44,7 kg. В табл. 6 приведен удельный расход проводов для сетей 220/127 V, а в табл. 7 — расход меди и определение стоимости сетей Калуги и Томска для сравниваемых вариантов.

Расходы по замене оборудования 220 V на 380 V складываются из следующих элементов: замена части моторов мелких промпредприятий, питаемых сетью низкого напряжения; замена счетчиков 120 V на 220 V; замена нагревательных элементов бытовых приборов; замена ламп накаливания.

Характеристика и стоимость замены этих элементов оборудования даны в табл. 8. При определении стоимости расходов по замене моторов и счетчиков предполагалось, что демонтированное оборудование будет реализовано с учетом амортизации по цене 50% от его стоимости.

Таблица 6

Наименование	Распределительная сеть низкого напряжения			Сеть уличного освещения		
	медь	алюминий	железо	медь	алюминий	железо
Удельный расход по сетям низкого напряжения 220/127 V, kg/kW	1,05	7,5 + 0,6	2,5	1,5	6 + 8,6	35
Расход, приведенный к меди	17,5			33,6		

Таблица 7

Наименование	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Расход меди, t	92,8	61,4	109,0	72,5
Распределительная сеть низкого напряжения . .	17,5	8,6	16,5	8,1
Сеть уличного освещения				
Итого	110,3	70	125,5	80,6
Стоимость проводов, тыс. руб.	236	143	268	173
То же, но с учетом коэффициента дефектности . .	1195	780	1400	900

Кроме того, по эксплуатационным данным принято, что часть моторов допускает переключение с 220 на 380 V, часть моторов — однофазные 220 V, а поэтому также могут быть использованы, и только 40% всех моторов подлежат замене.

Таблица 8

Наименование	Калуга		Томск	
	количество	стоимость тыс. руб.	количество	стоимость тыс. руб.
Моторы мелких предприятий (средняя мощность мотора 2 kW)	65	13	220	44
Счетчики	4 500	135	7 100	213
Нагревательные элементы бытовых приборов	2 000	18	3 000	27
Лампы	36 500	22	41 500	25
Итого	—	188	—	309

Особо тщательно должен быть рассмотрен вопрос об упорядочении существующей внутридомовой проводки, переоборудовании ее для напряжения 380/220 V и развитии ее в связи с ростом нагрузок внутреннего освещения. Существующая внутридомовая проводка Калуги и Томска по ориентировочным эксплуатационным данным на 35% должна быть полностью переделана, так как техническое состояние этой части проводки не допускает ее эксплуатацию как при напряжении 380/220, так и 220/127 V. Остальные 65% могут быть использованы без переделок при напряжении 220/127 V, но требуют дооборудования в соответствии с «руководящими указаниями для устройства электротехнических установок трехфазного тока напряжением 380/220 V с заземленной нейтралью» при переводе сети на напряжение 380/220 V.

Для определения стоимости такого дооборудования выясним, какие дополнительные требования предъявляются к внутренней проводке, включаемой в сеть 380/220 V.

А. Выключатели. Выключатели должны быть установлены на фазовом проводе; расположение ручки выключателя: вертикальное — включено, горизонтальное — выключено; крышка и ручка выключателя должны быть выполнены из изолирующего материала.

Б. Патроны. Винтовая гильза патрона должна быть присоединена к нулевому проводу; металлические патроны должны иметь высокие фарфоровые кольца, полностью закрывающие цоколь лампы, все патроны в переносных лампах должны быть из изолирующего материала.

В. Штепсельные розетки. Штепсельные контакты не должны допускать возможность замены нулевого контакта фазовым; включение контакта, предназначенного для заземления, должно наступать раньше, а выключение позже токоведущих контактов; не рекомендуется применение штепсельных розеток с предохранителем внутри их.

Так как электропромышленность не выпускает в настоящее время штепсельных розеток и вилок, полностью обеспечивающих выполнение этих требований, то временно необходимо ограничиться следующими мероприятиями: на штепсельной розетке отмечать несмываемой краской нулевой и фазовые контакты; нулевой контакт должен быть либо верхним (при вертикальном расположении контактов) либо левым (при горизонтальном расположении контактов).

Г. Осветительная арматура. В сырых помещениях все металлические части арматур должны быть занулены.

Д. Провода. Нулевой провод должен быть выделен оплеткой, отличающейся от фазового провода. Для существующих проводов можно ограничиться определением нулевого провода и переключением или перестановкой в тех местах, где это необходимо, выключателей патронов и штепсельных розеток.

В соответствии с этими требованиями для дооборудования 65% существующей проводки необходимо произвести следующие работы: определить нулевой провод, переключить и переставить патроны, выключатели и штепсельные розетки; заменить выключатели с металлическими крышками и ручками; заменить штепсельные розетки с предохранителями на простые и произвести отметку фазовых и

Таблица 9

Наименование	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Количество имеющихся светоточек	36 500	—	41 500	—
Количество новых светоточек (развитие внутридомовой сети в соответствии с расч. нагрузками)	43 800	51 500	35 500	41 000
Стоимость переоборудования 35% существующей внутридомовой сети	386	319,4	436	364
Стоимость дооборудования 65% существующей внутридомовой сети	—	242,4	—	270
Стоимость новой внутридомовой сети	1 314	1 287,2	1 064	1 025
Итого, тыс. руб.	1 700	1 849	1 500	1 659
Расход меди, т	15,3	11,2	17,4	12,6

нулевых контактов; на переносных лампах заменить металлические патроны на патроны из изолирующего материала; установить на металлических патронах высокие фарфоровые кольца; в сырых помещениях зачистить все металлические части осветительных арматур и аппаратуры. Учитывая, что стоимость новой внутренней проводки составляет на 1 точку 25—30 руб., оцениваем работы по дооборудованию существующей проводки в 10 руб. на 1 светоточку.

Развитие городов, а следовательно, и рост осветительной нагрузки, потребует увеличения числа светоточек. Новые же осветительные установки при сети 380/220 V, несмотря на повышенные требования к ним, обходятся дешевле, чем при сети 220/127 V, так как требуют меньшего расхода проводниковых материалов. Так, при сети 380/220 V средняя стоимость внутренней проводки на светоточку составляет 25 руб., а при сети 220/127 V — 30 руб. Расход меди проводников в первом случае 1,5 кг, а во втором 2,2 кг на 1 kW установленной мощности.

Характеристика внутридомовой проводки и капиталовложения, необходимые для дооборудования и развития ее, даны в табл. 9.

Общая сводка капиталовложений и расхода меди по всем элементам дана в табл. 10.

Таблица 10

Наименование элементов	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Капиталовложения, тыс. руб.				
Трансформаторные пункты	968	565	1668	1212
Распределительная сеть 6 kV	890	765	1250	1260
Провода сетей низкого напряжения и уличного освещения	236	143	268	173
Замена оборудования 220 на 380 V	—	188	—	309
Внутренняя проводка	1700	1849	1500	1659
Итого	3794	3510	4686	4613
Итого с учетом коэффициента дефицитности	5155	4492	6383	5910
Расход меди, т				
Трансформаторы	5,2	4,2	6,0	5,6
Распределительная сеть 6 kV	47,2	40,8	66,2	67,1
Сети низкого напряжения и уличного освещения	110,3	70,0	125,5	80,6
Внутридомовая сеть	15,3	11,2	17,4	12,6
Итого	178,0	126,2	215,1	165,9

Необходимо отметить, что при определении капиталовложений не учтена дополнительная мощность электрических станций для варианта 380/220 V, соответствующая увеличению нагрузок сетей низкого напряжения. Если учесть абсолютные величины этих нагрузок и то, что они составляют лишь небольшую часть общей нагрузки города, можно сделать вывод, что электрические сети должны иметь агрегаты мощностью не менее 3—6 MW. Нагрузки же при варианте 380/220 V для обоих городов увеличиваются только по 0,4 MW, что составляет 7% от минимальной мощности одного агрегата и гораздо меньший процент от общей мощности цес. Совершенно очевидно, что при этих условиях установки дополнительной мощности на станциях не потребуются.

Эксплуатационные расходы для сравниваемых вариантов даны в табл. 11.

Таблица

Наименование	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Полезно отпущенная энергия за год, MWh	8650	9300	10 050	10 740
Ежегодные потери в трансформаторах, MWh	569	522	690	690
Всего, MWh	9219	9822	10 740	11 430
Ежегодная стоимость энергии, тыс. руб.	1290	1375	1 655	1 745
Ежегодные расходы на амортизацию, ремонт и обслуживание, тыс. руб.	455	421	562	562
То же, но с учетом коэффициента дефицитности тыс. руб.	619	539	766	766
Итого ежегодные расходы, тыс. руб.	1745	1796	2 217	2 313
То же, с учетом коэффициента дефицитности	1909	1914	2 421	2 421
Ежегодный перерасход энергии, MWh	—	603	—	—
Ежегодный перерасход условного топлива, тонн	—	603	—	—

Итоговые данные и выводы. Итоговые результаты экономического сравнения по капиталовложениям и эксплуатационным расходам представлены в табл. 12.

Таблица

Наименование	Калуга		Томск	
	220/127 V	380/220 V	220/127 V	380/220 V
Капиталовложения, тыс. руб.	3794	3510	4686	4613
То же с учетом коэффициента дефицитности	5155	4492	6383	5910
Ежегодные эксплуатационные расходы, тыс. руб.	1745	1796	2217	2313
То же с учетом коэффициента дефицитности	1909	1914	2421	2421
Расход меди, т	178,0	126,2	215,1	165,9
Перерасход меди (единовременный), т	51,8	—	49,2	—
Ежегодный перерасход условного топлива, т	—	603	—	—

Сравнение показывает, что по капиталовложениям и годовым эксплуатационным расходам оба варианта равны, так как разница между ними находится в пределах точности подсчетов. С учетом же коэффициента дефицитности капиталовложения при варианте 380/220 V будут значительно меньше, чем при варианте 220/127 V. Отсюда заключаем, что реконструкция внутридомовой проводки сопряжена с увеличением капиталовложения, и она тогда незначительно уменьшает преимущества варианта 380/220 V. Основное же преимущество этого варианта — экономия меди.

Но этой единовременной экономии меди противостоятся ежегодный перерасход топлива в размере 12 т на т меди и практически вопрос о выборе варианта должно решить соотношение дефицитности меди и топлива. При существующем соотношении цен меди и топлива, равном примерно 50, время, при котором ежегодные затраты на излишнее топливо сравняются с первоначальной экономией меди, будет

$$t = \frac{Q_m}{Q_{\text{топ}}} \text{ лет.}$$

Для наших случаев $t = 4,3$ года. Расчетные нагрузки сетей низкого напряжения, принятые выше, определены с учетом пятилетнего роста. Таким образом в течение этого проектного периода единовременная экономия меди даст составляющую, превосходящую ежегодный перерасход топлива, и только к концу этого периода перерасход уравнивается с экономией меди. С дальнейшим же ростом нагрузок, а следовательно, и дальнейшим развитием сетей, экономия меди опять даст составляющую, которая выше перерасхода топлива.

Следует отметить, что все приведенные расчеты произведены на основе теоретического предположения о перерасходе энергии при напряжении 380/220 В. Практически

же, в условиях существующих городских сетей, этого не будет; наоборот, перевод сетей на напряжение 380/220 В создаст значительную экономию энергии. Объясняется это следующим: острый дефицит цветных металлов и кабельных изделий не позволяет произвести в городах коренную реконструкцию электросетей в соответствии с сильно возросшим спросом на электроэнергию. В результате этого потери энергии в существующих низковольтных сетях намного превосходят допустимые величины. Обследование сетей более 10 городов, произведенное в последние 2 года, показывает, что потери в низковольтных сетях достигают 20—30 и более процентов. Снижение этих потерь до нормальных (4—5%) можно произвести лишь за счет коренной реконструкции сетей, которая при напряжении 220/127 В потребует чрезвычайно большого расхода цветных металлов, а при 380/220 В может быть осуществлена путем использования имеющихся в сети проводов, в некоторых же случаях даже и с получением излишков цветных металлов.

Таким образом для выполнения правительственных директив об упорядочении работы сетей, экономии энергии и цветных металлов перевод существующих сетей на напряжение 380/220 В является совершенно неотложным.

Смешанная система распределения электроэнергии в сельскохозяйственных районах

А. Г. ЗАХАРИН и И. А. БУДЗКО

Всесоюзный институт механизации и электрификации сельского хозяйства

ТЕХНИКА распределения электроэнергии в пригородных и сельских районах в течение ряда лет как в СССР, так и за границей базировалась на трехфазной линии передачи 6—10 кВ и трехфазной же мачтовой трансформаторной подстанции обычно мощностью 20—75 кВА. До известных пределов такая система, в основном повторявшая схемы крупных городских и промышленных сетей, могла отвечать своему назначению. Однако с развитием электрификации сельских и пригородных районов с малой плотностью нагрузки ее неэкономичность становится настолько очевидной, что настоятельно требует коренного пересмотра установившихся технических традиций и перехода к новой, более совершенной системе, специально приспособленной к специфическим условиям подобных районов.

В настоящей статье рассматриваются главные элементы такой системы на основе работ, проведенных лабораторией производства и распределения электроэнергии ВИМЭ и данных американской практики.

Сущность системы, которую мы в дальнейшем будем называть смешанной или комбинированной системой, сводится к следующим основным положениям:

1) применение комбинированной высоковольтной сети 6—10 кВ, в которой основные магистрали выполняются в виде трехфазных линий передачи и к ним подключаются сравнительно мощные силовые потребители, а вся раздача электроэнергии отдельным мелким потребителям (осветительная и мелкомоторная нагрузка) производится на базе однофазного тока, причем в качестве одного из проводов, фазного или нулевого, может быть использована земля;

2) применение однофазных потребительских трансформаторных подстанций малой мощности, в которых вся аппаратура максимально облегчена, а зачастую смонтирована внутри и на кожухе трансформатора.

Смешанная система дает возможность применить двух- и однопроводные высоковольтные линии передачи и дешевые облегченные трансформаторные подстанции с однополюсной аппаратурой. Это позволяет увеличить количество потребительских подстанций и снизить их мощность до 3—10 кВА, что в свою очередь приводит к такому облегчению низковольтной сети (2×220 В), что ее можно выполнять почти целиком на сплошных железных проводах, главным образом ЖØ4.

В целом эта система, как показывают расчеты, проведенные на конкретных объектах, при прочих равных условиях снижает вес проводов в сельских и пригородных распределительных сетях высокого и низкого напряжений примерно вдвое, а общую стоимость сетей и подстанций — на 15—25% против трехфазной системы.

Кроме того, смешанная сеть открывает дополнительные возможности экономии электроэнергии.

Во-первых, сравнительно крупная силовая сезонная нагрузка, часто встречающаяся в сельском хозяйстве, не требует применения трансформаторов 20—30 кВА, недогружаемых потом в течение всего года: она может питаться от группы однофазных трансформаторов, которые легко перебросить в нужное место вместе со своей аппаратурой. Во-вторых, за счет простейших пересоединений в сети часть трансформаторов может быть выключена на период минимума нагрузки. Наконец, при смешанной сети с ростом нагрузки весьма просто разрешается вопрос увеличения

пропускной способности однофазных ответвлений путем подвески еще одного провода в сети высокого и низкого напряжений и превращения их в трехфазные с соответствующей заменой потребительских трансформаторов.

Все перечисленные преимущества с избытком перекрывают недостатки смешанной системы, которые заключаются в относительной дороговизне (по американским данным в $1\frac{3}{4}$ раза) однофазных двигателей по сравнению с трехфазными и в некотором, хотя и незначительном, увеличении потерь в железе трансформаторов.

Распределительные сети 6—10 kV. Основные особенности высоковольтной сети при смешанной системе распределения могут быть определены путем следующих простых соображений: так как линия питает ряд однофазных подстанций, — нагрузка фаз на отдельных участках будет неравномерна. Вследствие этого, если применяются железные провода, активные сопротивления и сопротивления внутренней индуктивности проводов будут различны, т. е. линия будет несимметричной. Однако нетрудно показать, что в такой несимметричной линии фазовое падение напряжения в одной из фаз равно фазовому падению напряжения в симметричной линии, в которой сопротивления всех трех фазовых проводов равны сопротивлению данной фазы:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\epsilon}_a &= Z_a \dot{i}_a + (Z_{0a} - Z_a) \dot{i}_0; \\ \dot{\epsilon}_b &= Z_b \dot{i}_b + (Z_{0b} - Z_b) \dot{i}_0; \\ \dot{\epsilon}_c &= Z_c \dot{i}_c + (Z_{0c} - Z_c) \dot{i}_0. \end{aligned} \right\} (1)$$

где $Z_a = R_a + jX_a$ и $Z_{0a} = R_{0a} + jX_{0a}$ — сопротивление прямой и нулевой последовательности такой условной симметричной линии для фазы a , аналогично для фаз b и c .

Междуфазовые падения напряжения для таких линий определяются разностями:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\epsilon}_{ab} &= Z_a \dot{i}_a - Z_b \dot{i}_b; \\ \dot{\epsilon}_{bc} &= Z_b \dot{i}_b - Z_c \dot{i}_c; \\ \dot{\epsilon}_{ca} &= Z_c \dot{i}_c - Z_a \dot{i}_a. \end{aligned} \right\} (2)$$

Если теперь допустить те же упрощения, которые принимаются обычно при расчете сетей с трехфазными подстанциями, то из выражений (1), (2) легко получить расчетные формулы для определения потерь напряжения в фазе или между фазами, из которых вытекают основные свойства линий с несимметричной нагрузкой. Так например, величина междуфазовой потери напряжения для участка трехфазной линии без нулевого провода и однофазной нагрузкой на конце, включенной между фазами в треугольник, будет:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{ab} &= \left(I_{ab} + \frac{I_{ca}}{2} \right) A_a + \left(I_{ab} + \frac{I_{bc}}{2} \right) A_b - \frac{\sqrt{3}}{2} I_{ca} B_a + \\ &\quad + \frac{\sqrt{3}}{2} I_{bc} B_b; \\ \epsilon_{bc} &= \left(I_{bc} + \frac{I_{ab}}{2} \right) A_b + \left(I_{bc} + \frac{I_{ca}}{2} \right) A_c - \frac{\sqrt{3}}{2} I_{ab} B_b + \\ &\quad + \frac{\sqrt{3}}{2} I_{ca} B_c; \\ \epsilon_{ca} &= \left(I_{ca} + \frac{I_{bc}}{2} \right) A_c + \left(I_{ca} + \frac{I_{ab}}{2} \right) A_a - \frac{\sqrt{3}}{2} I_{bc} B_c + \\ &\quad + \frac{\sqrt{3}}{2} I_{ab} B_a. \end{aligned} \right\} (3)$$

где

$$A_a = R_a \cos \varphi + X_a \sin \varphi, \quad B_a = R_a \sin \varphi - X_a \cos \varphi$$

аналогично для других фаз.

Величина фазовой потери напряжения на участке трехфазной линии, в которой в качестве нулевого провода использована земля и однофазные нагрузки включены на конце участка между фазой и землей (в звезду),

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_a &= I_a A_a + \left(I_a - \frac{I_b + I_c}{2} \right) A_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} (I_b - I_c) B_3; \\ \epsilon_b &= I_b A_b + \left(I_b - \frac{I_c + I_a}{2} \right) A_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} (I_c - I_a) B_3; \\ \epsilon_c &= I_c A_c + \left(I_c - \frac{I_a + I_b}{2} \right) A_3 - \frac{\sqrt{3}}{2} (I_a - I_b) B_3. \end{aligned} \right\}$$

где $A_3 = 0,05 \cos \varphi + 0,43 \sin \varphi$, $B_3 = 0,05 \sin \varphi - 0,43 \cos \varphi$ определяют собою влияние земляного нулевого провода.

Из приведенных соотношений мы можем теперь сделать следующие основные выводы.

Для линий с проводами из немагнитных материалов, когда $A_a = A_b = A_c$, $B_a = B_b = B_c$ из (4), получаем:

$$\epsilon_a + \epsilon_b + \epsilon_c = 3\epsilon$$

или

$$\epsilon_{ab} + \epsilon_{bc} + \epsilon_{ca} = 3\sqrt{3}\epsilon,$$

где ϵ — потеря напряжения в эквивалентной трехфазной линии (при тех же напряжении, длине и сечении проводов) с трехфазными трансформаторами той же мощности.

Следовательно, алгебраическая сумма потерь напряжения во всех фазах трехфазной линии передачи в данном случае не зависит от распределения нагрузки между фазами и при прочих равных условиях является постоянной величиной.

Учитывая, что распределительные сети состоят из ряда последовательных участков, от которых питаются многочисленные подстанции, всегда можно распределить нагрузку таким образом, что суммарные потери напряжения до конечных точек в каждой фазе будут примерно равны:

$$\Sigma \epsilon_a \approx \Sigma \epsilon_b \approx \Sigma \epsilon_c \quad \text{или} \quad \Sigma \epsilon_{ab} \approx \Sigma \epsilon_{bc} \approx \Sigma \epsilon_{ca}.$$

а в этом случае, как видно из (5), они будут равны потере напряжения в линии с равномерно нагруженной фаз. Следовательно, пропускная способность трехфазной распределительной магистрали остается постоянной, независимо от равномерного или неравномерного распределения нагрузок по фазам.

Линии с витыми железными проводами в распределительных сетях 6—10 kV обычно работают при малых плотностях тока, порядка десяти долей A/mm^2 ; в этих пределах потеря напряжения в проводах почти пропорциональна току и поэтому все сказанное выше о линиях с алюминиевыми и медными проводами может быть с достаточной степенью точности (1—2%) отнесено к линиям с витыми железными проводами.

В трехфазных линиях со сплошными железными проводами, как видно из (3), (4), равенства (5) будут выполнены и пропускная способность трех

снизится. Однако в смешанной системе применение этих проводов ограничивается почти исключительно однофазными ответвлениями, а потому этот случай не может иметь практического значения.

Вес проводов распределительной магистрали при неравномерной нагрузке фаз снижается за счет того, что ее последние участки могут иметь лишь два или один провод. Так, в примере, приведенном на рис. 1, наибольшие потери напря-

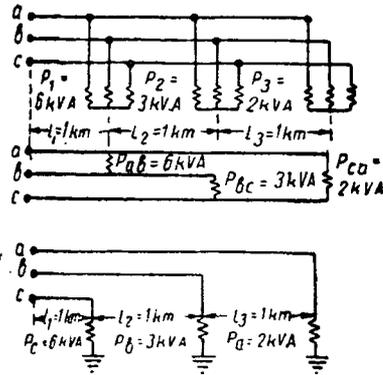


Рис. 1

жения во всех трех случаях равны, а веса проводов при однофазных подстанциях составляют лишь 89% при соединении в треугольник и 67% при включении в звезду с землей, если трехфазный вариант принять за 100%.

Пропускная способность однофазных ответвлений, естественно, ниже трехфазных в 2—6 раз, как легко видеть из (3), (4), полагая $I_b = I_c = 0$.

Однако в таких ответвлениях в подавляющем большинстве случаев провода выбираются по механическому минимуму, поэтому снижение пропускной способности здесь приведет только к более полному использованию материала, с облегчением веса проводов против трехфазной линии на 33 или 67%.

Необходимо отметить еще следующие особенности смешанной системы:

Во-первых, потеря напряжения в промежуточных точках трехфазной магистрали зависит от направления вращения фаз, так как последний член уравнений (3), (4) при переключении двух фаз меняет знак. Обычно этот член, однако, мал по сравнению с другим. Во-вторых, при использовании земли в качестве нулевого провода возрастает влияние силовых сетей на линии связи, что должно быть учтено при проектировании таких сетей.

В конечном счете, очевидно, что переход к смешанной системе в с.-х. и пригородных районах приводит к облегчению высоковольтной сети. Соединение в треугольник может применяться с успехом как в системах, изолированных от земли, так и в системах с заземленной фазой¹ («два провода — земля»), и в этом отношении является наиболее универсальным, допуская присоеди-

¹ Система «два провода — земля» применяется в ряде с.-х. районов Союза. Она дает возможность как в обычной трехфазной, так и в смешанной системе заменить один провод землей, оставляя без изменения два других фазных провода.

ние к городским и промышленным сетям, которые по тем или иным причинам не могут быть заземлены. Соединение в звезду может применяться преимущественно в сетях с заземленной нейтралью и с использованием земли в качестве нулевого провода (так как наличие четвертого провода в с.-х. районах с расбросанной нагрузкой сильно понизит ее эффективность). В таких сетях эта система при широкой электрификации с.-х. районов, например в Поволжье, имеет ценные преимущества: во-первых, изоляция сети и подстанций выполняется здесь на фазное напряжение сети, т. е. в сети 10 kV могут работать более легкие и дешевые 6-kV трансформаторы, а применяя трансформаторы 10 kV, можно поднять напряжение сети до 17,3 kV с соответствующим увеличением пропускной способности магистралей и радиуса действия сети. Во-вторых, влияние трехфазных магистралей на линии связи в этой системе будет сравнительно невелико, так как оно будет определяться величиной нулевого тока, который при правильном распределении нагрузок будет много ниже фазных токов.

Обе схемы — треугольник и звезда — хорошо укладываются в одну шкалу напряжений аппаратуры 6 и 10 kV, давая при этом четыре комбинации (Δ — 6—10 kV, Y_0 — 10/6—17,3/10 kV). Выбор той или другой системы может быть произведен в каждом конкретном случае, исходя из местных условий, на основании приведенных выше соображений.

Низковольтные сети. Плотность нагрузки низковольтных сетей в с.-х. районах невелика и обычно колеблется в пределах 3—8 kW/km, в среднем 5 kW/km. При таких плотностях применение трансформаторов 20—30 kVA уже приводит к длинным фидерам с тяжелыми сечениями проводов (марки Ж-50, 70, А-25, 35) и высокой стоимостью километра сети. Поэтому расход металла по низковольтной сети очень часто в 2—2,5 раза больше, чем по высоковольтной и стоимость ее также превышает стоимость высоковольтной сети. В связи с этим задача облегчения низковольтной сети приобретает первостепенное экономическое значение. На рис. 2 представлена зависимость предельной мощности фидера P_0 от плотности нагрузки p при допустимой потере напряжения $\epsilon = 5\%$ и при равномерно-распределенной нагрузке. Как видно, при низких плотностях нагрузки однофазная трехпроводная система 2×220 V немногим уступает применяемой системе 3×380 V, и дает возможность при $p = 5$ kW/km монтировать фидера до 2—2,3 kW сплошными железными проводами. При нормальном числе фидеров потребительской подстанции (2—4) это будет соответствовать мощности трансформатора 5—10 kVA. Произведенные сравнительные расчеты подтверждают, что при плотности нагрузки 5—10 kW/km распределение из одного центра, имеющего мощность свыше 10—12 kVA (как это имеет место в настоящее время), приводит к тяжелым сечениям проводов, которые в несколько раз повышают расход металла и стоимость сетей.

Таким образом уже элементарный экономический анализ низковольтных сетей приводит к следующим выводам:

1) экономическая мощность потребительских трансформаторов в с.-х. и пригородных сетях с плотностью нагрузки 5—10 kW/km находится в пределах 5—10 kVA;

2) однофазная трехпроводная система 2×220 V при этих условиях обладает достаточной пропускной способностью, а в связи с другими преимуществами смешанной системы может успешно конкурировать с четырехпроводной системой 3×380 V.

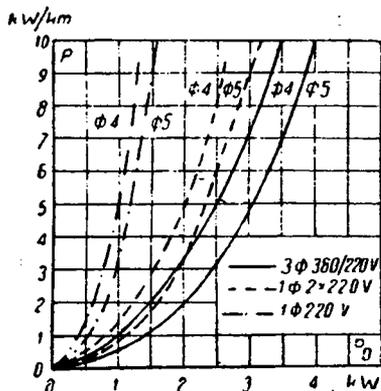


Рис. 2. Зависимость допустимой мощности фидера от плотности равномерно распределенной нагрузки

Понижительные подстанции и аппаратура. При распределении электроэнергии по смешанной системе к конструкции потребительских понижительных подстанций и аппаратуры предъявляются очень серьезные требования. Как уже указывалось выше, в этом случае число подстанций в сети значительно увеличивается за счет дробления их мощностей. Вполне понятно, что здесь нельзя выполнять подстанции в виде принятых в практике обычных сетей сложных и дорогостоящих сооружений, в которых стоимость трансформатора не превышает 20—25% от общей стоимости. Требуется максимально удешевить и упростить всю распределительную аппаратуру с тем, чтобы подстанция стала относительно незначительным по стоимости элементом распределительной сети.

Необходимо отметить, что смешанная система распределения электроэнергии в значительной мере облегчает выполнение этих условий. Действительно: как указывалось, потребительские подстанции выполняются однофазными при мощностях 3—10 kVA. Тем самым создается возможность свести к минимуму их строительную часть. Далее, вся аппаратура выполняется двухполюсной либо, при заземлении нуля или фазы, даже однополюсной. Наконец, при малых однофазных подстанциях количество высоковольтных и низковольтных аппаратов может быть предельно сокращено.

На рис. 3 приведена схема такой подстанции, предлагаемая для случая, когда в качестве одного из проводов используется земля. Со стороны высокого напряжения установлен один плавкий предохранитель и один разрядник. На низком напряжении имеется двухполюсный автоматический

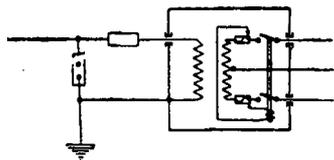


Рис. 3. Схема однофазной понижительной подстанции

выключатель. При крайней простоте такая схема имеет ряд преимуществ перед существующими: защита от перенапряжений при наличии «межсоединения» сети высокого и низкого напряжения согласно американским данным наилучшим образом защищает обмотки трансформаторов. Автоматический выключатель, снабженный максимально-тепловой защитой, позволяет лучше использовать мощность трансформатора (об этом подробнее ниже).

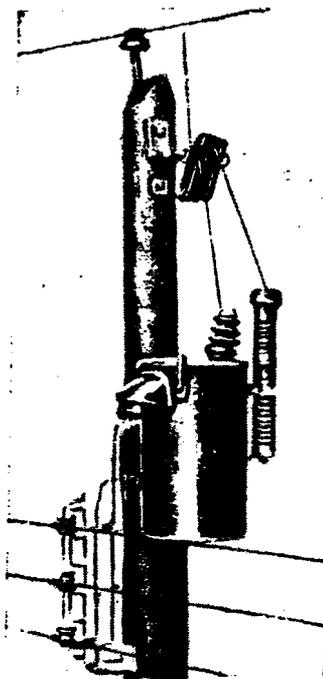


Рис. 4. Общий вид типичной с.-х. подстанции

Конструктивно трансформаторы выполняются обычно с таким расчетом, чтобы они могли устанавливаться на нормальных опорах. На рис. 4 приведена типичная американская с.-х. подстанция. Понижительный трансформатор укреплен на опоре, он имеет только один вывод. Вся аппаратура также однополюсная. На трансформаторе укреплен грозовой разрядник, а у верхушки столба высоковольтный предохранитель с запасной плавкой вставкой и с повторным включением при перегорании первой вставки.

Высоковольтные предохранители иногда надстраиваются на выводе (бушинге) трансформатора. Замена плавкой вставки производится с земли с помощью шалыштанги.

Подобного же типа конструкция применяется в качестве разъединителя там, где по условиям эксплуатации необходима его установка на подстанции.

В американской практике имеются и такие конструкции, в которых распределительный трансформатор по существу представляет целую подстанцию и не требует при своей установке на опоре никакой дополнительной аппаратуры. На рис. 5 показан наружный и внутренний вид такого трансформатора на 10 kVA, 2400 V.

Трансформатор в данном случае предназначен для работы в сетях с распределением энергии без заземления фазового провода либо нейтрали, и потому вся аппаратура его двухполюсная. Внутри трансформатора помещены предохранители высокого напряжения, защищающие его от к. з. в высоковольтной обмотке, и деионные разрядники. Защита трансформатора от перегрузок и к. з. со стороны низкого напряжения осуществляется автоматическим выключателем, управляемым максимально-тепловыми реле.

Управление выключателем может производиться и вручную с земли, путем передвижения рычажка с кольцом.

Особый интерес вызывает упомянутая выше конструкция. На рис. 6 показан внешний вид трансформатора с автоматическим выключателем, управляемым

реле. Эти реле представляют собою биметаллические пластинки, расположенные в масле трансформатора и включаемые последовательно в рабочую цепь. При повышении температуры обмоток трансформатора сперва загорается небольшая сигнальная лампа (рис. 5, слева), указывающая потребителю, что трансформатор перегружен. Если перегрузка продолжается, то срабатывает выключатель. При к. з. на низком напряжении реле отключает трансформатор ранее нагрева обмоток до принятой температуры и ранее перегорания высоковольтных вставок.

Авторами проведен расчет срока службы трансформатора в зависимости от перегрузки². Расчет показывает, что если установить максимально-тепловое реле на выключение при нагреве обмоток трансформатора до 95°, то при существующих в пригородных и с.х. сетях графиках нагрузки срок службы трансформатора составит около 20 лет. В расчете принято, что при максимальной нагрузке в данное время года обмотки трансформатора нагреваются до 95°. При этом оказывается, что трансформатор, установленный на открытом воздухе в южных районах СССР, может быть перегружен в зимние месяцы, считая по абсолютному максимуму наружной температуры на 20%, а летом должен недогружаться на 6%. Если учесть, что трансформаторы, особенно мелкие, в рассматриваемых сетях работают преимущественно по осветительному графику и выбираются по зимнему максимуму осветительной нагрузки, то это обстоятельство позволяет значительно снизить установленную мощность трансформаторов.

Таким образом уже краткое описание нескольких примеров рациональной аппаратуры для мелких однофазных подстанций позволяет утверждать, что применяемые в настоящее время аппараты и трансформаторные подстанции в значительной степени морально устарели. Перед нашей электропромышленностью стоит большая задача создать новые, дешевые и надежные конструкции, ориентируясь на опыт производства и эксплуатации их в с.х. и пригородных сетях США и Канады.

Техно-экономические показатели. С целью выяснения экономической эффективности смешанной системы распределения электроэнергии в с.х. районах по сравнению с обычной трехфазной были проведены сравнительные расчеты на конкретных объектах.

В качестве примера здесь приводится сеть, питаемая от Сапожковской гэс (Рязанской обл.). Для этой сети проект и смета по обычной схеме и действующим нормам составлены в 1937 г. Московской конторой Сельэлектро. На рис. 6 приведена схема этой сети, выполненная по обычному трехфазному варианту. Как видно из схемы, высоковольтная сеть 10 kV питается от шин Сапожковской гидростанции мощностью 500 kW и снабжает электроэнергией г. Сапожок и 13 колхозов района. Максимальная расчетная мощность на шинах потребительских подстанций выражается в следующих цифрах (табл. 1).

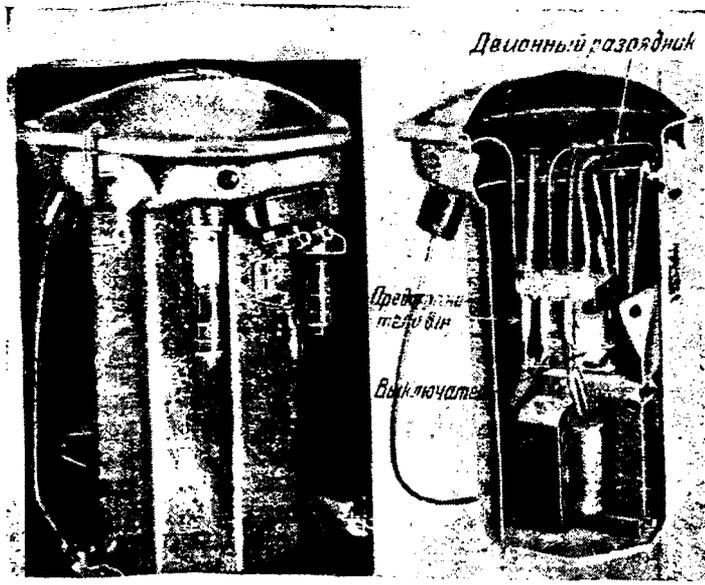
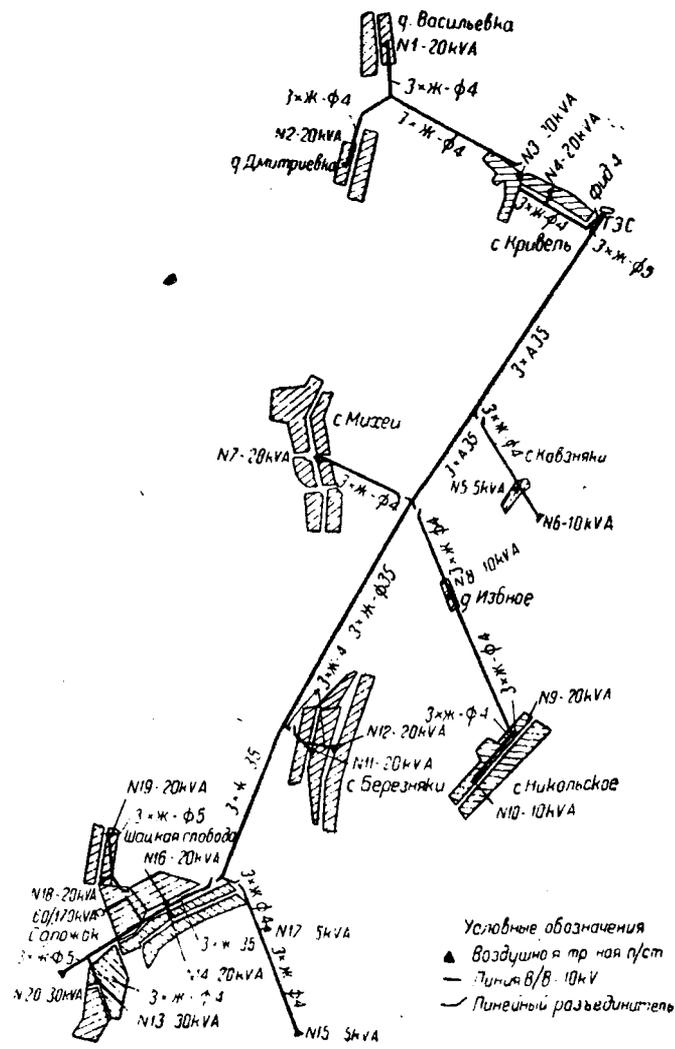


Рис. 5. Распределительный трансформатор, мощность 10 kVA, 2400 V со встроенной аппаратурой



Материалы о перегрузке трансформаторов — с. 11. Электроснабжение с.х. района Сапожковского района, выполненной по обычной трехфазной системе

Таблица 1

Наименование	Силовая нагрузка kW	Осветительная нагрузка kW
Город Сапожок	170	60
Колхозы Сапожковского района	80	340
Всего	250	400

Объем проекта ограничен электрификацией колхозов и питанием г. Сапожок. Сеть и подстанции города учитываются только при подсчете нагрузок сети, но в проект и смету не включены. Таким образом здесь мы имеем наиболее общий случай, когда к сети, помимо с.-х. нагрузки, подключен посторонний потребитель со сравнительно большой силовой нагрузкой.

При сравнении вариантов сохранены одинаковыми все нагрузки, принятые по проекту Моссельэлектро. Допускаемые падения напряжения в сети и колебания напряжения у потребителей также оставлены без изменений. Напряжение высоковольтной сети в обоих вариантах 10 kV. Гор. Сапожок оставлен на трехфазном питании. В остальном в варианте сети по смешанной системе применены описанные выше положения, т. е. только основная магистраль выполнена трехфазной. Трехфазные потребительские подстанции и низковольтная сеть 380/220 V заменены однофазными, питающими сеть 2 × 220 V. Количество подстанций увеличено.

Схема сети по смешанной системе приведена на рис. 7. Как видно из рисунка, количество подстанций возросло более чем в 2 раза — с 20 до 41 шт. за счет уменьшения их средней мощности с 17,7 до 8,6 kVA. При этом низковольтная сеть значительно облегчилась. Так, вес проводов по трехфазному варианту составил 62,4 t, а по смешанному 28,2 t, или 45,2%. Особенно сильно сокращение веса по алюминиевым и железным скрученным проводам — до 9,3% от трехфазного варианта, т. е. в основном вся низковольтная сеть выполнена железными сплошными проводами. Общее снижение веса проводов низковольтной сети составляет примерно 100 kg на установленный kVA подстанции.

Высоковольтная сеть рассматривалась в трех вариантах: а) незаземленная 10-kV сеть с включением подстанций треугольником; б) 10-kV система «два провода — земля» с включением подстанций треугольником; в) сеть с заземленным нулевым проводом 10/6 kV и включением подстанций в звезду, т. е. на 6 kV.

В данном случае, типичном для с.-х. районов, пропускная способность высоковольтной сети во всех вариантах одинакова и равна пропускной способности трехфазной сети. Облегчение сети достигается за счет одного и двухпроводных ответвлений и замены одного из проводов землей.

Вес проводов высоковольтной сети составляет: по трехфазному варианту — 19,9 t (100%), по смешанному без использования земли как

провода — 17,6 t (88%); по смешанному «два провода — земля» — 11,4 t (57,5%); по смешанному (использованием земли как нулевого провода) — 15,4 t (77,5%).

Общий вес проводов по сетям высокого и низкого напряжений выражается цифрами, приведенными в табл. 2.

Суммарные годовые потери энергии в транс-

Таблица 2

Тип проводов	Трехфазная сеть		Незаземленная, смешанная сеть		Смешанная сеть по системе «два — провода — земля»		Смешанная сеть с использованием земли как нулевого провода	
	kg, kVA	%	kg, kVA	%	kg, kVA	%	kg, kVA	%
Алюминий	5,75	100	4,25	74	2,9	50,0	4,25	74
Железо витое	139	100	37,5	27	28,5	20,5	37,5	27
Железо сплошн.	87	100	87	100	80	92,0	83,5	96
Всего	231,75	100	128,75	55,5	111,4	48,0	125,25	54

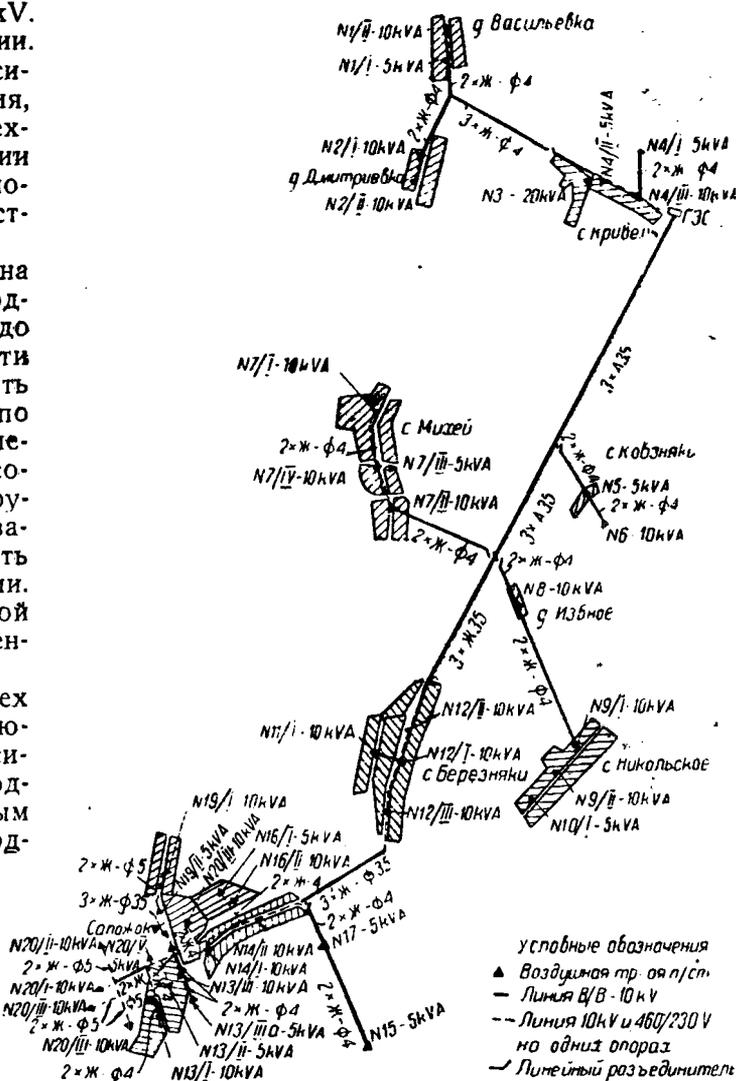


Рис. 7. Схема 10 kV сети Сапожковского района,

выполненной по

Таблица 3

форматорах благодаря более рациональному распределению их (отношение потерь в меди к потерям в железе для с.-х. трансформаторов принято равным 3,5) могут быть в данном случае даже несколько снижены (до 93% от трехфазного варианта), несмотря на понижение мощности подстанций.

Для сравнения стоимости вариантов по трехфазной сети принята смета Моссельэлектро; по смешанной сети также сохранены полностью все расценки этой сметы. В тех случаях, где точный подсчет стоимости затруднителен, приняты заведомо преувеличенные цифры с тем, чтобы полученная экономия от применения смешанной системы не могла вызвать сомнений. Сюда в первую очередь относится стоимость однофазных 10-kV трансформаторов, которая принята равной стоимости трехфазных на 10 kV, хотя известно, что трехфазные трансформаторы не представляют собой самостоятельной серии, а являются 20-kV трансформаторами с измененной обмоткой, т. е. стоимость их выше возможной при выпуске специального типа. Далее в смете не учитывалось возможное удешевление строительной части высоковольтной сети, достигаемое за счет уменьшения числа проводов на ответвлениях.

При этих условиях стоимость сети по обеим системам выразится в следующих цифрах (табл. 3).

В стоимость сети не включена стоимость внутреннего оборудования у потребителей. Однако стоимость оборудования освещения в с.-х. условиях будет одинакова для всех вариантов, расход на силовую проводку должен снизиться за счет третьего провода. Стоимость же самих электродвигателей составляет всего 6200 руб., поэтому даже если она увеличится вдвое (по американским данным стоимость однофазных двигателей составляет 175% по отношению к стоимости трехфазных), то это не сможет оказать заметного влияния на общие результаты.

Таким образом смешанная система, как и указывалось в начале статьи, дает снижение расхода металла на провода вдвое и снижение стоимости

Наименование	Трехфазная сеть		Смешанная незаземленная сеть		Смешанная сеть по системе «два провода — земля»		Смешанная сеть с использованием земли как нулевого провода	
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
Электрич. часть сети низшего напряжения	172	100	104	60	104	60	104	60
Электрич. часть сети высшего напряжения	135	100	121	90	108	80	119	88
Трансформ. подст. . . .	74	100	93	126	93	126	67	91
Строительная часть сети низшего напряжения	149	100	114	76	114	76	114	76
Строительная часть сети высшего напряжения	64	100	64	100	64	100	64	100
Итого	594	100	496	83	483	81	468	79
На установленный kVA подстанций	1,68		1,40		1,36		1,32	

сети на 15—25%, а в абсолютных цифрах экономия составит около 100—120 kg металла и 280—360 руб. на установленный kVA потребительских подстанций.

Из приведенного материала можно сделать следующие общие выводы:

1. Существующая система трехфазного распределения электроэнергии в с.-х. и пригородных районах является неэкономичной. Путем перехода на смешанную систему возможно значительное сокращение расхода материалов (в том числе цветных металлов), потерь энергии и денежных средств.

2. Необходимо в ближайшее время перейти на новые методы проектирования и строительства сетей для этих районов.

3. Электропромышленности СССР следует немедленно приступить к выпуску специального с.-х. электрооборудования, в том числе, и в первую очередь, серии однофазных трансформаторов 3—10 kVA и однофазных электродвигателей до 5—6 kW.

К ПЕРЕСМОТРУ СТАНДАРТОВ И НОРМ

О проекте стандарта „Номинальные напряжения стационарных установок сильного тока“

СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТА

Ленинград

НАПЕЧАТАННЫЙ ниже проект стандарта составлен Северо-западным отделением треста Теплоэлектропроект по поручению Главэнерго. Составлению его предшествовала рассылка для отзыва крупнейшим в СССР проектным и эксплуатирующим электротехнические устройства организациям, электропромышленным объединениям и отдельным предприятиям «Проекта новой международной шкалы напряжений» с предложением: в связи с предстоящим пересмотром ОСТ 5155 и ОСТ 4760 указать те изменения и дополнения, которые желательно внести в стандарт на номинальные напряжения для стационарных установок сильного тока. Ответы были получены от 10 организаций, мнения которых по возможности учтены при разработке проекта стандарта. Кроме того, начальный текст проекта подвергся рассмотрению и обсуждению на заседаниях комиссии, состоявшей из представителей ленинградских электротехнических организаций и одобрившей основные положения стандарта.

Необходимость коренного пересмотра указанных выше ОСТ назрела в связи с большими успехами в развитии электрификации нашей страны и ее электропромышленности за период второй сталинской пятилетки. Если при разработке указанных выше ОСТ, в соответствии с уровнем электрификации и электропромышленности того времени (1932 г.) и намеченным на вторую пятилетку планом развития была взята установка на возможно меньшее число стандартных напряжений, то в настоящее время представляется возможным и целесообразным значительно расширить шкалу напряжений и приблизиться к проекту международной шкалы. Переработка ОСТ в указанном направлении находится в полном соответствии с постановлениями Международного энергетического комитета (МЭК), которым было признано желательным, чтобы вслед за международными соглашениями по вопросам норм были приняты меры к согласованию с ними норм отдельных стран, поскольку это возможно по местным условиям.

В большинстве отзывов, полученных относительно проекта новой международной шкалы напряжений, сближение нашего ОСТ на номинальные напряжения с международным признано своевременным.

Проект стандарта, в соответствии с «Проектом новой международной шкалы напряжений» предлагается переработать в соответствии с требованиями МЭК для всей шкалы номинальных напряжений

напряжений на три ступени: а) до 100 V, б) от 100 до 1000 V и в) от 1000 V и выше.

Целесообразность такого деления оправдывается различными преимущественными областями и специфическими требованиями применения каждой группы напряжения: радиотехника, связь, сигнализация, освещение безопасности и т. п. — в первой группе, силовые и осветительные приемники — во второй группе и высоковольтное распределение энергии — в третьей группе.

При разработке проекта нового стандарта напряжений проводилось не простое расширение шкалы в соответствии с международными нормами, а лишь такое, необходимость которого назрела в соответствии с нашими внутренними потребностями. При таком подходе к разрешению вопроса имело место и обратное явление, а именно: внесение в проект стандарта таких напряжений, которые у нас нашли широкое распространение, но которые в проекте МЭК не имеются.

В новый проект вошли все напряжения ОСТ 5155; шкала же ОСТ 4760 подверглась значительной переработке.

Переработка эта была сделана на основе полученных отзывов и опубликованных в журналах «Электричество» № 8 и 9, 1938 г., и «Вестник электропромышленности» № 8—9, 1937 г., материалов по вопросам новых проектов стандартов.

Более подробные указания по отдельным частям проекта даны ниже.

Шкала номинальных напряжений до 100 V. По сравнению с ОСТ 5155 шкала постоянного тока удвоена; введены новые напряжения 6 V и 48 V. Напряжения ниже 6 V не стандартизируются; напряжение же 48 V введено в связи с предусмотренным новым проектом ОСТ на приводы к высоковольтным выключателям с источником постоянного тока указанного напряжения.

В шкалу однофазного тока внесено дополнительно напряжение 24 V.

В шкалу трехфазного тока внесены напряжения 12, 24 и 36 V, определенные новым проектом «Правил устройства» как «малое напряжение».

При сравнении с шкалой 1 международного проекта мы имеем уменьшение числа нормированных напряжений более чем вдвое. Это уменьшение произошло потому, что напряжения ниже 6 V в нашем проекте не стандартизируются, а напряжения постоянного тока 40, 60, 72 и 80 V в установках сильного тока редко находят при-

Шкала номинальных напряжений от 100 до 1000 V. В эту шкалу вошли все напряжения свыше 100 V, имеющиеся в ОСТ 5155. По предложению харьковского и ленинградского отделений Электропрома в графу «Номинальное напряжение на зажимах генераторов постоянного тока» внесено напряжение 245 V, поставленное в скобках с соответствующим примечанием к таблице.

По предложению ленинградского отделения Электропрома в графе «Номинальное эксплуатационное напряжение однофазного тока 50 Hz» добавлено напряжение 127 V, а в графе «Номинальное напряжение на зажимах трансформаторов» добавлены две графы для первичной и вторичной обмоток трансформаторов однофазного тока 50 Hz.

По сравнению со шкалой 2 международного проекта мы имели более развитую систему нормированных напряжений однофазного и трехфазного токов. Наличие в шкале 2 международного проекта нормированных напряжений для трехпроводной и пятипроводной систем постоянного тока не является преимуществом, так как трехпроводная система постоянного тока у нас находит очень редкое применение, а пятипроводная не встречается совершенно.

Шкала номинальных напряжений трехфазного тока 50 Hz от 1000 V и выше. Номинальное напряжение 1000 V дается как номинальное для аппаратов и свинцованных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией; генераторы же и трансформаторы на это напряжение не строятся.

Надобность в этом напряжении имеет условный характер как символ или раздел для напряжений. Так, это напряжение явилось разделом при составлении проекта «Правил расчета и устройства защитных заземлений»; из него исходит новый проект «Правил эксплуатации установок сильного тока высокого напряжения»; на него имеются частые ссылки в новом проекте «Правил устройства электротехнических установок сильного тока с точки зрения безопасности». В большинстве отзывов, полученных относительно проекта МЭК «Номинальных напряжений», дается положительное указание относительно введения напряжения 1000 V в наш новый стандарт.

Напряжение генераторов 15 750 V, соответствующее номинальному эксплуатационному напряжению 15 000 V в сети, внесено в проект стандарта по предложению ленинградского отделения Гидроэнергопроекта. Относительно напряжения 15 750 V для генераторов, хотя и не как стандартного, имеется указание в ОСТ/ВКС 7429 «Генераторы паротурбинные трехфазного тока».

Напряжение 21 000 V на генераторном и 20 000 V на приемном конце внесено в проект стандарта по предложению завода «Электросила» им. Кирова.

Номинальные напряжения 15 000 и 20 000 V имеются также в новом проекте общесоюзного стандарта «Выключатели высоковольтные», опубликованного в журнале «Электричество» № 9, 1938 г., причем в своем отзыве завод «Электроаппарат» пишет, что аппаратостроительным заводам удобнее вторая величина.

Чтобы не чинить стеснений в производстве аппаратостроительным заводам, в разделе «Наи-

большее рабочее напряжение в вольтах» в графе аппаратов против номинального эксплуатационного напряжения 15 000 V поставлена черта; аппаратостроительным заводам предоставляется право или наладить производство аппаратуры на это напряжение или применять аппаратуру следующей ступени напряжения.

Предложение завода «Электроаппарат» вместо напряжения 35 000 V внести напряжение 30 000 V не принято, так как на это напряжение имеется всего одна установка, в то время как напряжение 35 000 V в достаточной степени привилось, и число установок на это напряжение продолжает расти.

Напряжение 60 000 V внесено по предложению завода «Электроаппарат» и ленинградского отделения Гидроэнергопроекта.

Напряжение 154 000 V, так же как и в ОСТ 4760, оставлено в скобках, но примечание к нему несколько смягчено по сравнению с таковым ОСТ 4760. Сделано это с той целью, чтобы облегчить применение его в тех случаях, когда напряжение 110 000 V по расчету при проектировании оказывается недостаточным, а напряжение 220 000 V экономически невыгодным. Поскольку установка на напряжение 154 000 V имеется, производство трансформаторов и аппаратуры налажено, расширение применения этого напряжения может быть допущено.

На заседаниях комиссии представителями некоторых организаций было высказано мнение о нецелесообразности стандартизации напряжений свыше 220 000 V ввиду отсутствия достаточных для этого данных. Однако СЗО ТЭП считало невозможным согласиться с таким мнением и ставит на широкое обсуждение шкалу напряжений свыше 220 000 V, приведенную в табл. III. Эти напряжения установлены по принципу, изложенному в статье проф. В. А. Толвинского «О шкале напряжений для дальних электропередач» (см. журнал «Электричество» № 9, 1938 г.), а именно: по шагу возрастания номинального эксплуатационного напряжения и кратности возрастания натуральной мощности. В основном шкала проекта совпадает в этой части с ОСТ 4760. Новыми являются напряжения 310 000 и 440 000 V. В отношении последнего напряжения следует иметь в виду, что оно устанавливает лишь ориентировочное значение напряжения дальних сверхмощных линий передач, которым необходимо руководствоваться при научных и исследовательских работах.

Относительно номинальных эксплуатационных напряжений электрических сетей 15 000, 60 000, 154 000 и 220 000 V имеется заявление завода «Севкабель», что кабели на указанные выше напряжения еще не освоены заводом, и выпуск таких кабелей потребует определенного времени для разработки конструкции и подготовки производства; оборудованием же для производства кабелей этих напряжений завод располагает.

Для введенных вновь величин 15 000 и 20 000 V номинального эксплуатационного напряжения в разделе «Номинальное междуфазное напряжение на зажимах первичных и вторичных обмоток трансформаторов» сделаны такие же дополнительные указания, которые имеются в ОСТ 4760

для номинальных эксплуатационных напряжений 6000 и 10 000 V (см. примечание 5 и 6 к табл. III).

Предложение ленинградского отделения Электропрома дать иное построение раздела «Номинальное междуфазное напряжение на зажимах первичных и вторичных обмоток трансформаторов» хотя и давало проектирующим организациям некоторое преимущество, но было связано с изменением ОСТ 2524 на силовые трансформаторы.

Так как против изменения самих величин номинальных напряжений имелось категорическое заявление Трансформаторного завода им. Куйбышева в Москве, то указанное выше предложение ленинградского отделения Электропрома пришлось отклонить.

В табл. III по сравнению с ОСТ 4760 введен новый раздел — «Наибольшее рабочее напряжение в вольтах кабелей, генераторов, вторичных обмоток трансформаторов и аппаратуры». Определение этого понятия дано в § 6.

При сравнении с международной шкалой

табл. III проекта мы имели следующее: международная шкала в пределах до 200 000 V включительно имеет 14 напряжений, из которых только пять рекомендуется отдавать предпочтение. Шкала нашего проекта имеет 11 напряжений (если не считать напряжения 1000 V, но добавить напряжение 2000 V, которое допускается § 9), из них 9 рекомендуемых. Таким образом шкала нового проекта даёт проектирующим и эксплуатирующим организациям большую гибкость при выборе напряжений, чем международная шкала.

В проект стандарта не включены «Номинальные напряжения постоянного тока для электрической тяги», поскольку они не имеются в ОСТ 4760 и ОСТ 5155, взамен которых предназначен рассматриваемый стандарт. Кроме того, установление их тесно должно быть связано с пересмотром действующих ОСТ/ВКС 6392 «Выпрямители ртутные металлической конструкции» и ОСТ/ВКС 6393 «Трансформаторы для питания выпрямителей ртутных металлической конструкции», который еще пока не поставлен в порядок дня.

СССР — НКТП ГЛАВЭНЕРГО	Проект общесоюзного стандарта „НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВОК СИЛЬНОГО ТОКА“	2-я редакция Октябрь 1938 г. Эл — ОСТ
Сев.-зап. отделение Теплоэлектропроекта	(Взамен ОСТ 4760 и ОСТ 5155) Область применения. Определения. Шкала номинальных напряжений	Номинальные напряжения

I. Область применения

§ 1. Настоящий стандарт распространяется на стационарные установки для производства, передачи и распределения электрической энергии.

§ 2. Настоящий стандарт не распространяется на подвижные установки для электрической тяги, автомобилей самолетов, для освещения поездов, на специальные стационарные установки, как например: на установки для железнодорожной сигнализации, автоблокировки, на электрические цепи, замкнутые внутри приемников и агрегатов (цепи внутри приборов, цепи между ртутными выпрямителями и трансформатором, цепи между машинами агрегата Леонарда, цепи индивидуального возбуждения машин цепи зарядного агрегата, цепи вторичного напряжения сварочных аппаратов, печных установок, электролитических устройств и т. п.).

II. Определения

§ 3. Номинальным эксплуатационным напряжением сети называется среднее напряжение в сети, при котором должно происходить питание приемников электрической энергии.

Примечание. К приемникам электрической энергии относятся также первичные обмотки трансформаторов.

§ 4. Номинальным напряжением вторичной обмотки трансформатора называется напряжение на основных выводах этой обмотки при холостом ходе и при номинальном напряжении первичной обмотки.

§ 5. Номинальным напряжением на зажимах генераторов, трансформаторов, приборов и аппаратов, а также электрических кабелей называется то напряжение, на которое они рассчитаны, построены и для работы на которое они предназначены.

§ 6. Наибольшим рабочим напряжением для генераторов, трансформаторов, аппаратуры и кабелей называется наибольшее напряжение, неограничено длительное приложение которого является допустимым, но при длительном превышении которого на любую величину необходимо переходить на следующую ступень номинального напряжения.

III. Шкала номинальных напряжений

§ 7. Номинальные напряжения приведены в трех таблицах. В первой таблице дана шкала номинальных напряжений до 100 V постоянного тока, трехфазного и однофазного 50 Hz.

Во второй таблице дана шкала номинальных напряжений от 100 до 1000 V постоянного тока, трехфазного и однофазного 50 Hz.

В третьей таблице дана шкала номинальных напряжений трехфазного тока 50 Hz от 1000 V и выше.

§ 8. Отступление от номинальных эксплуатационных напряжений электрических сетей не должно превышать $\pm 5\%$.

Работа дальних электропередач допускается с перепадом напряжения до 10% , причем на отправном конце напряжение допускается на 5% выше, а на приемном конце — на 5% ниже номинальных эксплуатационных напряжений.

§ 9. Допускается сохранение имеющихся на существующих электрических установках номинальных эксплуатационных напряжений 120, 2100, 6300, 31 500 и 36 750 V трехфазного тока и 110, 2200 и 3300 V однофазного тока, не предусмотренных шкалой напряжений, изложенной в таблицах I—III.

В случае капитального расширения или переоборудования установок с перечисленными выше номинальными напряжениями обязательен переход их на стандартные напряжения.

Таблица I

Таблица II

Шкала номинальных напряжений до 100 В

Шкала номинальных напряжений от 100 до 1000 В

Номинальное эксплуатационное напряжение в В			
постоянного тока	трехфазного тока 50 Hz		однофазного тока 50 Hz
	междуфазное	фазное	
6	—	—	—
12	12	—	12
24	24	—	24
—	36	—	36
48	—	—	—

Примечание. Напряжения ниже 6 В не стандартизируются.

Номинальное эксплуатационное напряжение, В	Номинальное напряжение на зажимах В									
	трехфазного тока 50 Hz			однофазного тока 50 Hz	генераторов		трансформаторов			
	постоянного тока	между-фазное	фазное		постоянного тока	трехфазного тока 50 Hz	трехфазного тока 50 Hz		однофазного тока 50 Hz	
первичных обмоток				вторичных обмоток			первичных обмоток	вторичных обмоток		
110	—	—	—	115	—	—	—	—	—	—
—	127	—	127	—	—	127	133	127	133	—
220	220	127	—	230 и (245)	230	220	230	220	230	—
—	380	220	—	—	400	380	400	380	—	—
440	—	—	—	460	—	—	—	—	—	—
—	500	—	—	—	525	500	525	500	—	—

Примечание. Поставленное в скобках номинальное напряжение генераторов постоянного тока 245 В допускается лишь в тех случаях, когда его применение связано с технико-экономическими выгодами.

Таблица III

Шкала номинальных напряжений трехфазного тока 50 Hz от 1000 В и выше

Номинальное эксплуатационное междуфазное напряжение электрических сетей В	Номинальное междуфазное напряжение на зажимах В			Наибольшее рабочее напряжение, В			
	генераторов	трансформаторов		кабелей	генераторов	вторичных обмоток трансформаторов	аппаратов
		первичных обмоток	вторичных обмоток				
1 000	—	—	—	1 100	—	—	1 150
3 000	3 150	3 000 и 3 150*	3 150 и 3 300**	3 300	3 300	3 300	3 500
6 000	6 300	6 000 и 6 300*	6 300 и 6 600**	6 600	6 600	6 600	6 900
10 000	10 500	10 000 и 10 500*	10 500 и 11 000**	11 000	11 000	11 000	11 500
15 000	15 750	15 000 и 15 750*	15 750 и 16 500**	16 500	16 500	16 500	—
20 000	21 000	20 000 и 21 000*	21 000 и 22 000**	22 000	22 000	22 000	23 000
35 000	—	35 000	38 500	38 500	—	38 500	40 500
60 000	—	60 000	66 000	66 000	—	66 000	69 000
110 000	—	110 000	121 000	121 000	—	121 000	121 000
(154 000)	—	(154 000)	(169 000)	—	—	(169 000)	(163 000)
220 000	—	220 000	242 000	—	—	242 000	242 000
310 000	—	310 000	342 000	—	—	342 000	342 000
380 000	—	380 000	420 000	—	—	420 000	420 000
(410 000)	—	(440 000)	(484 000)	—	—	(484 000)	(484 000)

Примечание:

1. Напряжение 1000 В дается как номинальное для аппаратов и освинцованных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией.
2. Поставленное в скобках номинальное напряжение 154 000 В допускается лишь в тех случаях, когда его применение связано с технико-экономическими выгодами.
3. Поставленное в скобках номинальное напряжение 440 000 В является ориентировочным напряжением дальних сверхвысоких линий электропередач, которым необходимо руководствоваться при научных и исследовательских работах.
4. Отмеченное в таблице знаком * напряжение 3150 В первичных обмоток трансформаторов относится только к повысительным трансформаторам, присоединяемым непосредственно к сборным полюсам или к выводам генераторов.
5. Отмеченные тем же знаком напряжения 6300, 10 500, 15 750 и 21 000 В первичных обмоток трансформаторов относятся к повысительным и понизительным трансформаторам, присоединяемым непосредственно к сборным полюсам или к выводам генераторов.
6. Отмеченные в таблице знаком ** напряжения 3300, 6600, 11 000, 16 500 и 22 000 В вторичных обмоток трансформаторов относятся к понизительным трансформаторам с повышенным напряжением короткого замыкания (8% и более).
7. На случай аварийного режима наивысшие напряжения кабелей, генераторов, аппаратов и вторичных обмоток трансформаторов даны в графе „Наибольшее рабочее напряжение в В“.

ЗАЩИТА ОТ ГРОВОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Об искре и молнии

И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ

ВЭИ и Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

РАЗРАБОТКА учения о грозовых разрядах находится в самом разгаре. Рано еще говорить о законченности наших представлений, хотя бы и самых общих, о механизме молнии. Сделаны лишь первые, хотя и очень важные, шаги к познанию структуры разряда.

Подобно тому, как важные результаты в технике приносят работы на моделях, так весьма плодотворным является исследование некоторых сторон явления молнии в лабораторной обстановке — на искровом разряде. Можно сказать, что со времени получения человеком искрового разряда ум исследователя не переставал проводить параллелей в развитии этих двух процессов. Однако развитие знаний шло медленно: около трех веков известен искровой электрический разряд, два века назад экспериментально подтверждена идентичность молнии и лабораторной искры, но только за последние годы получены существенные результаты от параллельного изучения этих феноменов.

Искровой разряд. До последних лет механизм развития искрового разряда в длинных промежутках был исследован весьма неполно. Изучение процесса формирования искрового разряда при помощи фотографирования аппаратами с временной разверткой долгое время не давало удовлетворительных результатов из-за невозможности получить необходимые скорости разверток.

Новые возможности были получены в связи с применением метода введения в цепь импульсного разряда больших омических сопротивлений [1]. Как оказалось, включение сопротивления последовательно с искрой тормозит развитие разряда — уменьшает скорость движения лидера и главного канала. Помимо этого, интенсивность свечения главного канала уменьшается, что благоприятно отражается на качествах фотографии.

Основная причина явления уменьшения скоростей прорастания разрядов заключается в том, что токи разряда вызывают в сопротивлении потерю напряжения, благодаря чему напряжение, приходящееся во время развития разряда на искровой промежуток, уменьшается, что замедляет развитие искры.

В начале 1937 г. были опубликованы первые результаты изучения искровых процессов [2]. Впервые был наглядно показан положительный лидерный процесс, пронизывающий весь промежуток, и получены первые снимки повторных разрядов от импульсного генератора.

Продолжение исследований в лаборатории ВЭИ

привело к получению материалов, давших возможность не только качественного изучения структуры разряда, но и количественного определения скоростей различных его элементов, при разных формах электродов [4]. Можно считать установленными следующие основные факты.

Разряду в неоднородном поле предшествует лидерный процесс.

В искровом промежутке игла — плоскость складует различать два случая: 1) Разряд при положительной игле. В этом случае наблюдается лидерный процесс, развивающийся от иглы и доходящий обычно до плоскости, после чего происходит образование главного канала, растущего в обратном направлении. 2) Разряд при отрицательной игле. В этом случае лидерные процессы наблюдаются с обоих электродов; при встрече лидеров, происходящей обычно в середине разрядного промежутка, образуется главный канал.

В искровом промежутке игла — игла рост лидеров также происходит с обоих электродов, но в этом встреча лидеров имеет место обычно ближе к отрицательному электроду. При росте лидеров разветвления направлены в сторону развития процесса и образуются в основном только лидерами.

Среди лидеров, имеющих обычно стрелообразный характер с непрерывным продвижением процесса, иногда обнаруживается ступенчатое развитие предварительного разряда [5], имеющее также стрелообразный характер.

Количественные характеристики лидеров не установлены еще однозначно. Скорость процесса, как уже отмечалось, зависит от параметров внешней цепи, градиентов поля, формы электродов и величины волн напряжения.

Данные как наших, так и большого количества других исследований показывают, что скорости лидерных процессов колеблются в пределах от $1,5 \cdot 10^6$ до $30 \cdot 10^6$ см/сек. Скорость обратных каналов колеблется в пределах от $1,10^8$ до $26,10^8$ см/сек.

Приведенные данные представляют собой интерес при рассмотрении аналогичных материалов о молнии.

Повторность искровых разрядов. Обычно импульсы искрового разряда в точности сохраняют траекторию, проложенную первым лидером (то же наблюдается и у грозовых разрядов). Однако можно полагать, что при определенном увеличении интервалов между смежными импульсами или уменьшении энергии импульсов траектория разряда не будет полностью сохраняться.

Нам удалось найти условия, при которых мол

но было произвольно вызывать отклонения траекторий повторных импульсов от первоначального пути. Регистрация разряда производилась параллельно при помощи двухлинзовой фотокамеры и катодного осциллографа. Схема опытов изображена на рис. 1. Нижним электродом служила хорошо заземленная сетка. Разряд производился от импульсной установки, представлявшей собой два последовательно разряжающихся конденсатора, емкостью по 0,15 μF каждый. Ва-

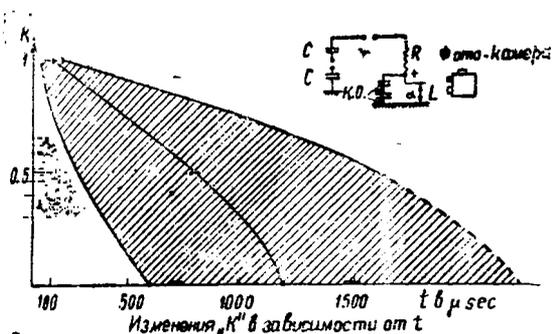


Рис. 1.

риации величины сопротивления R и длины L искрового промежутка давали возможность менять интервалы между смежными импульсами разряда, а это вело к изменению траектории повторных импульсов. В проведенных опытах R было равно $2,5 \cdot 10^6 \Omega$ (делались предварительные опыты и с другими величинами сопротивлений), а L менялось в пределах от 12 до 25 см.

Для характеристики отклонения траектории повторного импульса нами введен коэффициент k , точное определение которого дается отношением трехмерного криволинейного интеграла, взятого по пути первого импульса, к аналогичному интегралу, взятому по пути второго импульса.

На основании анализа ряда снимков была построена зависимость коэффициента k от интервала между повторными импульсами, изображенная также на рис. 1. Как видно, действительно, при определенных условиях, повторность прохождения импульсами (одного и того же разряда) пути, проложенного первым импульсом, — уменьшается.

Здесь не исследуются вопросы количественных значений энергии, выделяемой одним импульсом в столбе воздуха, соответствующем разрядному каналу, ибо для этого полученные материалы недостаточны. Нам кажется, что такого рода исследования дали бы возможность осветить вопрос о влиянии ионизации воздуха на условия развития разряда.

Как показывают катодные осциллограммы, напряжение повторных импульсов составляет незначительный процент от напряжения, при котором произошел первый пробой промежутка. Этот факт следует иметь в виду при анализе вопросов повторности разрядов молнии (см. ниже).

Полевые исследования молнии. Решение вопроса о полярности токов молнии, несмотря на его давность, не является столь ясным, как это кажется с первого взгляда. Утверждения отдельных авторитетов часто оказываются неверными, а ма-

териалы, на которых базируются их высказывания, недостаточно полными.

С целью обзора состояния вопроса в таблице сведены результаты определений полярности токов молнии, произведенных различными методами в разных местах и условиях.

Мак Ичрон и Мак Моррис [9], желая объяснить расхождение в распределении токов между положительной и отрицательной полярностью в измерениях, сделанных ими и Люисом и Фаустом, высказывают мысль, что меньший процент отрицательных разрядов, полученный в их исследованиях, объясняется меньшей высотой распределительных линий.

Авторы видят физическое объяснение этого явления в том, что при лабораторных работах процент поражений стержня на заземленной плоскости увеличивается при отрицательной полярности волны. Американцы делают вывод, что при уменьшении высоты линии число положительных и отрицательных молний количественно приближается друг к другу, и полагают, что эти числа делаются равными при поражении земли.

Однако вторая строка таблицы разрушает эту гипотезу, ибо ясно, что при поражении молниевотода высотой 900 м полярность тока должна быть всегда отрицательной. То же противоречие гипотезе дает 6-я строка таблицы. Как видно, высокогорная линия с очень высокими мачтами (линия построена на напряжение 300 kV) поражалась положительными разрядами в процентном отношении чаще, чем более низкие линии нормальных высоковольтных передач. На рис. 2 изображено для наглядности распределение положительных разрядов в объекты различной высоты. Из этой схемы ясно видна несостоятельность сделанного допущения.

По нашему мнению полярность разрядов зависит от структуры тучи и может быть в разных случаях различного процентного распределения между обоими знаками.

Лидерный процесс молнии. В свете результатов исследований, сделанных над искровым разря-

№ п/п	Где производились измерения	Где устанавливались регистраторы	Абсолютное число измерений	Процент разрядов положительной полярности	Автор опубликованной работы (число в скобках — номер в списке литературы)	Метод измерения
1	СССР	Высоковольтные линии и молниевотводы	84	32	[6]	Магнитозапись
2	"	Молниеприемник высотой около 900 м	6	17	[1, 7]	"
3	Америка	Высоковольтные линии передач	454	5	[8]	"
4	"	Распределительные линии	1608	22	[9]	"
5	Германия	Высоковольтные линии передач	654	14	[10]	"
6	Швейцария	Высокогорная линия передачи (300 kV конструкция)	12	17	[11]	"
7	Швеция	Открытая местность	130	Около 50	[12]	Катодно-осциллографический на рамках
8	Африка	Открытая местность	70	0	[13]	Катодно-осциллографический на витейнах
9	СССР	Гористая местность	24	21	—	"

дом, вопрос о лидерном процессе молнии приобретает особый интерес.

Представления о лидерном процессе первого импульса грозового разряда в течение последних лет претерпели существенные изменения. В 1934 г. Шонланд и др. на основании недостаточных материалов сделали неправильное заключение о том, что лидер первого импульса не отличается от лидеров повторных импульсов. Позднее это



Рис. 2. Иллюстрация процентного распределения положительных молний, поражающих объекты различной высоты

представление было заменено (той же группой исследователей) заключением, по мнению авторов имевшим фундаментальный характер, о том, что единственным механизмом развития лидера первого импульса является толчкообразное развитие процесса. Этот вывод базировался на сравнительно небольшом экспериментальном материале, полученном в Южной Африке.

Работы, произведенные другими исследователями, не дали достаточных материалов для обоснования этого вопроса.

Экспедицией Академии наук СССР и ВЭИ, ра-

процесс первого импульса часто развивается непрерывно. Этот результат установлен по катодно-осциллографическим записям, сделанным двумя параллельно работавшими приборами, присоединенными к антенне с временными развертками 200 и около 3000 μ s. Несколько подобных осциллограмм показаны на рис. 3. Совершенно гладкий ход записей позволяет заключить, что вывод Шонланда (1935 г.) и его сотрудников о том, что единственно возможным процессом продвижения лидера первого импульса является его ступенчатое прорастание, оказывается несостоятельным².

Появление в отдельных случаях на осциллограммах колебаний может быть, конечно, объяснено существованием ступенчатого образования лидера, или во всяком случае какими-либо резкими изменениями токов в канале разряда.

В соответствии с тем, что было сказано о полярности молний, естественным было получение в названной экспедиции фотографии молнии положительной полярности [14]. Отсутствие на фотографиях, сделанных англичанами, утверждающими, что все молнии имели отрицательную полярность, анодного лидера, является пока необъяснимым и нуждается в проверке.

Одной из задач дальнейших изысканий будет таким образом выявление действительного процентного соотношения положительных и отрицательных разрядов и выявление истинного механизма развития молний отрицательного знака.

Структура грозовых разрядов. Из материалов, полученных в полевой (1937 г.) и горной (1938 г.) лабораториях, здесь следует осветить результаты регистраций, сделанных быстровращающимися

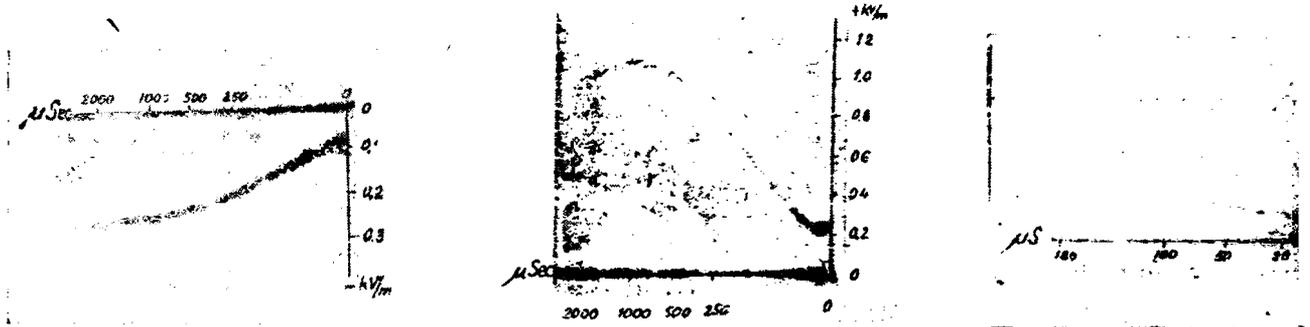


Рис. 3

ботавшей в грозовом сезоне 1938 г. в районе Бакуриани (Закавказье)¹, удалось получить много регистраций, полный анализ которых дает возможность подробнее осветить интересующий нас здесь вопрос о лидерном процессе.

На основании большого количества записей, сделанных катодными осциллографами и клидонографами, можно заключить, что каждый разряд (имеется в виду первый импульс) имеет лидерный процесс, время протекания которого в большинстве случаев измеряется тысячами, а иногда и десятками тысяч μ s.

Весьма важным результатом проведенных в горной лаборатории 1938 г. работ является установление того обстоятельства, что лидерный

клидонографами, — описание этих приборов, разработанных автором, см. [1].

Интересно остановиться на сравнении наших данных с данными, полученными некоторыми исследователями (применявшими различные методы), о многократности разрядов, интервалах времени между отдельными импульсами и длительности полных разрядов.

На рис. 4 показаны графики процентного распределения числа импульсов в различного типа разрядах. Как видно, кривые для разрядов на

² В работе 1938 г. (15) Шонланд умозрительно заключает, что перед ступенчатым лидером должен существовать другой процесс, распространяющийся непрерывно (пилот-лидер), однако в более поздней работе (13) это утверждение не получает экспериментального доказательства.

¹ В составе автора, И. Мякишева и В. Пономаренко.

землю и между тучами имеют примерно идентичный ход, тогда как распределение и для неопределенных по виду разрядов идет несколько ниже первых двух. Это различие может быть объяснено тем, что разряды невыясненной формы (которых имеется большинство в третьей группе) происходили обычно дальше разрядов определенного вида, в силу чего число импульсов, записанное клидонографами, у дальних разрядов меньше.

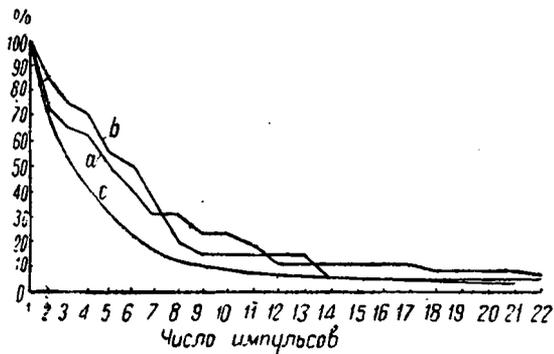


Рис. 4. Графики процентного распределения числа импульсов в разряде.
a — разряды на землю; b — разряды между тучами; c — разряды обоих типов

Здесь нужно четко отметить, что вообще число импульсов зависит от метода регистрации и чувствительности применяемой аппаратуры. Естественно, что при уменьшении интенсивности последующих импульсов любым методом регистрации устанавливается лишь минимальное число импульсов в разряде.

На рис. 5 сопоставлены зависимости процентного распределения числа многократных разрядов по материалам разных авторов.

Делая сопоставления с результатами Мак Ичрона, нужно иметь в виду, что он производил регистрацию импульсов с помощью осциллографа с катерной лампой. При этом осциллограф регистрировал ток к. з., вызываемый в линии высокого напряжения срабатыванием стреляющих разрядников. Естественно, что при такой схеме регистрации осциллограф не может записывать импульсы, происходящие в течение существования к. з. в линии.

Автор указывает нижний предел времени регистрации 0,17 sec.

С другой стороны, при названном методе могут регистрироваться лишь те импульсы, которые вызывают работу разрядников, что также снижает общее число составляющих грозового разряда. Учитывая, однако, что интервалы между повторными импульсами, меньше 0,017 sec, относительно редки, а с другой стороны, что при регистрации клидонографами фиксация импульсов с уменьшающимися амплитудами имеет также определенный предел, можно полагать, что сравнение результатов регистрации, выполненной названными методами, допустимо.

При этом необходимо все же отметить, что значения n по данным Мак Ичрона лежат значительно ниже наших значений. Более близкие величины n получены оптическим методом, однако из этого факта пока нельзя сделать каких-либо вы-

водов относительно механизма молний, ибо неизвестными остаются сравнительные чувствительности методов клидонографического и оптического. Более определенные заключения могут быть сделаны на основании сравнения кривых b и c , построенных для молний, происходивших в различных районах. Как видно, большая многократность свойственна разрядам, происходящим в условиях горных гроз.

Сопоставляя абсолютные значения n по кривым, построенным для разрядов на землю, можно заключить, что половина разрядов содер-

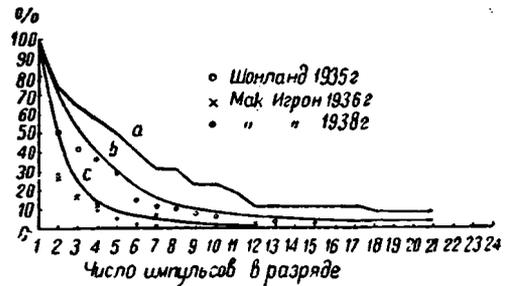


Рис. 5. Сравнительные графики процентного распределения числа импульсов в разряде.
a — Бакурнани — на землю 1938 г.; b — Бакурнани — общие 1938 г.; c — Звенигород — общие 1937 г.

жит от 1 до 5 импульсов. В виде окончательного результата проделанных до сих пор измерений можно принять усредненно: половина молний имеет три импульса.

Распределение интервалов времени между повторными импульсами. И здесь результаты получены с помощью различных методов. Среди этих методов нам известны: применение катодного осциллографа, включенного на антенну и рамку, шлейфового осциллографа с катерной лампой к оптического.

Изучение повторности разрядов, проведенное Нориндером при помощи катодного осциллографа, привело его к весьма отличным от обычных результатам.

Внимательный анализ результатов регистраций этого исследователя показывает, однако, ошибочность предпосылок, положенных им в основу построения графика. Повидимому, те времена, которыми Нориндер оценивает длительность полного разряда, относятся не к отдельным импульсам, а к отдельным ступеням образования этих импульсов.

Исследования других авторов дают более близкие к полученным нами результатам.

Сопоставление зависимостей процентного распределения временных интервалов между отдельными импульсами дано на рис. 6. Как видно, полученные результаты могут считаться определяющими. Средние значения наиболее часто встречающихся интервалов между импульсами могут быть оценены значениями от 0,02 до 0,07 sec. Наиболее вероятным интервалом можно принять время, равное 0,03 sec.

Длительность молнии. На рис. 7 даны средние зависимости процентного распределения полной длительности разрядов. И здесь наши результаты достаточно полны для выводов. Наиболее часты длительности молнии порядка $0,1 \div 0,2$ sec.

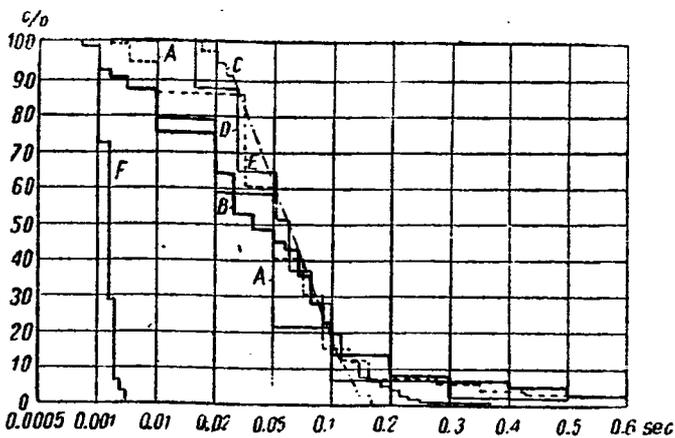


Рис. 6. Процентное распределение интервалов времени между импульсами, величины которых указываются абсциссой, по данным различных авторов.

A — данные СССР за 1938 г.; B — то же 1937 г.; C — данные Мак Ичрона 1936 г.; D — Мак Ичрона 1938 г.; E — Шонланд; F — Нориндер

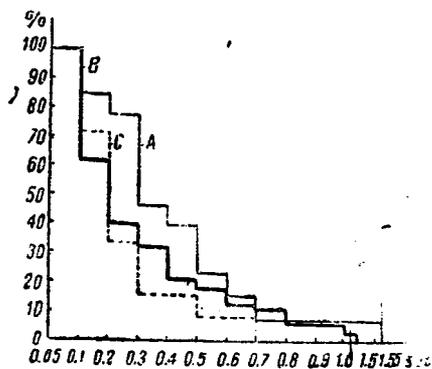


Рис. 7. Процентное распределение полного времени многократного разряда молнии, величина которого указывается абсциссой.

A — данные СССР 1938 г.; B — то же 1937 г.; C — данные Мак Ичрона 1936 г.

Примечание. Максимальная длительность многократного разряда по Шонланду 0,93 sec.

Повторность разрядов. На основании имеющихся экспериментальных материалов факт повторных разрядов может иметь следующие объяснения. Разряд, начавшийся в данном объеме, либо может завершиться при разряде всей способной отдавать заряды области либо может ввиду своеобразия вольтамперной характеристики молнии оборваться до вытекания всех зарядов из данного объема. В последнем случае, после обрыва дуги, потенциал рассматриваемой области тучи увеличивается за счет притекания зарядов из смежных областей, происходящего благодаря стримерам, и в меньшей мере за счет аэротермодинамических процессов.

Для обновления процесса разряда в связи с наличием ионизированного канала погасшего разряда достаточно небольшое повышение потенциала тучи. Это обстоятельство хорошо иллюстрируется описанными выше результатами наблюдений над искрами (при повторных разрядах).

Как уже отмечалось, повторные импульсы молний иногда не сохраняют пути предыдущих импульсов. Изменение траектории молнии наблюдал Вальтер; он объяснил «перескакивание» отдельных импульсов на новые пути действия ионизированных зарядов, расположенных в тучах

или на земле и не могущих достаточно быстро подтекать к месту разряда. Это положение в свете проделанных лабораторных экспериментов теряет свою убедительность, ибо в опыте применялась металлическая «земля», а вблизи ее существовали предметы, которые могли бы сохранить заряды, достаточные по величине для влияния на траекторию искры.

Видимо, в наблюдавшихся случаях «перескакивания» разрядов, траектории отдельных импульсов определяются структурой воздуха (наличие ионизированных объемов, разреженных областей и т. п.).

Сопоставление свойств лабораторной искры молнии. Сопоставление снимков лабораторной искры и молнии показало сходство развития обоих явлений во многих характерных чертах. Сюда относятся: существование непрерывно и ступенчато распространяющихся лидеров, многократность разрядов, разветвления в лидерном процессе и, наконец, одинаковый порядок величин, характеризующих скорость распространения отдельных элементов разряда. Вместе с тем более глубокое изучение механизма разрядов показало, что между ними существуют некоторые существенные расхождения.

Сюда относятся следующие явления. При лабораторном разряде между иглой отрицательной полярности и положительной плоскостью отрицательный лидер никогда не достигает плоскости, ибо ему навстречу развивается положительный лидер. Образование главного канала начинается в месте встречи лидеров. В случае неоднородностей на плоскости (наличие, например, острия), рост положительного лидера облегчается, встреча лидеров происходит на большем расстоянии от плоскости. По многочисленным снимкам молнии, сделанным Шонландом, по его утверждению, при тучах, игравших роль катода, никогда не обнаруживался положительный лидер, идущий из земли.

Хотя некоторые косвенные данные, существующие в литературе, говорят о том, что у молний существуют встречные лидеры, растущие от земли, вопрос этот остается открытым, ибо он не имеет экспериментального доказательства.

С другой стороны, неясными остаются обстоятельства, по которым в лабораторной обстановке лидер интенсивно развивается из положительного электрода и как бы затруднен из отрицательного, в то время как согласно регистрациям отдельных прекрасное образование лидера происходит из отрицательно заряженной тучи.

Отмеченные здесь вопросы имеют большое значение для практики грозозащиты, ибо без ясного разрешения нельзя быть уверенным в правильности метода, применяемого при установлении защитных зон молниеотводов. Решение этих вопросов позволит без сомнения пролить свет на кажущиеся загадочными некоторые случаи поражения молнией высоких хорошо заземленных объектов в не наиболее возвышенные части. (При этом высота туч значительно больше той, при которой, исходя из лабораторного опыта, можно ожидать названное явление.)

Рассмотрение изложенного показывает, что

молнии является выяснение вопроса о действительном лидерном процессе первого импульса разряда.

Литература

1. И. С. Стекольников, „Электричество“ № 2, 1936.
2. И. С. Стекольников, А. П. Беляков, И. П. Мякишев, „Электричество“ № 8, 1937.
3. T. E. Allibone and Y. M. Meek, Nature, London, т. 140 стр. 804.
4. И. С. Стекольников и А. П. Беляков, Известия Академии наук СССР. ОТН. № 4, 1933, стр. 79.
5. Technical Physics of the USSR, т. V, № 4, 1938, стр. 1. T. E. Allibone and J. M. Meek, Proc. Roy. Soc., ser. A, т. 166, № 924, 1938, стр. 97.

6. И. С. Стекольников и А. А. Ламдон, „Электричество“ № 5, 1938.
7. И. С. Стекольников и Х. С. Валеев, „Электричество“ № 1, 1937.
8. W. Lewis, CIGRE, 1937.
9. K. Mc Eachron and W. Mc Morris, El. Eng. № 6, 1938, стр. 307.
10. H. Grünewald, CIGRE, 1937.
11. K. Berger, Bullet. SEV № 6, 1936.
12. H. Norinder, Frankl. Inst. № 6, 1935.
13. B. Schonland, Hodges Collens. Proc. Roy. Soc. ser. A, т. 166, 1938, стр. 57.
14. И. С. Стекольников и И. Н. Мякишев, „Электричество“ № 11, 1938.
15. B. Schonland, Proc. Roy. Soc. № 916, т. 164, ser. A, 1938.
16. B. Walter, Ann. d. Phys. № 25, 1936, стр. 124.

Горные грозы и их особенности

В. В. БУРГСДОРФ

Тбилисский научно-исследовательский гидроэнергетический институт

В НАСТОЯЩЕЕ время меньше всего исследованы горные грозы, которые благодаря характеру рельефа местности и значительной высоте горных хребтов, сравнимой с высотой прохождения облаков, имеют целый ряд особенностей по сравнению с грозами равнинных стран.

Развернувшееся за последние годы строительство высоковольтных линий электропередач в Закавказье и на Северном Кавказе, естественно, потребовало интенсивного изучения горных гроз, тем более, что уже первые годы эксплуатации установили повышенную поражаемость некоторых новых линий.

Самые общие теоретические соображения о развитии метеорологических явлений в условиях горного рельефа дают основание заключить, что наличие хребтов и отдельных возвышающихся вершин способствует образованию воздушных вихрей. В частности, хорошо известно вполне закономерное и достаточно сильно выраженное движение воздушных масс при нагреве их солнечными лучами из долин к вершинам гор и хребтов, что обуславливает восходящие потоки воздуха.

Таким образом общие метеорологические условия при пересеченном рельефе весьма благоприятствуют развитию грозовых явлений, и при достаточной влажности надо ожидать значительного усиления процесса по сравнению, например, с равнинной частью средней полосы Союза. Вместе с тем следует предположить вероятность образования большого количества местных очагов при тепловых грозах, а при фронтальных — существенной интенсификации самого фронта в момент прохождения им района горных хребтов. Все эти соображения, а также факт сравнительной близости двух крупнейших водоемов — Каспийского и Черного морей — дали основание предположить о повышенной грозовости ряда районов Закавказья.

Неудивительно поэтому, что произведенная Тбилисским научно-исследовательским гидроэнергетическим институтом (ТНИГЭИ) в 1934—1935 гг. обработка материалов наблюдений метеостанций, за последние 20—30 лет, а также последующие уточнения на основе специальных наблюдений в наиболее грозовых районах установили исключительную повторяемость грозовых явлений в ряде пунктов Закавказья. Так например, среднее число грозовых дней в Кировакане, Амамлы, Калинин (Армения), Коджори и Бакуриани (Грузия) достигает 60—70 за сезон, что позволяет отнести их едва ли не к самым грозовым в СССР.

В 1934 г. была составлена грозовая карта территории Закавказья, подвергнутая некоторым уточнениям в 1937 г. При составлении карты в основу ее был положен принцип объединения в общую группу тех районов, наблюдательные пункты которых показывают примерно равное среднегодовое число грозовых дней.

Условность и недостаточность такого предположения, в особенности для горных стран, будут подробно выяснены ниже. Здесь же заметим, что хотя критерий числа грозовых дней является самым первым приближением для оценки степени поражаемости молнией линий электропередач, — с точки зрения метеорологической он все же дает определенный ориентир в отношении развития грозовых процессов на интересующей нас территории.

Грозовая карта устанавливает факт повышенной повторяемости грозовых явлений на всей территории Армении, большей части Грузии и в гористых районах Азербайджана (Нагорный Карабах), почти вся же степная зона, примыкающая непосредственно к Каспийскому морю, характеризуется пониженным числом грозовых дней. Интересно также, что грозовая деятельность дает максимум в центральной, гористой части Закав-

казья (район Кировакан — Амамлы — Калинино), значительно превышающий наблюдаемый на Черноморском побережье, характеризующийся в свою очередь максимальной насыщенностью влагой воздуха. Из сказанного с достаточной отчетливостью начинает вырисовываться роль горного рельефа, как одного из важнейших факторов, способствующих развитию грозовых явлений.

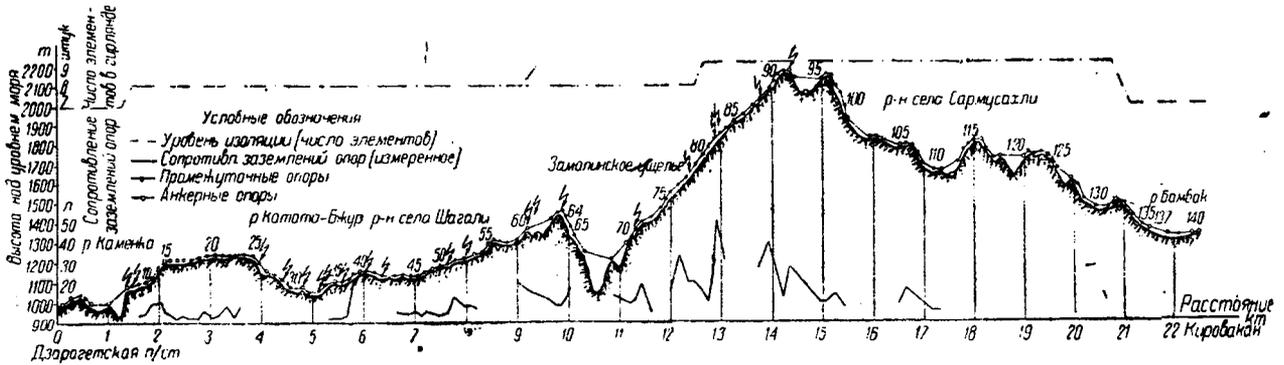


Рис. 1. Профиль линии Дзорогэс—Кировакан

С целью более глубокого исследования горных гроз с 1936 г. были начаты работы¹ по регистрации токов молнии на 110-kV линии электропередачи Дзорогэс—Кировакан и на 22-kV линии Дзорогэс—Аллаверды. Обе линии проходят по одному из наиболее грозовых районов (Кироваканскому) на большой высоте над уровнем моря; первая пересекает на своем пути ряд горных хребтов и ущелий (рис. 1), вторая проходит по горному плато со средней отметкой 1100 ÷ 1200 м над уровнем моря. Таким образом обе линии достаточно типичны для горных стран, а по характеру рельефа они взаимно дополняют друг друга. 110-kV линия Дзорогэс—Кировакан длиной 22,5 км имеет опоры башенного типа с расположением проводов «обратной елкой» (опоры рассчитаны на подвеску двух цепей, однако в настоящее время смонтирована только одна с использованием обеих верхних траверс и одной средней). Для защиты от перенапряжений линия снабжена двумя стальными тросами 50 мм². Тросы сильно перетянуты, и в пролете обеспечивается расстояние до провода порядка 4 м. Слабым местом противогрозовой защиты является значительное сопротивление заземлений опор. Заземление выполнено только на части линии, там же, где трасса проходит по

скалам, — опоры заземлены лишь через бетонный фундамент. Так как большая часть линии характеризуется именно такого рода грунтами, то сопротивление заземления составляет несколько десятков и даже сотен ом.

На рис. 2 представлена фотография опоры линии Дзорогэс—Кировакан, дающая одновременно достаточное представление о рельефе местности. Линия передачи Дзорогэс—Аллаверды длиной 18 км построена на деревянных опорах типа «свечка» с металлическими траверсами. Никакой специальной защиты от молнии линия не имеет, уровень грозоупорности ее определяется по величине импульсной прочности двух последовательно включенных изоляторов типа ШД-22, т. е. цифрой порядка 400 кВ.

При грозах в районе трассы линия выключается по несколько раз за сезон. Так, в грозовой период 1936 г. отмечено 14, а в 1937 — 7 случаев отключения из-за ударов молнии².

Полученные материалы в процессе исследования грозовых явлений на обеих линиях в сезоны 1936 г. представили настолько большой интерес, что в 1937 г., дополнительно к линиям Кироваканского района регистраторы были установлены еще на двух линиях Грузии — Метехи и Улеви.

Первая из них длиной 29 км является частью 2000-киловольтной магистральной Загэс—Рионского напряжения 110 кВ и соединяет между собой подстанции Каспи и Гори. Трасса линии

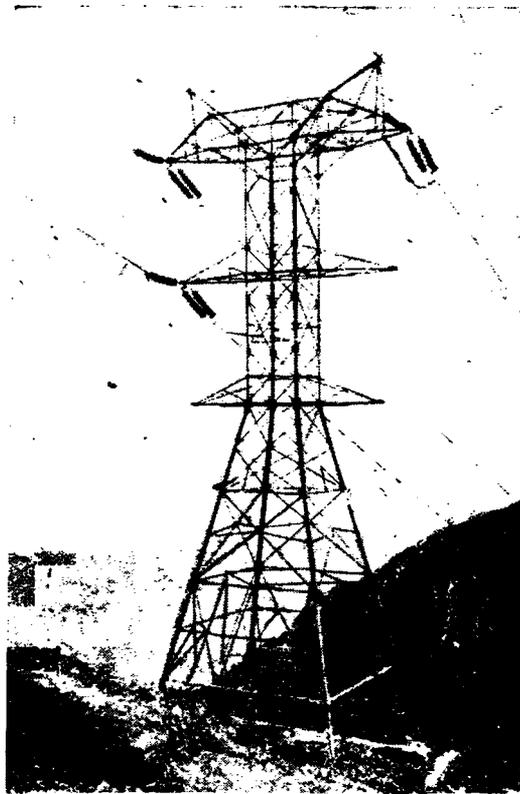


Рис. 2

¹ Работы по магнитозаписи токов молнии проводились совместно с Энергетическим институтом им. Кржижановского Академии Наук СССР.

² Индуктированные перенапряжения здесь не опасны, так как импульсная прочность по отношению к земле весьма значительна (6–7 дресвины и изолятор ШД-22), а разность потенциалов между отдельными фазами не может быть большой, так как расстояния между

Метехи проходит по сравнительно ровной местности, на небольшой высоте над уровнем моря (порядка 600 м), вдоль Куринской долины. Опоры — «ножничного» типа с горизонтальным расположением проводов. Трос подвешен на высоте 1,5 м над проводами и только с одной стороны. Таким образом его экранирующее действие крайне сомнительно. Несмотря на то, что линия Загэс — Рионгэс проходит по району с числом грозовых дней около 30—40, грозовых выпадений почти не наблюдалось — отмечены всего лишь два отключения участка Метехи, где по этой причине и были установлены регистраторы магнитописи.

35-kV линия Улеви длиной 32,5 км соединяет подстанции Чиатури и Зестафони. Опоры — П-образные со штыревыми изоляторами. Трос предусмотрен лишь на подходах, но и там вместо двух по проекту смонтирован только один. Характер рельефа крайне пересеченный, сходный с рельефом линии Дзорагэс — Кировакан, но уровень трассы значительно ниже и составляет в среднем 750—800 м.

Таким образом в 1937 г. были подвергнуты исследованиям 4 основных типа горных линий: 1) высокогорная с резко пересеченным рельефом местности (Дзорагэс — Кировакан), 2) проходящая по горному плато (Аллаверды), 3) долинная (Метехи) и 4) линия с сильно изрезанным профилем, но проходящая не на такой большой высоте, как первая.

Для исследований грозопоражаемости на всех линиях были установлены ферромагнитные регистраторы прессованного типа, разработанные Энергетическим институтом Академии наук совместно с ВЭИ.

Наряду с регистраторами ферромагнитного типа на линии Дзорагэс — Кировакан были установлены регистраторы прямых ударов молнии (РПУМ) конструкции ЛЭФИ (рис. 3). Существенное их преимущество, на котором следует остановиться, так как в ближайшее время предполагается массовое применение регистраторов для измерения фронта волны по схеме Бергера, — это возможность перезарядки прибора при дневном свете.

Пластинки обычного размера ($4,5 \times 6 \text{ см}^2$) вкладываются в специальные светонепроницаемые конверты с вделанными в них металлическими жетонами, к которым пластинки прижимаются своей светочувствительной поверхностью. Жетоны в свою очередь прижимаются к верхнему и нижнему электродам РПУМ, из которых один пружи-

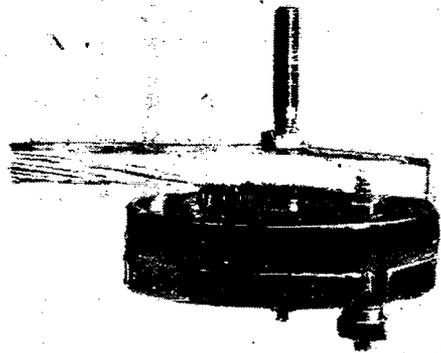


Рис. 3

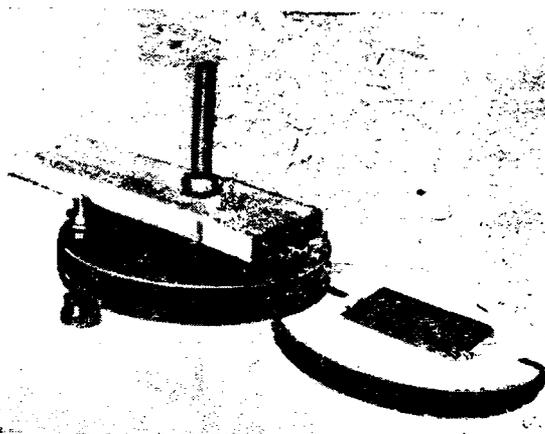


Рис. 4

нит. Таким образом обеспечивается хороший электрический контакт между электродами и поверхностью пластинки, вне зависимости от толщины и качества той бумаги, из которой конверт был изготовлен. Для суждения о полярности грозового импульса один жетон имеет круглую, другой — квадратную форму. Конверты заряжаются в лаборатории и в таком виде передаются монтеру.

Для удобства замены конвертов достаточно несколько отпустить барашки винтов, соединяющих фарфоровые диски, сдвинуть нижний диск в направлении прорези и повернуть его вокруг болта (рис. 4). После этого можно легко вынуть конверт и заменить его новым, вслед за тем вся процедура производится в обратном порядке. Значительные эксплуатационные преимущества такой конструкции конверта с жетонами по сравнению с методами перезарядки в специальном мешке очевидны.

Наряду с установкой регистраторов на подстанциях Арменэнерго и Грузэнерго были организованы визуальные наблюдения по фиксации гроз, направления их перемещения и интенсивности (по возможности). Для этого на подстанции были переданы специальные грозовые книжки, составленные по определенной форме. Эти наблюдения³ в союзуности с данными Гидрометуправления позволили создать более полную картину протекания грозовых явлений в исследуемых районах.

В 1936 г. РПУМ отметили 12 случаев прямых ударов молнии в опоры линии передачи Дзорагэс — Кировакан, 14 раз из-за гроз выключалась линия Дзорагэс — Аллаверды. Регистраторы магнитного типа на обеих линиях не зарегистрировали прохождения токов молнии. Такое расхождение было объяснено чрезмерным удалением регистраторов от токоведущей части (30 см), вследствие чего намагничение оказалось слишком слабым.

В сезоне 1937 г. расстояния до регистраторов были уменьшены до 10 см. В результате токи молнии были зафиксированы магнетиками на линии Дзорагэс — Аллаверды 7 раз и линии Улеви — 2, на Метехи и Дзорагэс — Кировакан намагниченных регистраторов обнаружено не было. Линия Аллаверды выпадала из-за грозы 7 раз,

Особенно ценные материалы были получены подстанциями Кировакан и Дзорагэс.

Улеви — 1 раз, последние две линии не отключались, однако РПУМ и в этом году зарегистрировали 11 прямых разрядов. Если учесть сказанное выше в отношении изоляции Аллавердской линии, уровень грозоупорности которой не превышает 400 kV, станет совершенно ясно, что любое поражение ее молнией неизбежно приводит к междуфазовому к. з. и, как следствие, к аварийному выключению. Таким образом число выключений этой линии можно принять равным числу выпадеий, что хорошо подтвердилось материалами 1937 г.

Ниже предела регистрации оказались 23 грозовых разряда в линию передачи Дзорагэс — Кировакан.

Токи молнии. Из отмеченных 46 разрядов точное определение силы тока молнии можно сделать лишь в 9 случаях: 7 для Аллавердской линии передачи и 2 для линии Улеви. Расшировка остальных случаев может быть произведена приблизительно, исходя из следующих соображений.

Как показывают измерения, нижний предел регистрации при магнитописи наступает в полях порядка 40 Ое для регистраторов выпуска 1937 г. и 60 Ое для изготовленных в 1936 г. Для создания такого поля на расстоянии r см от провода необходим ток I , равный, соответственно, 200 г и 300 г для регистраторов выпуска 1937 и 1936 гг.

Отсюда следует, что 14 случаям грозовых разрядов на Аллавердской линии ($r = 30$ см) соответствовали токи не выше 10 кА, для 11 случаев поражений линий Дзорагэс — Кировакан в 1937 г. ($r = 10$ см) токи также не могли превышать этой цифры, если учесть растекание по всем четырем ногам опоры. Сложнее решается вопрос с 12 ударами 1936 г. в Кироваканскую линию. Здесь ток молнии не мог превышать 30 кА и даже, вероятно, был значительно меньше, так как клидограммы разрядов 1936 и 1937 гг. не показывают заметной разницы. Кроме того, следует учесть, что при больших токах молнии и сопротивлении заземления порядка 50 Ω следовало ожидать перекрытий с опоры на провода. Мы полагаем поэтому, что и в 1936 г. ток молнии был порядка 10 кА. Ввиду недостаточной строгости этих данных последние 12 разрядов не учитывались. Остальные токи были определены точно (табл. 1).

Таблица 1

Название линии	Номер опоры	Ток в опоре кА	Характер разряда
Дзорагэс — Аллаверды	67	11,5	Апериодич.
	73	4,5	—
	74	9,5	—
	76	41	Колебат.
	111	6	—
	139	5	—
Зестафони — Чиатури (Улеви) {	143	20	Колебат.
	61	5	—
	?	4	—

Пользуясь данными табл. 4 1 и исходя из соображений, приведенных выше, составлена сводка всех токов молнии, отмеченных в Армении и Грузии (табл. 2).

Таблица 2

	Появка 10 кА и ниже	Порядка 20 кА	Выше 20 кА	Всего
Число случаев	32	1	1	34
%	94	3	3	100

Если проанализировать материалы наблюдений проведенных в СССР [1], Америке [2] и Германии [3], получается приблизительно такая картина: токи молнии порядка 10 кА и ниже составляют в среднем 35%; порядка 20 кА — 25%; выше 20 кА — 40%. Сравнение этих данных с цифрами табл. 2 показывает чрезвычайно высокий процент зарегистрированных нами грозовых разрядов с небольшими токами молнии.

При всем том следует учесть, что на линиях могли иметь место импульсы незначительной силы, которые поэтому не были отмечены регистраторами и не вызывали каких-либо нарушений эксплуатации. Не учтены также 12 ударов в Кироваканскую линию, сила тока которых не могла быть значительной. Все сказанное дает основание заключить о наличии достаточно ярко выраженной тенденции к уменьшению токов молнии в горных условиях по сравнению с наблюдаемыми в равнинных местах.

Объяснение этого явления заключается, по-видимому, в относительном сближении грозовых облаков в горах с поверхностью земли. При таких условиях перекрытие воздушного промежутка облако — земля происходит при меньшей концентрации электрического заряда грозовой тучи и, как следствие этого, величина токов молнии меньше⁵. Возможно также, что определенное влияние имеет местное повышение градиентов около вершин гор и хребтов, значение которых в связи с приближением облака к земле существенно возрастает. Таким образом грозовая туча недостаточно «вызревшая» для генерации молнии в равнинной местности, в состоянии вызвать разряд в условиях горного рельефа.

Отсюда ясно, что удары в горах должны быть более часты (накопление заряда требует меньше времени и происходит в благоприятных условиях восходящих потоков) при одновременном снижении силы тока молнии. Интересным подтверждением выдвинутой здесь теории являются огромные токи молнии, зарегистрированные на Свирской линии передачи, проходящей почти на уровне моря [1].

Установленный нами факт снижения токов молнии в горных условиях требует применения более чувствительных регистраторов магнитописи. В особенности это касается многоногих опор, где токи разветвляются по нескольким путям.

⁵ Емкость между облаком и землей с изменением расстояния между ними меняется мало, в чем легко убедиться из формул электрического поля.

⁴ Значения токов молнии табл. 1 несколько уточнены по сравнению с приведенными в отчете ЭНИН III.

При этом нежелательно снижение нижнего предела измерений путем приближения регистратора к токоведущей части, так как в этом случае увеличивается слагающая магнитного поля, нормальная к продольной оси стержня.

Повышение чувствительности может быть достигнуто либо улучшением ферромагнитных свойств регистраторов, либо переходом на проволочные стержни с большим содержанием активного материала. В последнем случае, как показали наши опыты, регистраторы превышают примерно в 5 раз по чувствительности прессованные конструкции выпуска 1937 г. Таким образом тем или иным способом повышение чувствительности регистраторов может быть достигнуто.

Из 46 грозовых разрядов полярность токов молнии была установлена в 32 случаях (14 ударов имели место в линию Дзорагэс — Аллаверды и были установлены в связи с выключением) — 23 разряда отрицательны (78%) и 7 положительных (22%). Процент отрицательных ударов оказался меньше, нежели установленный исследованиями в Германии [3] — 86% и Америке [2] — 95%, но выше среднего по Союзу [1] — 67%.

Избирательная поражаемость. С точки зрения существующих воззрений на теорию избирательной поражаемости весьма интересны результаты наблюдений на линии передачи Дзорагэс — Кировакан, геологическое строение и рельеф трассы которой весьма благоприятны в этом отношении. Линия передачи, как уже отмечалось выше, проходит по местности с значительной крутизной склонов, частью прикрытых слоем наносного грунта, частью голых. В обоих случаях коренной породой являются изверженные массы, главным образом туф и базальт.

Благодаря крутизне склонов наружный покров, как правило, сильно дренирован, так что проводимость его невелика, не говоря уже об участках, сплошь идущих по скалам. При таких условиях присутствие воды в виде ручьев и т. п. создает резкую неравномерность в проводимости грунтов, т. е. именно те условия, которые искусственно создавались в опытах ВЭИ [4, 5].

На рис. 1 был представлен профиль линии передачи Дзорагэс — Кировакан, стрелками там отмечены опоры, пораженные грозовым импульсом. Две стрелки означают, что опора поражалась в обоих грозовых сезонах.

Рассматривая рис. 1, нетрудно установить наиболее поражаемые зоны⁶, к которым можно отнести участки около опор: 7—8, 29—33, 60, 72 и 83. Существенно важно, что первые два участка находятся в непосредственной близости от небольших речек, пересекающих трассу линии: опоры 7—8 установлены на берегах р. Каменки, группа опор 29—33 прилегает к р. Катата-Бжур. Опора 60 установлена на вершине, выдающейся над ближайшими группами опор. Опора 72 находится на склоне над Замалинским ущельем, 83 — на опушке леса, у выходов к альпийским дугам. Интересно также поражение 63 опоры — высшей точки первых 10 км линии и 92-й, уста-

новленной на самом перевале. Как видно, во всех случаях резкого понижения сопротивления грунта — на берегах речек на опушке леса, где влага удерживается значительно лучше, чем в зоне альпийских лугов, наблюдается повышенная поражаемость, причем особенно важно, что случаи поражений одних и тех же опор отмечаются в оба сезона наблюдений. Остальные удары приходятся на опоры, возвышающиеся над окружающим рельефом, и лишь 4 случая (из 23) относятся к опорам без какой-либо выраженной неравномерности строения почвы. Факты частых поражений возвышающихся пунктов вполне естественны при отсутствии значительной разницы в проводимости грунтов, так как около вершин должна происходить концентрация силовых линий электрического поля и повышение градиентов.

В целом, полученный материал по избирательной поражаемости линии передачи Дзорагэс — Кировакан является хорошей иллюстрацией и практически подтверждением основных выводов теории электродинамических уровней, развитой И. С. Стекольниковым, и роли проводимости грунта. Случаи поражений других линий с рассматриваемой точки зрения нехарактерны, так как разряды происходили в местах с монотонным рельефом и единообразным строением грунтов.

Удельная поражаемость исследуемых линий. Под удельной поражаемостью линий здесь понимается число ударов молнии за сезон, отнесенное к 100 км линии.

Величина эта для исследований грозопоражаемости более важна, чем число выпадений линий за сезон, так как она более объективно характеризует грозовые условия того или иного района, вне зависимости от степени защищенности линий. Удельная поражаемость и аварийность могут численно совпадать при очень низком уровне грозоупорности, когда всякое поражение приводит к выключению.

На практике к этой категории относятся 35-kV линии с металлическими траверсами.

Удельная поражаемость рассматриваемых линий колеблется в весьма широких пределах. Для линии передачи Дзорагэс — Кировакан на первых 15 км, где были установлены РПУМ, в 1936 г. было 12 поражений, в 1937 — 11, что соответствует удельной поражаемости 80 и 73 на 100 км. На линии Дзорагэс — Аллаверды при длине 18 км имеем поражаемость 78 в 1936 г. и 40 в 1937 г. В то же время на линии Метехи вообще не зарегистрированы удары молнии и, что еще важнее, в течение примерно 5-летнего срока эксплуатации всей 200-км магистрали Загэс — Рионгэс, проходящей по районам с числом грозовых дней порядка 30 за сезон, наблюдались лишь единичные случаи выпадения из-за гроз.

Учитывая совершенно недостаточную противогрозовую защиту линии (один низкоподвешенный трос при горизонтальном расположении проводов на металлических опорах), мы должны были ожидать частых выключений, которые обычно наблюдаются на линиях с неполной защитой тросами. Так например, по данным Ленэнерго [6, 7] в 1935 г. при числе грозовых дней порядка 40 удельная аварийность таких линий⁷ составляла 40 на 100 км длины.

⁶ Необходимо иметь в виду, что поражаемость участка от перевала до Кировакана (95—141 опоры) не обследована, так как РПУМ были установлены только на части трассы от станции до 94 опоры.

ляет 4,2. Таким образом исправная эксплуатация магистрали Загэс — Рионгэс может быть объяснена лишь крайне низкой удельной поражаемостью этой линии, несмотря на высокое среднесуточное число грозových дней в районе ее трассы.

Огромная удельная поражаемость линий Кироваканского района также не может быть объяснена увеличением (примерно в 2 раза) числа грозových дней. По цитированным уже материалам грозových аварий в Ленэнерго удельная аварийность линий с металлическими траверсами и штыревыми изоляторами составляет 11,1 за сезон, цифру эту для линий данного типа можно принять практически равной удельной поражаемости. Таким образом оказывается, что удельная поражаемость линий Кироваканского района в 4—7 раз превышает наблюдаемую в Ленинградской области. Изложенное позволяет заключить о недостаточности существующих грозových карт и наличии ряда особенностей протекания грозových процессов в горных условиях.

Недостаточность критерия числа грозových дней и особенности долинных линий. Неполнота критерия по числу грозových дней за год для горных районов выявляется с полной отчетливостью, если сравнить наблюдение, проводимое в одном случае на станции, расположенной на вершине горы, а в другом — в сравнительно узком ущелье. Очевидно, что первая будет фиксировать все без исключения грозы, причем сильные и дальние, сопровождающиеся мощным световым и акустическим действием в ряде случаев будут отнесены наблюдателем в графу ближних гроз. Таким образом возвышающийся метеопункт будет фиксировать вообще все грозы, часто даже происходящие вне его района. Прямо противоположную картину представит наблюдатель станции в ущелье — им будут зафиксированы только те грозы, которые развиваются непосредственно «над головой». Уже одно это обстоятельство показывает, какие значительные ошибки возможны при составлении грозových карт горных стран.

Второй момент, который не учитывает анализ по числу грозových дней, заключается в защитном оттягивающем действии горных хребтов по отношению к долинным объектам, что обусловлено двумя моментами — сближением грозových облаков с горными цепями и характером воздушных потоков. В момент прохождения тучи над хребтом расстояние между облаком и поверхностью земли уменьшается и возникают условия, весьма благоприятные для разряда; если при этом действительно произойдет удар молнии, то облако в значительной мере разрядится и при дальнейшем прохождении над долиной опасности не представит. В случае же, когда концентрация зарядов окажется недостаточной для удара в горную цепь, и облако, перевалив через нее, плывет над долиной, — расстояние до земли значительно возрастает, и разряд затрудняется. Таким образом в обоих случаях удар в долину мало вероятен.

При движении облаков вдоль долин необходимо считаться с наличием воздушных потоков, направленных днем из долины к хребтам. Восходящие потоки воздуха вытесняют грозových облака от середины долины к хребтам.

где благодаря движению вверх создаются благоприятные условия для разделения электрических зарядов и образования местных грозových туч. Таким образом долины в большинстве случаев бывают свободны от облаков, которые полагаются обычно как бы венчиком в районе окружающих хребтов. Такую взаимную группировку почти всегда можно наблюдать в горных странах, и именно всем этим объясняются многочисленные следы поражений молнией вершин горных цепей, неоднократно отмечаемые исследователями.

Отсюда становится понятным, что долинными объектами находятся в объективно благоприятных условиях в отношении их защиты от грозových пульсов. Недостаток же грозových карт заключается в том, что наблюдатель, указывая в своих записях грозových дни, не делает разницы между явлениями, происшедшими собственно в долине и развивающимися в районе хребтов. Таким образом обычно весь район относится к числу грозových по той причине, что окружающие долины цепи характеризуются значительной интенсивностью грозовой деятельности, не имея, однако, никакого отношения к долинным объектам.

Для полноты картины необходимо указать условия, при которых поражаемость долинных объектов будет выше, чем окружающих горных цепей. Такие условия создаются в двух случаях: 1) когда в данном районе развивается преимущественно ночные грозы, так как ночью воздушные токи направлены от хребтов и, следовательно, способствуют развитию грозových явлений в долине; 2) когда долина сравнительно узка при значительной высоте образующих ее хребтов, превышающих обычную высоту прохождения грозových туч. При этих условиях облака принудительно передвигаются вдоль долины, и создаются очень опасные условия для всех долинных объектов, в особенности для линий передачи, построенных вдоль подобной грозовой аллеи, вследствие чего одно и то же облако может привлекать к ряду разрядов в линию. Именно к такому случаю относится факт, описанный Грюневальдом о повышенной поражаемости линий Колорадской долины. Разобранные условия, как и ночные грозы, встречаются на практике сравнительно редко и потому обычно работа долинных линий значительно облегчается, что, в частности, очень наглядно иллюстрируется эксплуатацией линии передачи Загэс — Рионгэс.

Что же касается повышенной поражаемости горных линий, не защищенных хребтами, то причины этого явления были разобраны выше при анализе токов молнии. Укажем поэтому лишь тот факт, что этот факт является дополнительным подтверждением развитой здесь теории гроз.

Наблюдения в течение двух сезонов дали весьма важный материал по горным грозам. представляющий научный и практический интерес. Дальнейшие работы по изучению молнии должны установить методику для оценки грозových отдельных районов, расчетные параметры токов молнии и т.д.

Литература

1. Стекольников и Ламдон, Измерение ферромагнитными регистраторами токов молнии в энергосистемах СССР. „Электричество“ № 5, 1938.
 2. Lewis, Доклад № 316 на Международной конференции по электрическим системам. Париж, 1937.
 3. Grünewald, Доклад № 315 на Международной конференции по электрическим системам. Париж, 1937.

4. Стекольников, Об избирательной поражаемости молнией. „Электричество“ № 8, 1936.
 5. Стекольников и Беляков, Экспериментальное исследование искрового разряда. „Электричество“ № 29, 1936.
 6. Итоги грозового сезона 1935 г. в системе Ленэнерго. „Электрические станции“ № 6, 1936.
 7. Итоги грозового сезона 1936 г. в системе Ленэнерго. „Электрические станции“ № 4, 1937.
 8. Grünewald, Американские исследования влияния гроз на линии передачи. ETZ № 45 и 46, 1937.

Метод подкасательной в применении к расчетам перенапряжений

М. В. КОСТЕНКО

Ленинградский индустриальный институт

ПРИ АНАЛИЗЕ переходных процессов, возникающих в электрических установках при атмосферных перенапряжениях, обычно удается с достаточной точностью найти для установок более или менее сложные эквивалентные схемы, состоящие из ряда отдельных узлов, разделенных между собой волновыми сопротивлениями конечной длины. В узлах приключены сосредоточенные емкости, самоиндукции и активные сопротивления, имитирующие отдельные элементы установок.

Такие узлы можно подразделить на два типа: 1) узлы, не запасающие энергию — комбинации из линейных и нелинейных (тирит) активных сопротивлений. Вычисление переходных процессов в узлах приводится к решению алгебраических уравнений и обычно затруднений не представляет; 2) узлы, запасающие энергию в виде магнитного поля самоиндукции или электрического поля емкости. В случае подстанции высокого напряжения, если тиристовый разрядник приключен по обычно применяемой схеме — на конце отпайки от шин, — узлы, как правило, можно представить в виде схемы типа рис. 1.

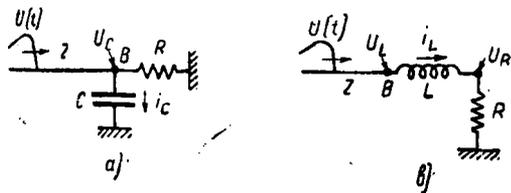


Рис. 1. Типичные схемы отдельных узлов, встречающихся на подстанции. а — узел с емкостью; б — с самоиндукцией

Аналитическое выражение напряжения на емкости $U_c(t)$ в случае прихода в момент времени $t=0$ волны любой формы $U(t)$ можно получить из решения операторного уравнения для суммы токов в точке В рис. 1, а:

$$\frac{2E(p) - E_c(p)}{Z} = \frac{E_c(p)}{R} + pC[E_c(p) - U_{co}]$$

или

$$E_c(p) = \frac{p}{p + \frac{1}{T}} U_{co} + \frac{a}{p + \frac{1}{T}} \frac{E(p)}{p + \frac{1}{T}} \quad (1)$$

где U_{co} — напряжение на емкости в момент времени $t=0$, определяющееся предшествующим зарядом емкости; $T = CZ_0$ — постоянная времени заряда емкости; $a = \frac{2Z_0}{Z} = \frac{2R}{Z + R}$ — коэффициент преломления в узле без учета емкости; $Z_0 = \frac{ZR}{Z + R}$ — эквивалентное сопротивление в узле; $E(p) = U(t)$ и $E_c(p) = U_c(t)$ — соответственно операторные выражения для приходящей волны и напряжения на емкости.

Принимая во внимание, что:

$$\frac{a}{T} \cdot \frac{1}{p + \frac{1}{T}} = a \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right); \quad \frac{p}{p + \frac{1}{T}} = e^{-\frac{t}{T}}$$

и воспользовавшись интегралом Дюамеля

$$F(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t A(t - \tau) aU(\tau) d\tau, \quad (2)$$

из (1) не трудно получить:

$$U_c(t) = U_{co} e^{-\frac{t}{T}} + \frac{d}{dt} \int_0^t \left(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right) aU(\tau) d\tau. \quad (3)$$

В общем случае, если волна $U(t)$ приходит в момент времени $t = t_0$ и соответствующее напряжение на емкости равно $U_c(t_0)$, принимая во внимание, что при $t < t_0$, $U(t) = 0$, уравнение (3) следует написать в виде:

$$U_c(t) = U_c(t_0) e^{-\frac{t-t_0}{T}} + \frac{e^{-\frac{t}{T}}}{T} \int_{t_0}^t e^{\frac{\tau}{T}} aU(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Ток через емкость

$$i_c(t) = \frac{1}{Z_0} [aU(t) - U_c(t)]. \quad (5)$$

Аналогичные выражения для схемы б рис. 1 имеют вид: ток через самоиндукцию

$$E_c(p) = \frac{p}{p + \frac{1}{T}} U_{co} + \frac{a}{p + \frac{1}{T}} \frac{E(p)}{p + \frac{1}{T}} = \frac{a}{p + \frac{1}{T}} \frac{E(p)}{p + \frac{1}{T}} + \frac{e^{-\frac{t-t_0}{T}}}{T} \int_{t_0}^t e^{\frac{\tau}{T}} \frac{2U(\tau)}{Z + R} d\tau, \quad (6)$$

потенциал точки B

$$U_L(t) = 2U(t) - Zi_L(t_0), \quad (7)$$

где $T = \frac{L}{Z+R}$ — постоянная времени для самоиндукции.

Аналитическое вычисление напряжений и токов по формулам (4)–(7) во многих случаях оказывается довольно трудоемким.

Действительно, при приходе с линии на подстанцию волны перенапряжения хотя бы и простейшей формы вследствие явлений многократных преломлений, отражений и искажений по каждому из волновых сопротивлений движутся волны сравнительно сложной или вообще неправильной формы (например отраженная от тиристового разрядника волна). Разложение волн такой формы на ряд простейших составляющих и оперирование с ними представляют обычно значительные трудности вычислительного порядка. Еще более расчет усложнился бы в случае неправильной формы первоначально приходящей волны.

Поэтому сравнительно простое графическое построение, оперирующее с волной, также выраженной графически, в ряде случаев может значительно упростить вычислительную работу и позволит практически определить величины перенапряжений в таких схемах, которые до последнего времени считались не поддающимися расчету вследствие трудоемкости вычислений.

Описываемый ниже метод подкасательной является по существу одним из возможных методов графического интегрирования, приспособленным специально к вычислению уравнений типа (4)–(7).

Идея метода. Величина подкасательной экспоненциальной функции $f(t) = Ce^{-\frac{t}{T}}$

$$T_x = \frac{e^{-\frac{t}{T}}}{-\frac{1}{T}e^{-\frac{t}{T}}} = -T = \text{const.}$$

Это свойство функции $Ce^{-\frac{t}{T}}$ можно использовать для ее графического построения.

При построении (рис. 2) кривую $Ce^{-\frac{t}{T}}$ заменяют на интервале Δt_1 (произвольный, но не очень большой интервал) прямой A_1B_1 . Точка B_1 берется для компенсации погрешности так, чтобы проекция отрезка A_1B_1 на ось t была равна не T , — как было бы в случае бесконечно малых интервалов, — а $T + \frac{\Delta t_1}{2}$. Поэтому прямая A_1B_1 является секущей к искомой кривой (касательная к ней в точке $t=0 - A_1B_0$), но по наклону к оси абсцисс A_1B_1 примерно соответствует среднему положению касательной к кривой на всем интервале Δt .

Взяв затем на прямой A_1B_1 новую точку A_2 при $t = \Delta t_1$, лежащую близко от искомой кривой $Ce^{-\frac{t}{T}}$ и повторив построение новой секущей A_2B_2 в пределах интервала Δt_2 , получим третью точку A_3 вблизи искомой кривой и т. д. При этом точки B_1, B_2, \dots, B_n берутся в середине

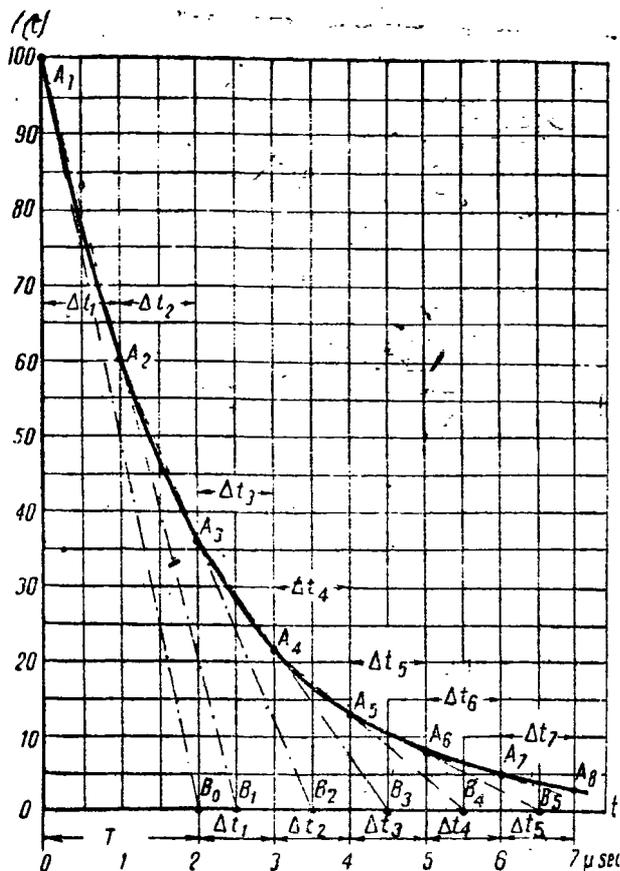


Рис. 2. Построение экспоненциальной функции $f(t) = Ce^{-\frac{t}{T}}$ ($C = 100$, $T = 2 \mu \text{sec}$)

соответствующих интервалов на оси абсцисс.

На рис. 2 приведено построение функции $f(t) = Ce^{-\frac{t}{T}} = 100e^{-\frac{t}{2}}$. Интервал для большей наглядности принят большим: $\Delta t = 1 \mu \text{sec} = \frac{1}{2}T$. Для сравнения на этом рисунке приведена кривая

$100e^{-\frac{t}{2}}$, построенная по таблице экспоненциальных функций. Совпадение, несмотря на большой интервал, получается вполне удовлетворительным.

Построение напряжения на емкости. Пусть приходящая в момент времени $t=t_0$ на емкость (рис. 1, а) волна имеет прямоугольную форму $U(t) = U_0$. Напряжение на емкости в этот момент задано: $U_c(t_0)$.

Тогда из уравнения (4) следует:

$$U_c(t) = aU_0 - [aU_0 - U_c(t_0)]e^{-\frac{t-t_0}{T}}.$$

Очевидно, что уравнение (8) можно графически построить аналогично экспоненциальной функции. В этом случае касательная к кривой $U_c(t)$ скользит не по оси t , а по прямой $U = aU_0$, параллельной этой оси. Построение начинается с точки $U_c(t_0)$.

Рассмотрим теперь общий случай.

В момент времени $t=t_0$ на емкость приходит волна, являющаяся любой функцией времени U (при $t < t_0$, $U(t) = 0$). Напряжение на емкости при $t=t_0$, $U_c = F(t_0)$. Требуется графически определить

Заменим приближенно приходящую волну рядом постоянных напряжений, приложенных в разное время (рис. 3): в первом интервале $t_0 - t_0 + \Delta t_1$ приложенное напряжение $U_1 = U(t_0 + \frac{\Delta t_1}{2})$; во втором интервале $t_1 - t_1 + \Delta t_2$ напряжение $U_2 = U(t_1 + \frac{\Delta t_2}{2})$ и т. д.

Напряжение на емкости в пределах первого интервала изменяется от своего начального значения $U_{c1} = F_1(t_0)$ к «установившемуся» значению $aU_1 = F_1(\infty)$, согласно (8), по закону

$$F_1(t) = F_1(\infty) - [F_1(\infty) - F_1(t_0)] e^{-\frac{t-t_0}{T}}$$

Касательная AB скользит по прямой aU_1 (на рис. 3 B_1B_2), а „подкасательная“ постоянна и равна T .

Однако к этому „установившемуся“ значению напряжение на емкости стремится только в пределах первого интервала Δt_1 . Во втором интервале приложенное напряжение равно U_2 и соответственно напряжение на емкости стремится от своего значения в начале этого интервала $U_{c2} = F_2(t_1)$ к новому „установившемуся“ значению $aU_2 = F_2(\infty)$. При этом, так как напряжение на емкости — непрерывная функция времени, то напряжения в начале второго и в конце первого интервалов совпадают, т. е. $F_2(t_1) = F_1(t_1)$. Дальше касательная AB скользит уже по прямой aU_2 (B_2B_3 , рис. 3) с прежней постоянной подкасательной T .

Подобное построение продолжается дальше от интервала к интервалу.

Если теперь беспрестанно уменьшать Δt , то можно видеть, что разобранное графическое построение стремится к искомой кривой $U_c = F(t)$, а касательная AB скользит по некоторой кривой $\varphi(t)$, а не по прямой, как на рис. 3. Проекция же \overline{AB} на ось t попрежнему равна T . Ее можно условно назвать, по аналогии к предыдущим, „постоянной подкасательной“ (рис. 4).

Каждая точка B кривой $\varphi(t)$, соответствующая по ординате некоторому „установившемуся“ напряжению на емкости $aU(t)$, смещена от этого t на постоянную подкасательную T .

Именно:

$$\varphi(t) = aU(t - T). \tag{9}$$

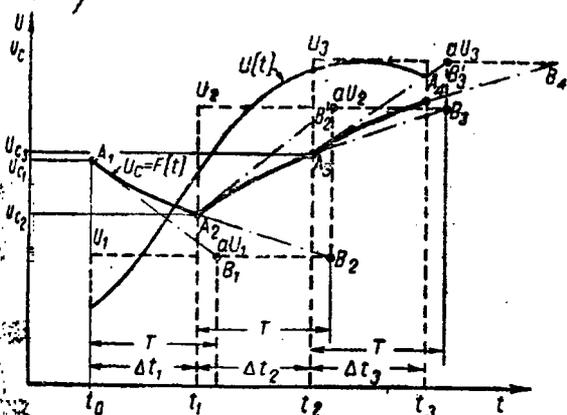


Рис. 3

Следовательно, кривая $\varphi(t)$, по которой скользит касательная AB , получается как пришедшая волна $U(t)$, умноженная на постоянный коэффициент $a = \frac{2Z_0}{Z}$ и смещенная относительно начала координат на постоянную времени $T = CZ_0$ (рис. 4).

Таким образом искомая функция $U_c = F(t)$ теоретически получается, как огибающая ряда положений касательной AB , причем каждый последующий отрезок $\overline{A_n B_n}$ проводится из соответствующей точки A_n , взятой на предыдущем отрезке $\overline{A_{n-1} B_{n-1}}$, а смещение по оси абсцисс Δt — бесконечно малая величина.

Вопрос о практическом выполнении построений этого типа рассмотрен ниже.

Область применения метода подкасательной. Построение рис. 4 по существу аналогично предложенному в свое время Вагнером и Райдтом [1] построению для учета автоматического регулирования напряжения при вычислении переходных токов к. з.

Составив выражение для огибающей, не трудно убедиться [2], что рассмотренное графическое построение действительно выражается уравнением вида:

$$F(t) = F(t_0) e^{-\frac{t-t_0}{T}} + \frac{e^{-\frac{t}{T}}}{T} \int_{t_0}^t e^{\frac{\tau}{T}} aU(\tau) d\tau, \tag{10}$$

что и следовало ожидать [см. уравнение (4) и (6)].

Подобным образом можно построить и всякий другой переходный процесс, если он является непрерывной функцией времени и если при вынуждающей силе, имеющей вид единичной функции, этот процесс выражается операторным уравнением:

$$A(p) = \frac{k_1}{p + k_2}, \tag{11}$$

где k_1 и k_2 — вещественные постоянные, связанные с постоянными для построения рис. 4 соотношениями:

$$T = \frac{1}{k_2}; \quad a = \frac{k_1}{k_2}.$$

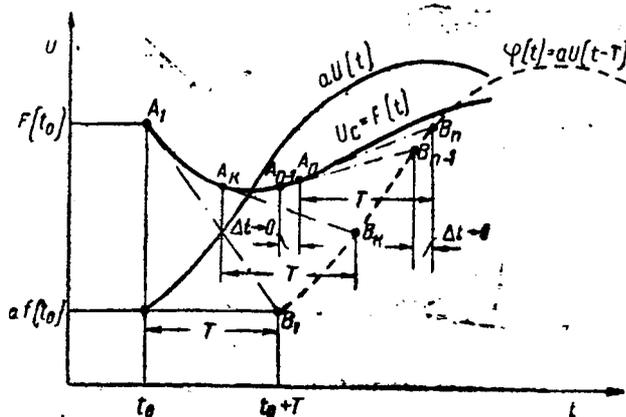


Рис. 4. Принцип построения кривой

$$F(t) = F(t_0) e^{-\frac{t-t_0}{T}} + \frac{e^{-\frac{t}{T}}}{T} \int_{t_0}^t e^{\frac{\tau}{T}} aU(\tau) d\tau$$

Кроме того, из уравнений (5) и (7) следует, что, зная напряжение на емкости или ток через самоиндукцию, нетрудно получить и ток через емкость или напряжение на самоиндукции, являющиеся прерывными функциями времени.

Подобно току через емкость можно получить и любой другой переходный процесс, если операторное выражение этого процесса для единичной силы имеет вид:

$$A(p) = \frac{k_1 p + k_2}{p + k_3} = k_1 + \frac{k_2 - k_1 k_3}{p + k_3}, \quad (12)$$

где k_1, k_2, k_3 — вещественные постоянные.

Рассмотренное построение в некоторых случаях можно применить к переходным процессам и в более сложных схемах, анализ которых приводит к решению линейного дифференциального уравнения высшего порядка с любым свободным членом. Необходимое условие при этом — характеристическое уравнение должно иметь вещественные неравные корни.

Практическое выполнение построения. Примеры. Рассмотренное построение, как и всякий метод последовательных интервалов, может дать накопление погрешностей. Поэтому необходимо: 1) брать возможно меньшую величину отдельного интервала Δt , особенно в местах большой кривизны $F(t)$; 2) подкасательную, т. е. проекцию отрезка AB (рис. 4), служащую для построения, следует брать равной не T , а $T + \frac{\Delta t}{2}$, где Δt — величина интервала. Другими словами, касательная проводится в точку, соответствующую средней величине приложенной силы на данном интервале (аналогично с построением рис. 2 для экспоненциальной функции). Схема такого построения методом подкасательной приведена на рис. 5.

Пример 1. Определить напряжение на емкости шин тупиковой 110-kV подстанции. С линии приходит полная волна, пропускаемая без разряда разрядником $PT = \frac{110}{0,8-7}$ (350 + 250 мм), установленным в начале подхода. Затуханием волны на подходе пренебрегаем.

Расчетная схема с исходными параметрами приведена на рис. 6. Падающая на емкость волна $U(t)$ условно определена графически (рис. 7). Эквивалентное сопротивление в узле $Z_0 = Z = 400 \Omega$. Постоянная времени заряда емкости $T = CZ_0 = 2500 \cdot 10^{-6} \cdot 400 = 1,0 \mu \text{ сек}$. Коэффициент преломления в узле без учета емкости

$$a = \frac{2Z_0}{Z} = 2.$$

Таким образом по формуле (9) кривая, по которой скользит касательная,

$$\varphi(t) = aU(t-T) = 2U(t-1,0).$$

Построение напряжения на емкости $U_c(t)$ выполнено на рис. 7. В качестве последовательных интервалов можно использовать клетки миллиметровки, а прямые $A_n B_n$ (рис. 5) проводить только на участках $A_n A_{n+1}$, что значительно упрощает график.

Для сравнения на рис. 7 приведена вольтсекундная характеристика гирлянды изоляторов 7×П-4,5 [3].

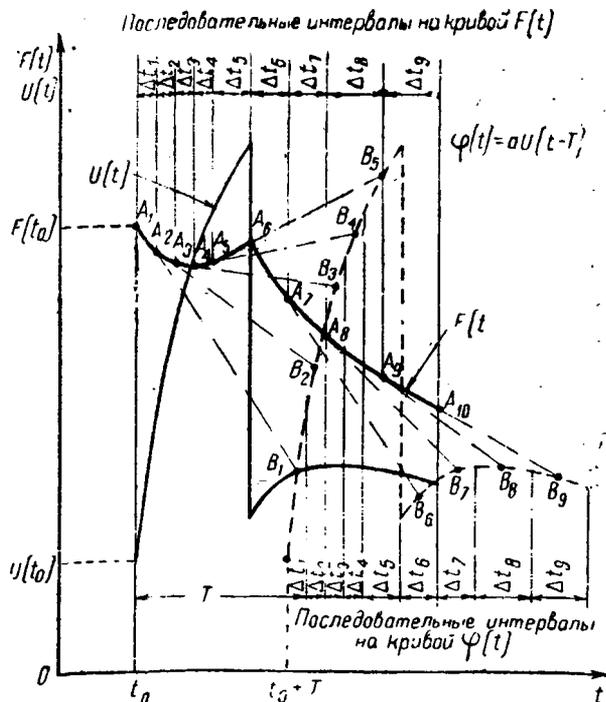


Рис. 5. Графическое построение функции

$$F(t) = F(t_0) e^{-\frac{t-t_0}{T}} + \frac{e^{-\frac{t}{T}}}{T} \int_{t_0}^t e^{\frac{\tau}{T}} aU(\tau) d\tau.$$

(Точки B_1, B_2, \dots лежат на кривой $\varphi(t)$ в серединах соответствующих интервалов Δt ; проекции отрезков $A_1 B_1, A_2 B_2, \dots, A_n B_n$ равны соответственно: $T + \frac{\Delta t_1}{2}, T + \frac{\Delta t_2}{2}, \dots, T + \frac{\Delta t_n}{2}$; точка A_2 лежит на прямой $A_1 B_1, A_3$ — на прямой $A_2 B_2$ и вообще точка A_n — лежит на прямой $A_{n-1} B_{n-1}$)

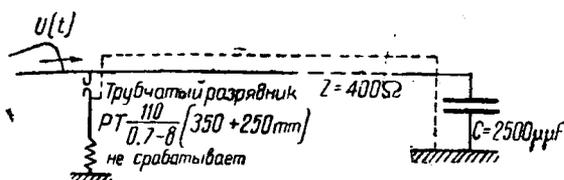


Рис. 6. Расчетная схема к примеру 1

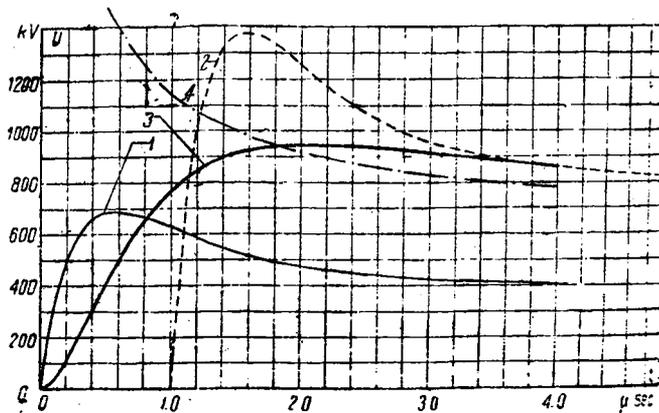


Рис. 7. Построение напряжения на емкости (пример 1).

1 — входящая на подстанцию полная волна $U(t)$; 2 — вспомогательная кривая, по которой скользит касательная $\varphi(t) = 2U(t-T)$; 3 — напряжение на емкости $U_c(t)$, построенное методом подкасательной; 4 — вольтсекундная характеристика гирлянды изоляторов 7×П-4,5

Из рассмотренного примера видно, что построенный методом подкасательной может значительно упростить вычисление напряжения на емкости в случае проходящей волны неправильной формы.

Пример 2. Построить экспоненциальную волну, выраженную уравнением:

$$U_1(t) = kU_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \quad (13)$$

где U_0 — амплитуда волны; k, α, β — ее параметры.

Пусть в уравнении (10) $F(t_0) = 0; t_0 = 0; T = \frac{1}{\beta}$;

$$aU(t) = nkU_0 e^{-\alpha t},$$

где n — постоянная. Тогда

$$F(t) = \beta e^{-\beta t} \int_0^t e^{-\beta \tau} nkU_0 e^{-\alpha \tau} d\tau$$

или

$$F(t) = nkU_0 \frac{\beta}{\beta - \alpha} [e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}]. \quad (14)$$

Из сравнения (13) и (14) следует: $n = \frac{\beta - \alpha}{\beta}$ и, как нетрудно показать из подобия треугольников $\triangle ABC \sim \triangle AOD$ (рис. 8):

$$OA = \frac{1}{\alpha}; \quad OB = \frac{1}{\beta}.$$

Таким образом для построения экспоненциальной волны (13) надо (рис. 8): отложить на оси ординат $OD = kU_0$, на оси абсцисс $OA = \frac{1}{\alpha}$; $OB = \frac{1}{\beta}$; на прямой AD найти точку C с абсциссой OB , из точки C построить экспоненциальную функцию с постоянной времени $\frac{1}{\alpha}$ (скользить по оси t); из точки O построить искомую $U_1(t)$, причем надо скользить по кривой с постоянной подкасательной, равной $\frac{1}{\beta}$.

Это построение может в некоторых случаях оказаться более удобным, чем вычисление по таблицам и построение по точкам.

Для построения волны (13) на рис. 8 приняты следующие параметры:

$$\beta = 1,0 \mu\text{sec}; \quad \alpha = 0,25 \mu\text{sec}^{-1}; \quad U_0 = 700 \text{ kV}, \quad k = 2,14.$$

Таким образом построение переходных процессов методом подкасательной можно применить для решения большого числа задач из области защиты от перенапряжений.

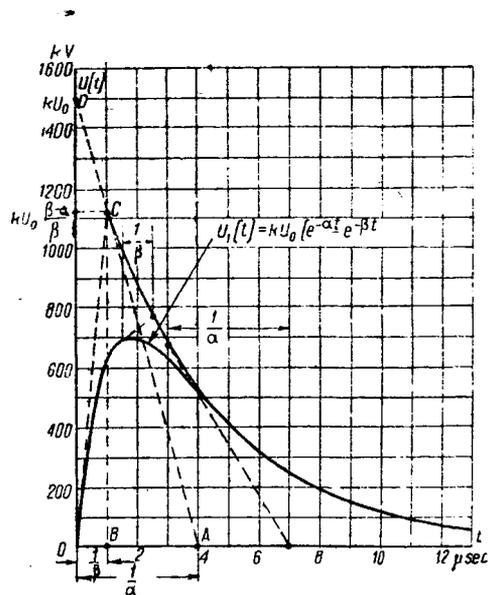


Рис. 8. Построение экспоненциальной волны

В некоторых случаях это построение может быть применено к расчету схем, содержащих узлы с нелинейными параметрами (тирит). Однако даже в случае только линейных параметров это графическое построение представляет значительные преимущества: оно позволяет оперировать с суммарной волной, движущейся по каждому из волновых сопротивлений. При пользовании же аналитическими методами приходится оперировать с отдельными составляющими волны, что ведет к чрезвычайно усложнению всего расчета даже в случае простейшей первоначальной волны.

Считаю необходимым отметить, что целый ряд весьма ценных указаний как принципиально-технического, так и редакционного характера был дан при выполнении этой работы проф. Н. Н. Миролюбовым.

Литература

1. C. F. Wagner and S. H. Wright, Calculations of Short-Circuits on Power-Systems. A.I.E.E., Paper № 32, M-4. El. Eng., 1932, стр. 131. El. Journal, 1933, № 5, стр. 205.
2. Б. И. Розенберг и М. В. Костенко, Упрощенный метод вычисления токов к. з. и кривые фиктивного времени при автоматическом регулировании напряжения. «Электричество» № 3, 1938.
3. А. А. Горев и Л. Е. Машкиллейсон, Импульсные характеристики линейной изоляции и искровых промежутков. «Электрические станции» № 11, 1936.

Индикатор частичных разрядов

К. С. АРХАНГЕЛЬСКИЙ и А. Н. ВЛАСОВ

Ленинградский электротехнический институт им. Ленина

ИЗУЧЕНИЕ прочности изоляции показывает, что во многих случаях полному пробое изоляции предшествует частичное ее разрушение. При этом ток, проходящий через место повреждения от источника напряжения, ограничен неповрежденной частью изоляции. Это явление, которое может быть названо частичным разрядом или частичным пробоем, наблюдается в неравномерном электрическом поле или равномерном, когда имеется сложная изоляция, состоящая из нескольких последовательно включенных диэлектриков.

При возникновении частичного разряда уменьшается пробивное напряжение изоляции, поэтому к изоляции высоковольтных установок нужно предъявлять требование, чтобы по крайней мере при наибольшем возможном рабочем напряжении в ней не происходило частичных разрядов.

Частичные разряды являются также одной из основных причин, вызывающих иногда понижение прочности аппаратуры в результате испытания ее повышенным напряжением.

С другой стороны, изоляция, не пробившаяся при испытании, считается выдержавшей его. Однако испытание не выявляет частичные разряды или пробои, так как эти дефекты не всегда вызывают полный пробой изоляции за время испытания. Из изложенного следует, что испытание изоляции напряжением во многих случаях может быть сделано более эффективным и более безопасным, если оно будет сопровождаться наблюдением за наличием и интенсивностью частичных разрядов в испытуемых объектах.

За последние годы был сделан ряд попыток разработки методов определения частичных разрядов в изоляции. В США [1] и Англии [2] работы велись главным образом в направлении определения разрядов в изоляции кабелей путем применения мостовых устройств, реагирующих на высшие гармоники зарядного тока. За границей для борьбы с радиопомехами [3], а также для определения дефектных изоляторов [4] разрабатываются методы, использующие радиоприемники, реагирующие на электромагнитные возмущения, создаваемые коронирующими изоляторами линий передач.

В 1934—1935 гг. в лаборатории им. проф. А. А. Смурова авторами разработан метод определения частичных разрядов, использующий воздействие электрических нестационарных процессов, сопутствующих разрядам¹.

Прибор и метод испытания. Изоляцию, в которой наблюдаются частичные разряды, можно заменить эквивалентной системой, состоящей из емкостей, сопротивлений и искровых промежутков (рис. 1). Объем изоляции, в котором возникает частичный разряд, можно представить как некоторую емкость C_2 , шунтируемую разрядом. C_1 — емкость слоя, ограничивающего дальнейшее распространение разряда. Емкости C_1 и C_2 включены параллельно с емкостью C_3 остальной части изоляции на напряжение источника питания E через сопротивление цепи Z .

Частичный разряд, «закорачивающий» емкость C_2 , сопровождается некоторым падением напряжения на электродах системы. Скорость этого падения зависит от характера разряда и обычно весьма велика. Вслед за разрядом емкость системы будет дозаряжаться до напряжения, соответствующего стационарному режиму. Зарядка совершается через сопротивление Z цепи и может носить аperiodический или колебательный характер. Напряжение на изоляции при частичном разряде складывается из напряжения стационарного режима и наложенного на него напряжения нестационарного режима — «воли частичного разряда», обусловленного падением напряжения на изоляции в момент разряда и последующим его восстановлением.

При питании системы от источника переменного тока частичные разряды будут повторяться через каждые пол-

периода основной частоты. С повышением напряжения число частичных разрядов за время одного периода увеличивается [5].

Если с целью изоляции, в которой возник частичный разряд, связан колебательный контур, то резкие изменения режима испытательной цепи в моменты разрядов будут вызывать в контуре колебания с его собственной частотой. Естественно, контур нужно выбрать таким, чтобы на нем не имелось заметного падения напряжения от токов основного стационарного режима.

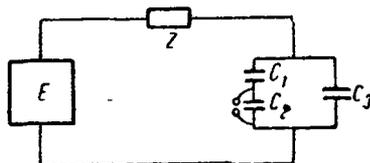


Рис. 1. Эквивалентная схема частичного разряда в изоляции. C_1 — емкость слоя, ограничивающего частичный разряд; C_2 — емкость шунтируемого частичным разрядом; C_3 — емкость неповрежденной части изоляции

Из основных возможных схем включения колебательного контура, приведенных на рис. 2, наиболее удобной оказалась схема с, которая не требует последовательного включения контура в цепь испытуемой изоляции, и для осуществления ее отпадает потребность в сложных и дорогих деталях.

Схема прибора, применявшегося при испытаниях изоляторов, приведена на рис. 3. Основным элементом прибора является контур LC , соединяемый через разделительный конденсатор C_0 с цепью испытуемой изоляции. При частичном разряде в испытуемой изоляции в контуре L возникает затухающий колебательный процесс с частотой

$$f \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C+C_0)}}.$$

Собственная частота контура описываемого прибора была около 35 000 Hz.

Выбор параметров контура обусловлен следующими соображениями.

Чем больше индуктивность L , тем выше напряжение высокочастотных колебаний на контуре. Однако величина индуктивности ограничена требованием малого падения напряжения от токов основной, 50-периодной частоты и ее гармоник, протекающих через разделительный конденсатор C_0 и самоиндукцию L . В самом начале исследования заметили, что контур, настроенный на очень высокие частоты, хуже возбуждался при некоторых специфических видах разрядов, что также указывало на необходимость по возможности снижать частоту контура. Частота 35 000 Hz не является строго обязательной и по мнению автора может быть с успехом снижена.

Напряжение с контура подается на сетку усилительной лампы. В анодной цепи лампы включен дроссель D (около 10 H), напряжение с которого через конденсатор подается на второй контур LC , аналогичный первому. Параллельно второму контуру через купроконный выпрямитель включен гальванометр. По отклонению стрелки гальванометра судят о наличии разрядов в изоляции. Для уменьшения отклонения гальванометра параллельно второму контуру включается непоказанное на схеме переменное сопротивление.

Питание прибора осуществлялось от 110-V сети переменного тока через трансформатор и выпрямитель.

Общий вид прибора в выполнении лаборатории им. Смурова показан на рис. 4 (без разделительного конденсатора). Вес прибора равен 8,5 kg, а при облегченной конструкции — 5 kg.

В качестве разделительного конденсатора применялись конденсаторные втулки, штыревые изоляторы, проходные изоляторы испытательного трансформатора и т. п. Емкость разделительных конденсаторов

¹ Авторское свидетельство № 48795, выданное К. С. Архангельскому и А. Н. Власову 17 октября 1935 г.

к испытательному трансформатору, предъявляется требование, чтобы в них вплоть до максимального испытательного напряжения не возникало собственных частичных разрядов.

Описанные ниже испытания производились при напряжениях до 100 кВ (эффektivных). При этом обычно легко удавалось избежать помех от разрядов в испытательном трансформаторе и разделительном конденсаторе. Несколько

Примеры применения. В лаборатории им. проф. Смулова при помощи установки по схеме рис. 3 испытывались изоляторы различных типов при различном состоянии изоляции (рис. 5, 6 и 7).

При испытании изоляторов, изоляция которых находилась в нормальном состоянии вплоть до испытательного напряжения, стрелка прибора обычно не отклонялась или давала относительно небольшие отклонения, обусловленные коронированием проводов и внешних частей изолятора (см. пунктирную кривую рис. 5). Исключение составляли подвесные изоляторы (рис. 6) и проходные с воз-

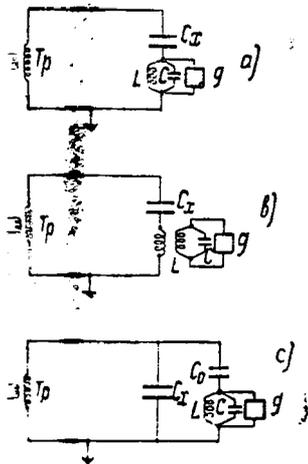


Рис. 2. Принципиальные схемы связи испытуемой изоляции с колебательным контуром, служащим для определения частичных разрядов

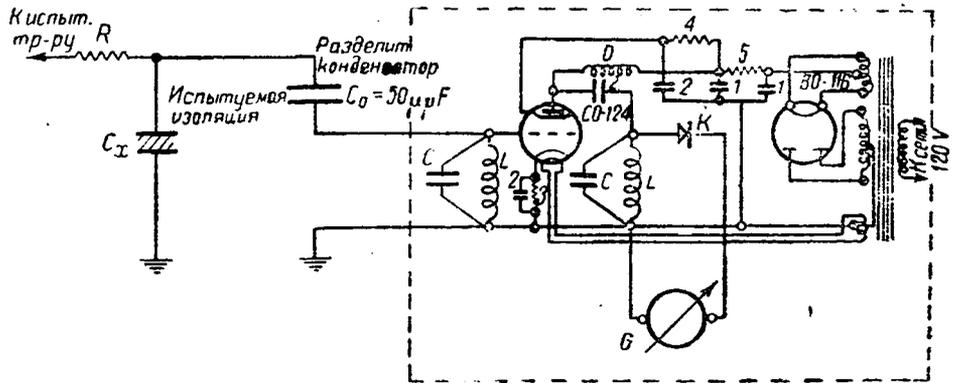


Рис. 3. Схема индикатора частичных разрядов лаборатории им. Смулова (1935 г.)
 L — катушка 10 мГн (сопротивление около 4 Ω); C — конденсаторы 2000 мкФ; D — дроссель индуктивностью около 10 Н; K — купроксный детектор ЦРЛ; 1 — конденсаторы 2 мкФ; 2 — конденсаторы 0,25 мкФ; 3 — сопротивление 500 Ω; 4 — сопротивление 60 000 Ω; 5 — сопротивление 8000 Ω; G — гальванометр с чувствительностью 350 мкВ на 1 деление при сопротивлении около 1000 Ω; R₁ — защитное сопротивление, равное приблизительно 100 000 Ω

ко труднее было устранять помехи от короны на соединительных проводах, которая является также одним из видов частичных разрядов и вызывает отклонение стрелки гальванометра. Для устранения влияния разрядов на соединительных проводах требовалось соблюдение следующих условий: 1) Диаметр проводов должен быть не меньше 3—5 мм. Хороший результат дало применение гибких металлических шлангов или труб диаметром 10—20 мм. 2) Расстояние провода, находящегося под высоким напряжением, от земли и заземленных предметов должно быть не меньше 1 м. 3) Провода, находящиеся под высоким напряжением, не должны крепиться к сильно коронирующим изоляторам, как, например, обычные типы подвесных изоляторов. Провода можно крепить на колонках исправных штыревых изоляторов, на бакелито-бумажных опорных изоляторах, сухих деревянных подпорках и т. п. 4) Нужно обеспечить надежные соединения проводки, в противном случае в местах плохих контактов возникают мешающие разряды.

Соблюдение указанных предосторожностей позволяло почти полностью избавиться от мешающего действия собственных разрядов.

Перед началом испытаний производилась проверка установки (обязательная вообще при работе с индикатором) при отключенном объекте для того, чтобы убедиться в отсутствии собственных разрядов.

В некоторых случаях, например при испытании бумажных конденсаторных изоляторов, при нормальном состоянии изоляции не наблюдается значительного отклонения индикатора вплоть до максимальных испытательных напряжений. В изоляторах этого типа разряд связан с разрушением изоляции и отклонение стрелки гальванометра указывает на опасный дефект.

В других случаях, когда испытываются объекты, на которых некоторое коронирование нормально допускается и не ведет к разрушению изолятора (гирлянды подвесных изоляторов), гальванометр индикатора будет показывать некоторое заметное отклонение и при нормальном состоянии изоляторов. Однако при дефектном состоянии это отклонение сильно возрастает. В этом случае о наличии дефекта лучше всего судить, исходя из сравнения данных испытуемой изоляции и нормальной.

Результаты испытаний фиксировались в форме кривых зависимости отклонений стрелки индикатора от напряжения, приложенного к испытуемой изоляции при подъеме и при снижении напряжения.

душной полостью, для которых сильные собственные разряды возникали при относительно низких напряжениях.

Если в изоляторах имелся дефект, связанный с возникновением частичного разряда, то отклонение стрелки прибора резко возрастало. Кроме того, отклонение стрелки прибора было весьма часто неодинаковым при подъеме и при снижении напряжения. Обычно, при снижении отклонение стрелки прибора больше, чем при подъеме. Поэтому кривые (рис. 5 и 6), снятые для дефектных изоляторов,



Рис. 4. Индикатор частичных разрядов лаборатории им. Смулова (1935 г.)

имеют характерную петлеобразную форму. Стрелки на рисунках показывают, что при подъеме или при снижении напряжения снята данная часть кривой.

Характер дефектов испытанных изоляторов указан на эскизах изоляторов на рисунках. Дефектный конденсаторный проходной изолятор, эскиз и результаты испытания которого представлены на рис. 5, имел один слой, пробитый при испытании импульсным напряжением. В этом изоляторе частичный разряд в виде искры шунтировал конденсатор, образованный двумя сталеолевыми проклад-

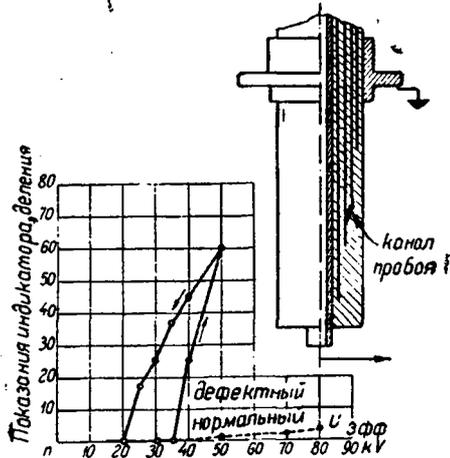


Рис. 5. Зависимость показаний индикатора частичных разрядов от напряжения при испытании 35-кВ проходных конденсаторных изоляторов

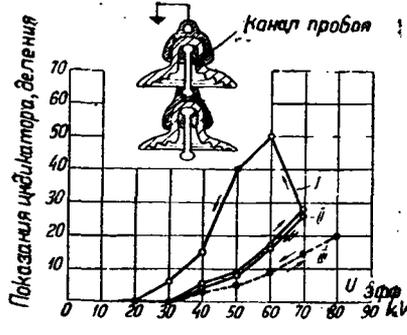


Рис. 6. Зависимость показаний индикатора частичных разрядов от напряжения при испытании гирлянд из двух подвесных изоляторов П-4,5 I — в гирлянде поставлен один пробитый изолятор; II — то же с другим пробитым изолятором; III — оба изолятора гирлянды нормальные

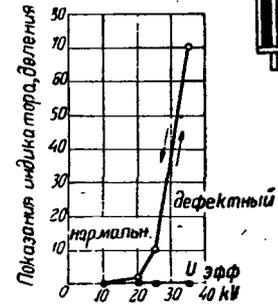
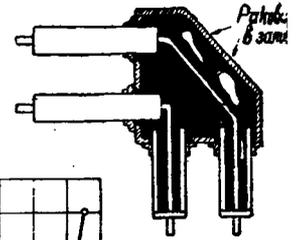


Рис. 7. Зависимость показаний индикатора частичных разрядов от напряжения при испытании 35-кВ изоляторных блоков, залитых битумной массой

ками. Несмотря на наличие дефекта, изолятор выдерживал многократные испытания напряжением до 50 кВ, причем дефект решительно ничем не проявлял себя внешне, кроме как отклонением стрелки индикатора. После 20 испытаний частичный разряд прекратился, так как поврежденный слой закоротила обугленная изоляция. Пробивное напряжение этого изолятора оказалось равным 80 кВ.

При испытании гирлянд из двух подвесных изоляторов два нормальных изолятора вызвали некоторое отклонение прибора (пунктирная линия рис. 6), обусловленное интенсивной короной у штыря. Далее, были испытаны гирлянды, составленные из двух изоляторов — нормального и дефектного. Дефект заключался в небольшом отверстии в фарфоре, вызванном пробоем изолятора при импульсном напряжении при одновременной механической нагрузке. Искра частичного разряда возникала в этом отверстии между металлическими электродами поврежденного изолятора. При испытаниях напряжением такой дефект внешне весьма слабо проявляет себя до напряжения 80—90 кВ, в то время как показания стрелки прибора указывают на ненормальное состояние изоляции уже при напряжениях 50—60 кВ (кривые I и II рис. 6).

Существенно отличен от рассмотренного выше характер частичного разряда в полости, ограниченной со всех сторон диэлектриком, как это имеет место, например, при раковинах в битуминозной заливке изоляторов. Эскиз одного из таких дефектных изоляторов и результаты его испытания представлены на рис. 7. Этот тип изолятора при нормальном состоянии изоляции — отсутствии раковин в заливке, не вызывал отклонения стрелки прибора до напряжений 50—70 кВ (пунктирная кривая рис. 8). При испытании изолятора, имеющего раковины, в них возникает частичный разряд, на этот раз не в форме искры между проводящими или полупроводящими электродами, а в виде распределенной «мягкой ионизации» воздуха, заключенного в полостях.

В данном случае дефект внешне совершенно не проявляется, в то же время показания прибора, как это видно из рис. 7, ясно указывают на наличие дефекта.

На рис. 8 представлена зависимость $\text{tg } \delta$ потерь от напряжения, так называемая «кривая ионизации» для высоковольтного конденсатора с пропитанной бумажной изоляцией, снятая с помощью моста Шеринга.

напряжении на краях обкладок конденсатора и в воздушных включениях его изоляции начинались интенсивные частичные разряды, весьма опасные для его изоляции. Расход энергии при малых напряжениях невелик, и этому он мало влияет на характер начала кривой. Поэтому кривая ионизации имеет сравнительно плоскоочертания, затрудняющие точное определение того значения напряжения, при котором начинаются

ряды. Тот же конденсатор был испытан индикатором по схеме рис. 3, с уменьшенной емкостью в колебательных контурах до $C = 200 \mu\text{F}$ (вместо $C = 2000 \mu\text{F}$, приведенных при ранее описанных испытаниях). Результат этого испытания представлен на рис. 8. Кривая а имеет весьма резкий перегиб, четко указывающий на напряжение появления разрядов. Оно оказалось значительно ниже того, которое можно было определить по мосту Шеринга.

Рассмотренные примеры не исчерпывают весь материал по применению данного метода, с которыми достаточно для выяснения его сущности. Метод определения изоляции с помощью индикатора частичных разрядов не универсален — он не исключает применения других методов определения дефектов изоляции, но в ряде случаев может их заменить и дополнить. Например, совместным применением моста Шеринга и индикатора частичных разрядов можно иметь более точное представление о процессах, протекающих в изоляции. Если

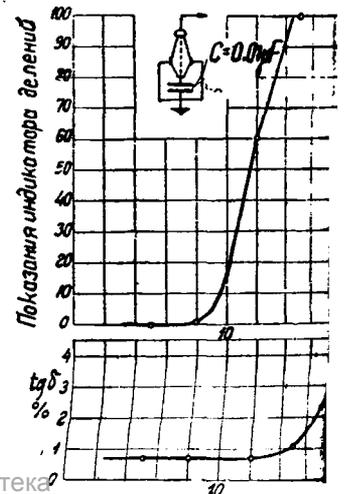


Рис. 8. а — показания индикатора частичных разрядов и б — кривая $\text{tg } \delta$ в зависимости от напряжения на конденсаторе емкостью 10 000 μF с пропитанной бумажной изоляцией

подъеме напряжения наблюдается рост $\text{tg } \delta$, то индикатор может помочь выяснить вопрос, является ли этот рост следствием внутренних разрядов в изоляции, или он обусловлен другими причинами, например нагревом и т. д. При соответствующей чувствительности и отсутствии мешающих разрядов индикатор может более точно указать начальное напряжение частичных разрядов, чем методы, реагирующие на сумму диэлектрических потерь, поэтому он может для этой цели заменить мост Шеринга.

Индикатор частичных разрядов является весьма простым и дешевым прибором, не требующим каких-либо операций по балансировке и т. п. Испытания с его помощью при надлежащей постановке дела весьма просты и не требуют большой затраты времени. Например, на съемку всей кривой a рис. 8 потребовалось приблизительно столько же времени, как на съемку одной точки кривой b на мосте Шеринга. Поэтому описанный метод в несколько видоизмененной форме может быть применен для массового контроля продукции, в тех случаях, когда мост Шеринга совершенно неприменим вследствие сложности и длительности требуемых им операций.

Применение индикатора при обычных испытаниях напряжением на хорошо налаженной установке почти не осложняет их, но в то же время делает их более безопасными и дает дополнительные указания о дефектах изоляции. Без применения индикатора частичных разрядов эти дефекты могут остаться необнаруженными.

В настоящее время можно утверждать, что рассмотрен-

ный метод применим для определения: 1) напряжения появления короны на изоляторах и проводах и в масле; 2) напряжения появления внутренних разрядов в высоковольтных конденсаторах; 3) дефектов штыревых изоляторов проходных конденсаторного типа, изоляторов с компаундным заполнением и дефектных изоляторов линий передач; 4) напряжения появления скользящих разрядов в воздухе и масле.

Считаем необходимым дальнейшую разработку описанного метода с целью его специализации применительно к различным объектам испытания.

Область применения рассмотренного метода в дальнейшем, безусловно, может быть расширена. Например, он может быть применен для исследования процесса разрушения изоляции частичными разрядами и для непрерывного наблюдения за состоянием изоляции, находящейся в эксплуатации.

Литература

1. Tykocinski и др. University of Illinois Bulletin № 49 и 50, 1933.
2. Armand and Starr IEEE 1936, p. 67—81.
3. См. например, MC Millan and Barnett, El. Eng., 1935, Aug., p. 857—62.
4. Kahle, AEG Mitteilungen, № 3, 1937.
5. Gemant, Zeitschrift f. techn. Physik. H. 9, 1932, S. 425.
6. Архангельский К. С. „Электричество“ № 15, 1937.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Деионизация газов, движущихся в трубах из изолирующего материала

К. И. ПЯРТМАН

Ленинград

ПРИ ДВИЖЕНИИ различного рода газов по трубопроводам, металлическим или из других материалов наблюдается электризация газов вследствие трения их о внутреннюю поверхность труб. Более резко этот эффект выражен при наличии в движущемся газе пыли.

Не останавливаясь подробно на физике явления электризации газа, рассмотренной автором ранее¹, укажем способы уменьшения или уничтожения явления электризации газов, движущихся по металлическим трубопроводам: 1) тщательное заземление трубопроводов, в которых движутся газы под давлением; 2) не допускать превышения скорости газов в 5—10 м/сек; 3) поддерживать воздух помещений влажным, что снизит его электропроводность.

Вопрос отвода электростатических зарядов, возникших при движении газа с той или иной скоростью в неметаллических трубопроводах, до настоящего времени мало изучен. Между тем

появление электростатических зарядов в газах может послужить причиной воспламенения и даже взрыва их. Поэтому изучение этого явления и изыскание способов уничтожения электростатических зарядов является, несомненно, важным.

Автор разработал устройство и поставил эксперименты по отводу электростатических зарядов при движении газа (воздуха) по резиновому трубопроводу.

Принципиально защитное устройство по отводу электростатических зарядов осуществляется следующим образом: на некоторой длине трубопровода из изолирующего материала укрепляются несколько электродов (пластин) и на них подается напряжение. Электроды укрепляются таким образом, чтобы при подаче напряжения на них создавалось электрическое поле, перпендикулярное к направлению движения заряженного газа. Находящиеся в движущемся по трубопроводу газе электростатические заряды улавливаются электродами (пластинами) и отводятся в землю. Напряжение подается на часть пластин, другая часть их заземляется. Образуется своего рода конденса-

¹ К. И. Партман, Электростатические заряды в трубопроводах, „Электричество“ № 17—18, 1937.

Схема устройства по отводу электростатических зарядов показана на рисунке.

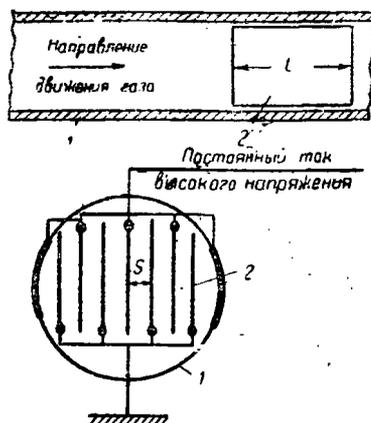


Схема защитного устройства. 1 — трубопровод из изолирующего материала; 2 — пластина

Размеры пластин защитного устройства 1, число их и расстояние между ними s при выбранном напряжении постоянного тока зависят от состава газа (подвижности заряженных частиц) и его скорости.

Автор поставил в Ленинградском индустриальном институте эксперименты по отводу электростатических зарядов при движении воздуха по резиновому трубопроводу. Для измерения потенциала зарядов относительно земли применялся

зонд, соединенный с электростатическим вольтметром. В целях максимальной эффективности проверки работы устройства была проведена искусственная ионизация движущегося в трубе воздуха.

Эксперименты дали следующий результат.

Если потенциал зарядов в воздухе, движущийся по резиновому трубопроводу, составлял, например, 1400 В, то при установке перпендикулярно движению ионизированного воздуха заземленной сетки этот потенциал снижался до 500 В. Установка защитного устройства с заземленной сеткой перед ним приводит к почти полному исчезновению зарядов. При осуществлении защиты, подобно описанной, необходимо обращать внимание на то, чтобы края пластин были хорошо закруглены во избежание коронирования. Заземление сетки и части пластин защитного устройства должно быть выполнено возможно лучше.

На основании теоретических подсчетов и экспериментов можно вполне определенно сказать, что одним из радикальных способов отвода электростатических зарядов, возникающих при движении газа в неметаллических трубопроводах является установка защитного устройства с заземлением к нему в виде заземленной сетки, установленной перпендикулярно движению газа.

Техническая разработка защитного устройства как показали предварительные проекты, не представляет конструктивных затруднений.

НОВЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Основы проектирования электрических аппаратов минимального веса

Р. Л. АРОНОВ

Харьковский электротехнический институт

В КНИГЕ „Экономические законы проектирования электрических машин“ М. Видмар дал анализ соотношений, определяющих рациональную конструкцию электрической машины. Однако эта работа не послужила базой для создания научных основ проектирования аппаратов. Ведь исходным пунктом при проектировании машин была их мощность. Аппарат же типа контактора не производит полезной работы (в узком смысле понятия отдачи мощности), его к. п. д. всегда равен нулю, и поэтому решение задачи требует других исходных положений. Очевидно, что надо стремиться к минимальному весу и экономии металла при заданной характеристике аппарата. В работе излагается способ определения рациональных размеров катушки и сердечника, диктующих все основ-

ные размеры магнитной системы аппарата постоянного тока.

Длительную нагрузку катушки лимитирует симальный перегрев, допускаемый по условиям теплостойкости изоляции.

Детальное исследование влияния различных факторов на нагрузочную способность катушки произведено автором в работе „Методы расчета тепловых процессов в активных материалах электротехнических конструкций“¹, где было показано, что при определении геометрических размеров можно пренебречь теплоотдачей фланцев катушки и считать распределение потерь равномер-

В таком случае зависимость перегрева от радиуса выразится уравнением:

$$t = \frac{q}{2k} \left(-\frac{r^2}{2} + \frac{p-g}{m-n} \ln r + \frac{gm-pn}{m-n} \right), \quad (1)$$

где q — потери в единице объема, k — коэффициент теплопроводности, h — коэффициент теплоотдачи,

$$p = \frac{r_2^2}{2} + \frac{kr_2}{h_2}, \quad (2)$$

$$g = \frac{r_1^2}{2} - \frac{kr_1}{h_1}, \quad (3)$$

$$m = \ln r_2 + \frac{k}{h_2 r_2}, \quad (4)$$

$$n = \ln r_1 - \frac{k}{h_1 r_1}. \quad (5)$$

Координату максимального перегрева вычислим, приравняв первую производную от t по r нулю. Тогда получим:

$$r_0 = \sqrt{\frac{p-g}{m-n}}. \quad (6)$$

Подстановка r_0 из уравнения (6) в (1) определит максимальный перегрев t_{\max} или, если считать этот перегрев заданным, наибольшие допустимые удельные потери

$$q_{\max} = \frac{4kt_{\max}}{\frac{p-g}{m-n} \left(\ln \frac{p-g}{m-n} - 1 \right) + 2 \frac{gm-pn}{m-n}}. \quad (7)$$

К этому уравнению присоединим следующие связи: вес катушки

$$G = \gamma f 2\pi (r_2^2 - r_1^2), \quad (8)$$

суммарные потери

$$P = 2\pi (r_2^2 - r_1^2) q_{\max}, \quad (9)$$

средняя длина витка

$$l_{cp} = \pi (r_1 + r_2), \quad (10)$$

ампервитки катушки²

$$AW = \frac{1}{l_{cp}} \sqrt{P \frac{G}{\gamma}}, \quad (11)$$

где γ — удельный вес, f — коэффициент заполнения ρ — удельное сопротивление, $2c$ — длина катушки
Подстановка (7) — (10) в (11) приводит к

$$AW = \frac{4c \sqrt{\frac{fkt_{\max}}{\rho} (r_2 - r_1)}}{\sqrt{\frac{p-g}{m-n} \left(\ln \frac{p-g}{m-n} - 1 \right) + 2 \frac{gm-pn}{m-n}}}, \quad (12)$$

е. к определению наибольших длительно допустимых ампервитков в функции геометрических размеров катушки (r_1 , r_2 , $2c$) и ее физических параметров (t_{\max} , k , h , γ , ρ , f).

Предположим физические параметры известными и постараемся найти размеры, соответствующие минимальному весу катушки при заданных ампервитках. Исследование уравнения (12) показало, что при увеличении обоих радиусов на одинаковую величину допустимые ампервитки практически не меняются, т. е. можно построить кривую

$$AW = \varphi(\delta), \text{ где } \delta = r_2 - r_1,$$

пригодную для различных значений r_1 при заданном $2c$.

Уравнение (12) также показывает, что после деления на $2c$ правая часть не зависит от длины катушки, т. е. кривая, выражающая ампервитки на сантиметр длины в функции от толщины катушки,

$$\frac{AW}{2c} = a\omega = \varphi_1(\delta) \quad (13)$$

пригодна для ряда значений $2c$ и r_1 , лежащих в известных пределах.

При проектировании магнитной системы исходными данными являются тяговое усилие и ход якоря, которые позволяют с помощью опытных данных определить величину потока в воздушном зазоре и ампервитки, обуславливаемые зазором.

Следует подчеркнуть, что при непритянutom якоре поток утечки весьма велик, что приводит к необходимости увеличить ампервитки катушки.

Если известен поток, то каждому выбранному значению r_1 соответствует определенная индукция, а следовательно, и ампервитки $a\omega_m$, затрачиваемые на единицу длины для проведения потока через сердечник. Тогда зависимость (13) позволит найти наивыгоднейший радиус для каждого значения

$$AW_0 = AW - AW_m = \text{const}, \text{ где } AW_m = 2c a\omega_m.$$

Перейдем к конкретному примеру. Необходимо выбрать наивыгоднейшие размеры магнитной системы контактора (рис. 1). Известно, что $\Phi = 135 \times 10^3$ М. Физические параметры (обмотка из эмалевой проволоки):

$$k = 4,4 \cdot 10^{-3} \frac{W}{\text{cm}^{\circ}\text{C}}, \quad h = 1,7 \cdot 10^{-3} \frac{m}{\text{cm}^{\circ}\text{C}}, \quad t_{\max} = 85^{\circ}\text{C}.$$

$$\gamma = 8,9 \frac{g}{\text{cm}^3}, \quad f = 0,62.$$

При $t_{\max} = 85^{\circ}$ средний перегрев окажется порядка 80° , и поэтому

$$\rho = \frac{1}{57} \left(1 + \frac{15+80}{255} \right) = 0,0241 \frac{\Omega\text{mm}^2}{m}.$$

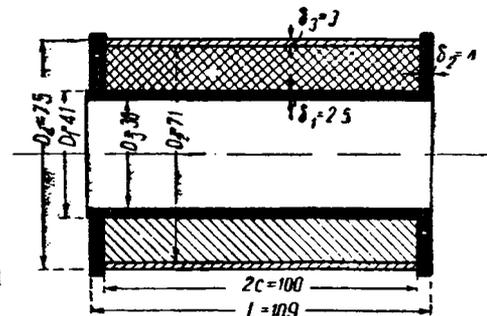


Рис. 1

По этим данным, пользуясь формулой (12), вычислена зависимость (13) для значений $\frac{AW}{2c}$ в промежутке от 260 до 350 (рис. 2).

Найдем наивыгоднейшие радиусы для $\frac{AW_0}{2c}$, равного 280, 300 и 320. При варьировании r_1 и r_2 и сохранении остальных конструктивных размеров число потребных ампервитков будет превышать принятое $\frac{AW_0}{2c}$ на $\frac{AW_m}{2c}$. В процессе расчета принято, что толщина внутренней части каркаса равна 2,5 мм и допуск между каркасом и сердечником

² См. вывод уравнения (11) в названной выше книге автора, § 41.

0,5 мм, таким образом радиус сердечника r_2 на 3-мм меньше внутреннего радиуса катушки.

Зададимся $r_1 = 1,9$ см, тогда $r_c = 1,6$ см, и при заданном потоке $\Phi = 135 \cdot 10^3$ М индукция $B = 16,8 \cdot 10^3$ Г. Этому значению индукции соответствует $\frac{AW_m}{2c} = 45$ и при $\frac{AW_0}{2c} = 280$, $\frac{AW}{2c} = 325$.

По рис. 2 найденному значению $\frac{AW}{2c}$ соответствует $\delta = 1,65$, и, следовательно, $r_2 = 3,55$. Согласно формуле (8) $G_1 = 155,5 \frac{g}{cm}$.

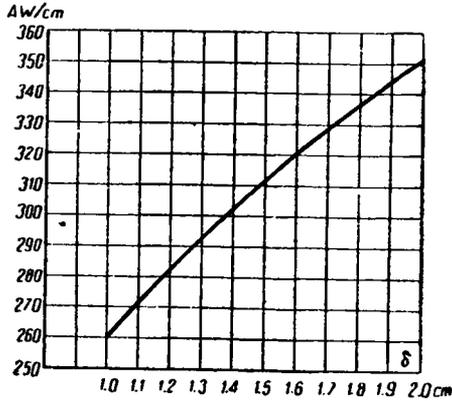


Рис. 2

На основе результатов серии вариантных просчетов, подобных приведенному, для $r_1 = 1,9 \div 2,7$ см на рис. 3 построены кривые зависимости веса единицы длины катушки ($\frac{G}{2c}$) от размеров сердечника при трех заданных выше значениях ампервитков. Мы видим, что наивыгоднейший радиус r_1 лежит в пределах 2,03—2,08, т. е. мало зависит от $\frac{AW}{2c}$, другими словами, от выбранной длины; примем $r_c = 1,75$, в таком случае $r_1 = 2,05$. При этом индукция получается порядка $B = 14 \cdot 10^3$ Г.

Теперь можно перейти к определению наивыгоднейшей длины.

С достаточной точностью для технических расчетов можно считать поток утечки пропорциональным ампервиткам от середины катушки до рассматриваемой силовой трубки (конечно, при варьировании длины сердечника в известных пределах). Тогда

$$\Phi_s \approx \int_{-c}^{+c} \frac{AW}{2c} x dx = \frac{AW}{2} c. \quad (14)$$

Так как поток утечки проходит в основном по пути $\mu = 1$ (медь катушки и воздух), в качестве первого приближения можно принять, что увеличение потребных ампервитков пропорционально удлинению сердечника $AW_s = K_1 2c$. При заданной индукции той же величине примерно пропорциональны ампервитки, идущие на преодоление пути в сердечнике:

$$AW = K_2 2c.$$

В таком случае для обеспечения работы аппарата при варьировании длины необходимо соблюдать условие:

$$AW - K_1 2c - K_2 2c = \text{const}, \quad (15)$$

где значение константы преимущественно зависит от воздушного зазора между якорем и сердечником. Для выбранного примера она равна 1090. При указанной выше индукции $\frac{AW_s}{2c} = 7,6$, однако эту цифру надо удвоить, так как удлинение сердечника вызывает соответствующее удлинение ярма, таким образом $K_2 = 2 \cdot 7,6 = 15,2$. Наконец, K_1 по опытным данным для полных конструкций, аналогичных рассматриваемой, порядка 188 (при отпущенном якорь-

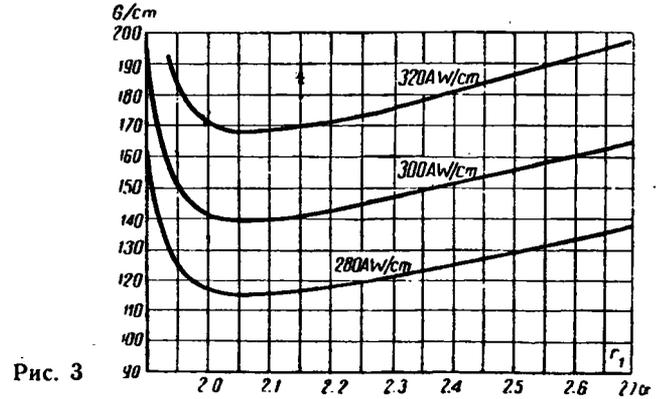


Рис. 3

ток утечки составляет до 60% полного возбуденного потока)⁸.

В таком случае:

$$\frac{AW}{2c} + \frac{1090}{2} + (15,2 + 188).$$

Каждому значению $2c$ соответствуют определенные ампервитки на сантиметр длины, а следовательно, и определенная величина δ (см. рис. 2, т. е. r_2). При этом вес катушки пропорционален $2c (r_2^2 - r_1^2)$.

По результатам подсчетов для нескольких значений c построена кривая изменения веса катушки в зависимости от ее длины (рис. 4).



Рис. 4

видим, что наилучшие результаты получаются при $2c = 10$ см. В таком случае $AW = 1090 + 2 \cdot 7,6 \times 10 = 3120$; $r_1 = 2,05$; $r_2 = 3,55$. Эти данные соответствуют размерам катушки контактора четкого габарита, к которым фирма GE пришла в результате многолетнего опыта. Конечно, в других физических параметрах материалов пришли бы к новым оптимальным размерам.

Произведенный анализ определяет основные законы, которым подчиняется конструкция витной системы при модификации ее размеров и указывает путь к переводу проектирования релейных аппаратов на научные основы.

⁸ См. Р. Л. Аронзон, „Автоматическое управление“ ОНТИ, 1935, стр. 40.

Скорость регулирования и устойчивость реостатно-импульсного регулятора напряжения

Л. Ф. КОТОВА и Б. И. ФИЛИПОВИЧ

Москва

ТЕОРИЯ рабочего процесса реостатно-импульсного автоматического регулятора напряжения типа СН-91 [1], выпускаемого ХЭТЗ им. Сталина, почти не освещена в технической литературе. В работах, рассматривающих условия устойчивости регулирования регуляторами такого типа [2, 3] недостаточно исследован вопрос о влиянии скорости изменения сопротивления в цепи возбуждения регулируемого агрегата на устойчивость регулирования. Повышение скорости действия всякого автоматического регулятора не может увеличить скорость регулирования сверх некоторого предела, определяемого параметрами регулируемых машин, но может послужить причиной возникновения колебаний напряжения [4]. Завод в своей инструкции рекомендует в таких случаях снижать скорость перемещения ползушки реостата, но не указывает, чем следует руководствоваться для получения устойчивого регулирования в наименее благоприятном режиме и наибольшей скорости регулирования в нормальном.

В статье исследуется вопрос выбора скорости регулирования для случая регулятора типа СН-91, воздействующего на цепь возбуждения возбудителя (рис. 1).

Для исследования устойчивости работы регулятора рассмотрим поведение его при малых относительных отклонениях u регулируемого напряжения от установленного значения.

Обозначим: e — относительное отклонение напряжения генератора от установленного значения, которое имело бы место в установившемся режиме, если бы напряжение возбудителя имело то же значение, что и в рассматриваемый момент времени; x — то же, но если бы сопротивление цепи возбуждения возбудителя имело то же значение, что и в рассматриваемый момент времени.

Пренебрегая сопротивлением и реакцией якоря возбудителя, влиянием токов Фуко в магнитных цепях возбудителя и генератора, а также инерцией движущихся масс регулятора, можно при малых u , e и x написать:

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= \frac{e-u}{T_u}; \\ \frac{de}{dt} &= \frac{x-e}{T_e}; \\ \frac{dx}{dt} &= f(u). \end{aligned} \quad (1)$$

T_u — постоянная времени цепи возбуждения генератора при обмотке статора, замкнутой на действительно подключенную сеть (влиянием постоянной времени успокоительной обмотки ввиду ее малости пренебрегаем). При холостом

ходе генератора T_u равно обычно употребляемой постоянной времени T_0 . Коэффициент T_e зависит от параметров цепи возбуждения возбудителя и от режима его работы (см. ниже).

Характер зависимости $\frac{dx}{dt} = f(u)$ определяется свойствами регулятора, в частности, формой зубцов зубчатого контактного диска.

Примерная форма кривой зависимости средней скорости изменения x от u для реле СН-91 приведена на рис. 2. Значение $\frac{dx}{dt} = v_0$ соответствует скорости изменения сопротивления в цепи возбуждения при длительном включении сервомотора.

Следует заметить, что при отклонениях напряжения от установленного более чем на 5—8% ($|u| \geq 0,05—0,08$) процесс регулирования перестает описываться системой уравнений (1), так как при этом приходят в действие быстродействующие контакторы IV (рис. 1).

Заменяя в системе (1) действительную кри-

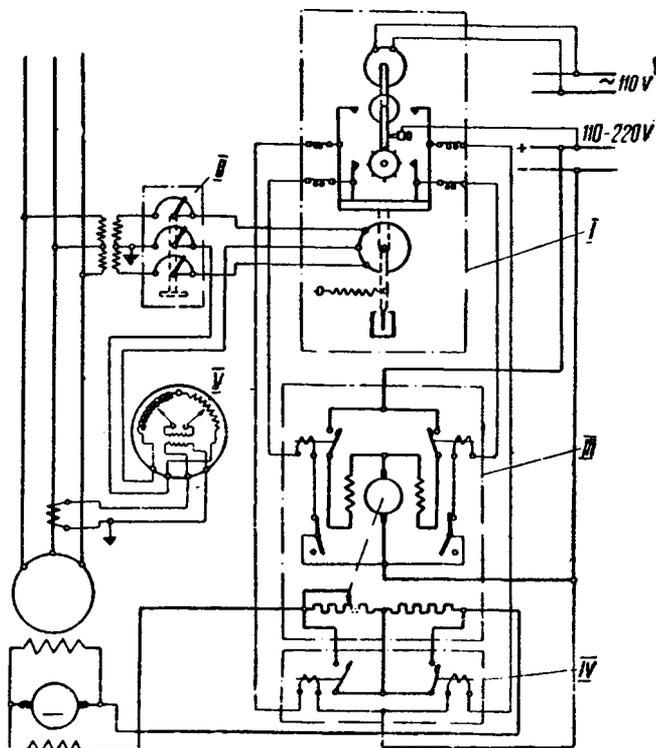


Рис. 1. Принципиальная схема включения реостатно-импульсного автоматического регулятора напряжения ХЭТЗ (тип СН-91).

I — реле напряжения; II — установочный реостат; III — реостат возбуждения; IV — быстродействующие контакторы; V — компенсатор падения напряжения.

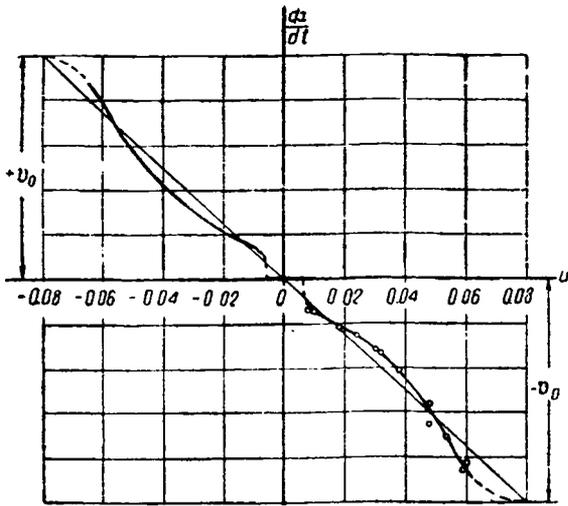


Рис. 2. Зависимость средней скорости изменения сопротивления в цепи возбуждения от величины отклонения напряжения генератора от установленного значения

вую $\frac{dx}{dt} = f(u)$ прямой

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{u}{T_x} \quad (2)$$

получим из системы (1) дифференциальное уравнение для u :

$$[T_u T_e T_x p^2 + (T_u + T_e) T_x p + 1] u = 0,$$

общий интеграл которого имеет вид:

$$u = A e^{\alpha t} + B e^{\beta t} + C e^{\gamma t}. \quad (3)$$

Здесь e — основание натуральных логарифмов; A, B, C — постоянные интегрирования, определяемые начальными условиями; α, β, γ — корни характеристического уравнения.

Среди корней всегда имеется один отрицательный. Ему соответствует апериодически затухающая составляющая u . Характер процесса регулирования зависит от того, какими будут два других корня.

Если

$$\frac{T_x}{\sqrt{T_u T_e}} > \frac{(1+2m)^{\frac{3}{2}}}{m}, \quad (4)$$

где m — параметр, определяемый по отношению $\frac{T_e}{T_u}$ из уравнения:

$$\frac{T_e}{T_u} = \frac{m + 2 \mp \sqrt{m^2 - 4m}}{m + 2 \pm \sqrt{m^2 - 4m}}, \quad (5)$$

то оба эти корня действительные и отрицательные. Этому соответствует апериодическое изменение u при любых начальных условиях.

Если же

$$\frac{(1+2m)^{\frac{3}{2}}}{m} > \frac{T_x}{\sqrt{T_u T_e}} > \frac{\sqrt{T_u T_e}}{T_u + T_e}, \quad (6)$$

корни будут сопряженными комплексами с отрицательной действительной частью. В этом случае величина u будет совершать в процессе регу-

лирования затухающие гармонические колебания на которые в начальной стадии процесса накладывается сравнительно быстро затухающая апериодическая составляющая.

Наконец, если

$$T_x < \frac{T_u T_e}{T_u + T_e},$$

то действительная часть сопряженных комплексных корней положительна и регулятор будет создавать колебания напряжения с возрастающей амплитудой.

На рис. 3 приведены кривые, отделяющие друг от друга области трех возможных режимов апериодического регулирования, затухающих колебаний и расходящихся колебаний. По абсциссе отложено отношение коэффициентов времени возбудителя и генератора $\frac{T_e}{T_u}$, а по ординате — отношение коэффициента времени регулятора T_x к коэффициенту времени генератора T_u . Так как уравнение (3) совершенно симметрично относительно T_u и T_e , то те же кривые дают зависимость $\frac{T_x}{T_e}$ от $\frac{T_u}{T_e}$ при $T_u \leq T_e$. При нечувствительности регулятора очень малой по сравнению с амплитудой первоначального отклонения для достижения возможно малого времени регулирования следовало бы выбирать значение T_x даваемое верхней кривой рис. 3. При этом T_x постоянная времени затухания сама медленно затухающей слагающей u имеет меньшее возможное значение. Выражение в этом случае переходит в

$$u = (A + Bt) e^{-\frac{t}{T_1}} + C e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Зависимость T_1 и T_2 от $\frac{T_e}{T_u}$ видна из рис. 4. Так как на самом деле нечувствительность регулятора (порядка 0,5—1,0%) сравнима по величине с возможной амплитудой первоначального отклонения напряжения, — для получения возможно малого времени регулирования следует выбирать значительно (в 2—3 раза) меньшие значения T_x .

При практическом применении выведенных соотношений следует иметь в виду, что большинство параметров, входящих в приведенные выше формулы, зависит от режима работы. Так, величина T_e , названная выше коэффициентом времени возбудителя и представляющая постоянную времени процесса возбуждения возбудителя при различных значениях (x, θ, ϵ) оказывается различной при разных значениях напряжения возбудителя

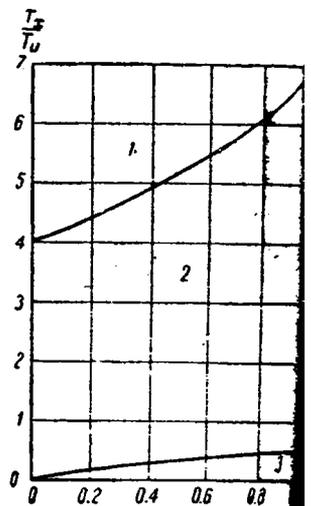


Рис. 3. Границы областей апериодического регулирования, затухающих колебаний напряжения и расходящихся колебаний (неустойчивого регулирования) — 3

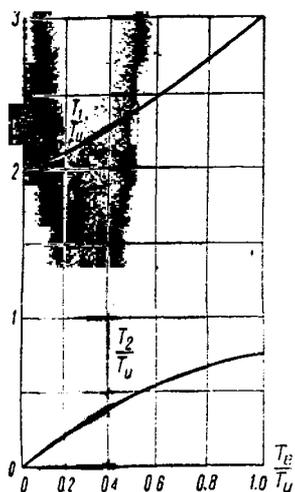


Рис. 4. Зависимость постоянных времени процесса регулирования от отношения $\frac{T_e}{T_u}$ при значении T_x , соответствующем наименьшему возможному времени выравнивания напряжения для нечувствительности регулятора, равной нулю

нако ее нетрудно связать с обычно [5, 6] употребляемой постоянной времени возбудителя T через посредство коэффициента устойчивости s_e [7]. В случае постороннего возбуждения возбудителя

$$T_e = \frac{T}{s_e}, \quad (9a)$$

для возбудителя с самовозбуждением

$$T_e = \frac{T}{s_e - 1}. \quad (9b)$$

Из выражений (9) видно, что с увеличением напряжения на возбудителе, которое связано с увеличением s_e , T_e уменьшается (при независимом возбуждении следует также учитывать, что изменения сопротивления цепи возбуждения сказываются на величине T).

T_u с возрастанием возбуждения генератора несколько уменьшается. Кроме того, на него влияют изменения температуры обмотки ротора генератора. Наибольшее же влияние на T_u оказывают изменения импеданса нагрузки генератора. При переходе от холостого хода генератора (импеданс нагрузки равен бесконечности, $T_u = T_0$) к короткому замыканию или работе непосредственно на шины бесконечной мощности (импеданс нагрузки равен нулю, $T_u = T_d$) T_u уменьшается в 3–9 раз [7].

Наконец, величина T_x может меняться в зависимости от режима в несколько раз. Причинами этого могут быть: неравномерное распределение сопротивлений вдоль контактного ряда, приводящее к зависимости T_x от x , изменение реактанса X связи между шинами регулируемого генератора и системой, изменение мощности системы, изменение насыщения возбудителя или генератора и т. д.

Влияние реактанса X связи генератора с системой ясно из того, что если генератор присоединен непосредственно к шинам бесконечной мощности ($X = 0$), то всякое отклонение напряжения на шинах от нормального будет исправляться регулятором в бесконечно большое время, т. е. в этом случае $T_x = \infty$. Наименьшее значение T_x может быть получено при $X = \infty$, что соответствует изолированно работающему генератору. Уменьшение насыщения магнитных цепей возбудителя и генератора тоже уменьшает T_x .

Поэтому наименьшие значения T_x могут иметь место при холостом ходе генератора до включения его в сеть или при работе на разомкнутую на другом конце линию передачи, если только эти возможности не были учтены при разбивке ступеней реостата. Так как при переходе к этим режимам T_e и T_u , напротив, возрастают, то эти режимы следует считать наиболее опасными в отношении возможности неустойчивого режима регулирования.

В исходной системе уравнений для u , e и x не учтены следующие факторы: неравномерность движения ползунка реостата возбуждения, обусловленная прерывистым включением сервомотора; ступенчатое изменение x при плавном движении ползунка реостата возбуждения, связанное с конструкцией реостата; криволинейность характеристики регулятора $\frac{dx}{dt} = f(u)$; наличие у регулятора нечувствительности конечной величины ($|u| = 0,005 - 0,01$); криволинейность характеристик возбудителя и генератора; отличие динамических характеристик возбудителя и генератора от статических (влияние токов Фуко, токов в демферной обмотке, сопротивления и реакции якоря возбудителя и т. п.); работа быстродействующих контакторов при $|u| > 0,05 - 0,08$.

Поэтому полученные результаты имеют ограниченную область применения, которую можно определить следующим образом.

Амплитуда отклонения напряжения u должна лежать в пределах: $(0,005 - 0,01) < |u| < (0,05 - 0,08)$. При меньших значениях u регулятор не приходит в действие, при больших — процесс осложняется работой быстродействующих контакторов.

Время T_s , потребное для поворачивания зубчатого контактного диска реле СН-91 на один зубец (около 2 sec), должно быть мало по сравнению с суммой коэффициентов времени возбудителя T_e и генератора T_u . Это условие выполняется всегда, за исключением может быть случая работы на мощную сеть генератора небольшой мощности, возбудитель которого имеет независимое возбуждение [7, 8]. Следует заметить, что в гипотетическом случае: $T_s \gg T_e + T_u$, процесс регулирования будет аperiодическим, если $T_x \gg T_s$, а расходящиеся колебания напряжения смогут возникнуть при $T_x < 2T_s$.

Зубцы контактного диска должны иметь такую форму, чтобы характеристика $\frac{dx}{dt} = f(u)$ мало отклонялась от прямой. Это условие в регуляторах производства ХЭТЗ можно считать выполненным (рис. 2). Наличие резкого перелома кривой при $|u| = 0,005 - 0,01$ может оказаться причиной возникновения незатухающих колебаний напряжения с амплитудой, зависящей от выбранного значения T_x . Однако такие колебания невозможны, если при всех значениях u соблюдено условие:

$$-\frac{u}{dx} > \frac{T_u T_e}{T_x + T_e}.$$

Влиянием остальных факторов при практических расчетах можно пренебречь, так как ступенчатые изменения x всегда должны быть меньше

удвоенной нечувствительности регулятора [2, 3], влияние криволинейности характеристик при указанном выше диапазоне u очень мало, и так как, наконец, постоянные времени процессов, вызывающих отличие динамических характеристик от статических, в современных машинах очень малы по сравнению с основными постоянными времени T_u и T_e . Точно так же невелико влияние сопротивления и реакции якоря возбуждателя.

Литература

Новый быстродействующий регулятор напряжения реостатно-вибрационного типа „Вестник электропромышленности“ № 1, 1934, стр. 3—8.

2. Ф. С. Сметанников, Реостатно-импульсный регулятор напряжения для синхронных машин. Диссертация в МЭИ им. Молотова, 1936.

3. E. Santuari, Note sul progetto dei reostati di eccitazione per alternatori di grande potenza, con particolare riguardo loro impiego con regolatori automatici di tensione. L'Energia Elettrica, т. 14, № 5 (май 1937), стр. 432—37.

4. Э. Жюильяр, Автоматическое регулирование электрических машин (перевод с немецкого). ОНТИ, 1933.

5. Рюденберг, Явления неустановившегося режима электрических установках (перевод с немецкого). ГНЭ, 1931.

6. В. С. Кулебакин, Кинетика возбуждения синхронных машин. ОНТИ, 1934.

7. В. С. Кулебакин, Испытание электрических машин и трансформаторов. ОНТИ, 1935.

8. Турбогенераторы. Технический справочник. ВЭО, Энергоиздат, 1933.

Работа притяжения постоянных магнитов

А. И. МОСКВИТИН

ВЭИ

В ПОСЛЕДНЕЕ время, с появлением высококоэрцитивных железо-никель-алюминиевых сплавов, все больше повышается мощность выпускаемых механизмов с постоянными магнитами и все более разнообразными становятся их конструкции. Поэтому приобретают особый интерес вопросы энергетики таких механизмов и обобщающие методы расчета ее, еще недостаточно разработанные. В частности, насколько известно автору, не дано общего решения одного из основных вопросов — о работе притяжения постоянного магнита при любом направлении движения притягиваемого якоря относительно поля¹. Поэтому предлагаемое ниже решение

этой задачи может, мы полагаем, представить некоторый практический и научный интерес.

Рассмотрим сначала наиболее простой случай — определим работу притяжения постоянным магнитом $N-S$ (рис. 1), при отсутствии обмотки, создающей железное добавочное поле, железного якоря из положения

ab в положение $a'b'$, причем путь якоря (благодаря направляющим) может иметь любую произвольную форму. Даны размеры якоря и постоянного магнита, а также известна кривая намагничивания магнита.

Для решения этой задачи предварительно вспомним метод, применяемый в случае электромагнита. В этом случае (рис. 2, а), как известно, электромагнитная энергия при непритянтом состоянии якоря определяется как площадь фигуры oab , ограниченной кривой намагничивания

системы oa , определенной для данного положения якоря, перпендикуляром ab на ось ординат и осью ординат. Пусть за время втягивания сердечника м. д. с. соленоида и поток изменяются по какой-то кривой aa' . Очевидно, за это время произойдет увеличение энергии соленоида, соответствующее площади фигуры $aa'b'b$. После втягивания сердечника кривая намагничивания будет oa' , а следовательно, электромагнитная энергия соленоида при втянутом состоянии сердечника изобразит площадь фигуры $oa'b'$.

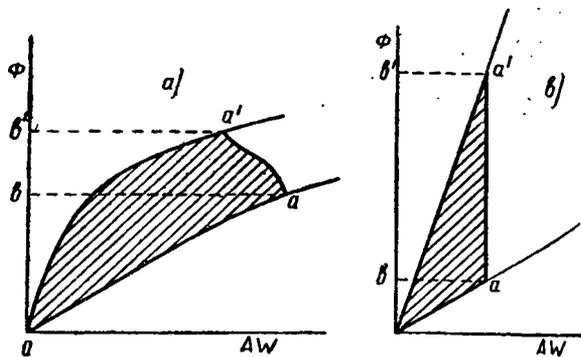


Рис. 2

a — работа притяжения электромагнита в общем случае,
 b — при отсутствии насыщения и при постоянном токе

Если сложить начальную энергию oab с притяжением ее $aa'b'b$ за время процесса и вычитать конечную энергию $oa'b'$, то разность этих значений энергий дает механическую работу притяжения сердечника.

Посмотрим, как этот метод можно видоизменить применительно к нашему случаю постоянного магнита. Сейчас надо будет исходить уже не из кривой намагничивания, а из кривой размагничивания. Такая кривая (рис. 3) показывает за

¹ При движении якоря вдоль поля простое решение дает формула Максвелла.

симость индукции в теле постоянного магнита от напряженности размагничивающего поля.

Рабочую точку o (рис. 3) постоянного магнита при определенной проводимости магнитной цепи можно, как известно, определить пересечением кривой размагничивания с прямой проводимости. Нетрудно видеть, что в этом случае электромагнитная энергия в воздушном зазоре у сердечника выразится как площадь треугольника oab .

Пусть теперь сердечник начнет втягиваться, вследствие чего магнитная проводимость цепи будет возрастать, однако рабочая точка передвигается кверху уже не по кривой размагничивания, а по так называемой прямой возврата aa' . Пусть после втягивания сердечника рабочая точка переместится в точку a' ; очевидно, это будет означать, что за время втягивания электромагнитная энергия получила приращение, соответствующее площади фигуры $aa'b'b$. Если теперь сложить начальную энергию oab с приращением ее $aa'b'b$ и вычесть конечную энергию $oa'b'b'$, то разность этих значений энергий даст механическую работу притяжения сердечника.

Таким образом указанное построение дает простой способ определения механической работы притягивания якоря к постоянному магниту при любом направлении движения якоря. Этим же методом можно решать и обратную задачу — определение размеров и веса постоянного магнита для получения заданной работы втягивания. Остается сказать только несколько слов о практическом применении этого метода и об уточнениях.

Обычно кривая размагничивания представляется в виде зависимости индукции в теле магнита от напряженности размагничивающего поля. Следовательно, во-первых, работа, определенная из этой кривой, будет удельной работой на 1 см^3 постоянного магнита и, во-вторых, для определения угла наклона прямой проводимости следует вводить в расчет не действительную величину проводимости зазора λ , а приведенную

$$\lambda' = \lambda \frac{L}{Q},$$

где L — длина силовой линии магнита, Q — сечение магнита.

Угол наклона прямой проводимости всего проще можно определять вычислением одной точки этой прямой для произвольной напряженности H по уравнению $B = \lambda' H$. λ определяется по картине поля как сумма проводимостей силовых трубок по всему объему поля в зазоре, без умножения этой величины на $0,4\pi$. Надо отметить, что обычно расчет значительно усложняется потоком рассеяния, замыкающимся помимо рабочего зазора, причем индукция потока рассеяния вообще не одинакова по длине магнита. В первом приближении, достаточном для практики, рассеяние можно учесть, прибавив эквивалентную проводимость рассеяния λ_s к проводимости рабочего зазора —

$$\lambda' = (\lambda_p + \lambda_s) \frac{L}{Q}.$$

В виде примера прикинем, какую работу можно получить от 1 kg постоянного магнита при изменении рабочей проводимости от

$\lambda'_p = 0$ до $\lambda'_p = 50$ и при проводимости рассеяния $\lambda'_s = 5$ (примерно максимальные действительные пределы работы). Пусть масштаб по оси абсцисс будет: $1 \text{ см} = 50 \text{ Oe}$ и по оси ординат — $1 \text{ см} = 500 \text{ G}$. Тогда 1 см^3 будет соответствовать $50 \cdot 500 \frac{1}{0,4\pi \cdot 9,81} \cdot 10^{-8} =$

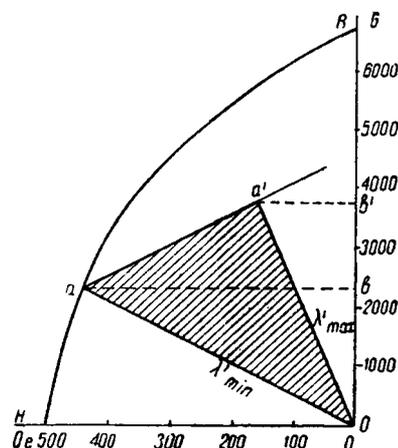


Рис. 3. Определение работы притяжения постоянного магнита

$= 2 \cdot 10^{-5} \text{ kgm}$. Площадь рабочего треугольника в этом случае будет 36 см^2 или работа на 1 см^3 магнита

$$A_1 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 36 = 0,72 \cdot 10^{-3} \text{ kgm}.$$

Работа на 1 kg веса постоянного магнита

$$A = A_1 \frac{1000}{\gamma} = 0,72 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10^3}{7} = 0,1 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}}.$$

Мы предполагали, что магнитная цепь вне магнита не насыщена ($B = \lambda' H$). Учет насыщения этой цепи прост: надо только вместо прямой проводимости построить кривую намагничения данной цепи, пересчитанную аналогично пересчету проводимости в предыдущем случае, т. е. для каждой точки кривой намагничения $\Phi = f(AW)$ следует Φ разделить на Q_m — площадь сечения постоянного магнита, а ампервитки разделить на длину постоянного магнита в см (и помножить на $0,4\pi$).

Работа при наличии обмотки. Практически больший интерес может представить расчет таких механизмов при наличии добавочного поля соленоида. Сюда можно отнести различные конструкции подмагниченных реле (при последовательном включении постоянного магнита в магнитную цепь), вибраторы, молотки и т. п. От чисто соленоидных конструкций без магнитов такие механизмы будут отличаться, во-первых, меньшим потреблением тока (или, что тоже самое, более высоким $\cos \varphi$) и, во-вторых, поляризованностью, что в случае вибраторов и молотков дает снижение частоты ударов вдвое по сравнению с аналогичными конструкциями без магнитов. Как пример можно привести конструкцию молотка или вибратора по рис. 4, *a* на 3000 вибраций в минуту при 50 Hz и молотка или вибратора рис. 4, *b* на 1500 вибраций (по предложениям автора). В этих конструкциях поле в рабочем зазоре образуется уже

не одной м. д. с. магнита, а суммой или разностью м. д. с. катушки и магнита.

Все такие конструкции можно разбить на две принципиально отличающиеся группы: с расположением магнита внутри соленоида (а, рис. 4) и вне его (б, рис. 4). Принципиальное отличие конструкций — различное сцепление потока рассеяния постоянного магнита. В то время как в конструкции а рис. 4 поток рассеяния магнита

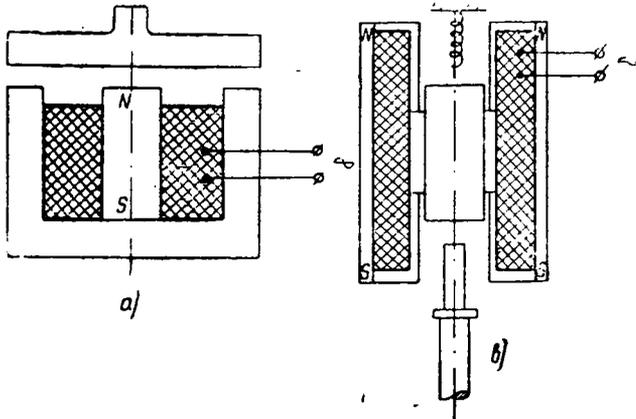


Рис. 4. Молоток (или вибратор) с переменным магнитным потоком постоянных магнитов.

а — конструкция с магнитом внутри соленоида; колебания в одну сторону из положения магнитного равновесия (3000 вибраций при 50 Hz); б — конструкция с магнитом вне соленоида; колебания в обе стороны из положения магнитного равновесия (1500 вибраций при 50 Hz)

обязательно сцеплен с соленоидом (за исключением весьма небольшой внутренней части), в конструкции б существует значительный поток рассеяния постоянного магнита, не сцепленный с соленоидом. Этот поток рассеяния представляет балласт, излишне загружающий магнит, причем, благодаря тому, что поверхность магнита при расположении вне соленоида получается больше, то и рассеяние при таком расположении большое. Следовательно, использование материала постоянного магнита при внешнем расположении магнита ниже, чем при внутреннем. Действие рассеяния в обоих этих случаях учитывается различно.

Мы начнем с более простого случая — внутреннего расположения магнита (с некоторым приближением сюда можно отнести также и второй случай, если пренебречь потоками рассеяния). Очевидно, влияние добавочного поля соленоида можно легко учесть, проведя прямую проводимости уже не из начала координат (рис. 5), а из точки o_1 или o_2 , отстоящей от нее на расстоянии $\pm H_a$, соответствующей напряженности подмагничивающего (o_2) или размагничивающего (o_1) поля соленоида $H_a = \frac{1,25 \cdot AW}{L_m}$. Нижняя точка (т. е. начало прямой возврата) в этом случае определится как пересечение с кривой прямой минимальной проводимости при размагничивающем действии соленоида (точка а).

Работа стягивания сердечника при размагничивании будет соответствовать площади $\Delta o_1 a a_1$, а при подмагничивании — площади $\Delta o_2 c c_1$. Очевидно, этим способом также можно в первом приближении подсчитать работу, выполняемую вибратором или молотком а, рис. 4, при питании его обмотки пе-

ременным током, если заменить действительную кривую тока соленоида эквивалентной прямоугольной кривой.

Нетрудно видеть, что работа такого молотка или вибратора, будет происходить следующим образом: при подмагничивающем направлении тока якорь будет притягиваться, а при размагничивающем — удаляться, причем в конструкции а удаление будет происходить, например, за счет упругости пружины, а в конструкции б — за счет сил инерции. Одна конструкция (рис. 4, а) дает при питании 50-периодным током 3000 ударов в минуту, другая — 1500 ударов. При притяжении якорь будет получать энергию, соответствующую $\Delta o_2 c c_1$, а при удалении терять энергию, соответствующую $\Delta o_1 a a_1$. Разность между работой стягивания и работой удаления, очевидно, даст полезную работу за один период питающего тока, т. е. в случае молотка а — живую силу удара бойка. Учет насыщения железа в этом случае аналогичен рассмотренному выше.

При расположении магнита вне соленоида вводы несколько усложняются. Действительно, в этом случае поток молотка по рис. 6 можно представить как наложение нескольких потоков: 1) рабочего потока Φ_a , обусловленного действием результирующей м. д. с. магнита и соленоида, 2) потока рассеяния магнита Φ_{sm} , не сцепленного с соленоидом, обусловленного действием м. д.

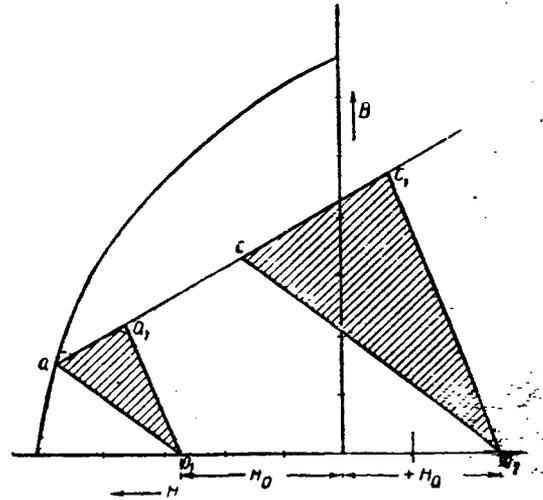


Рис. 5. Определение работы стягивания при подмагничивающем и размагничивающем действии обмотки (конструкция с магнитом внутри соленоида)

магнита, и 3) потока рассеяния соленоида Φ_{sf} , сцепленного с соленоидом и не сцепленного с магнитом, силовая линия которого проходит последовательно по пути рабочего потока и пути рассеяния магнита.

Усложнение здесь получается, во-первых, оттого, что поток рассеяния магнита Φ_{sm} и рабочий поток сцеплены с неодинаковой м. д. с., и во-вторых, оттого, что в отношении потока рассеяния соленоида Φ_{sf} , магнитные сопротивления, соответствующие рабочей проводимости и проводимости рассеяния, включены уже последовательно, а параллельно, как для потока магнита.

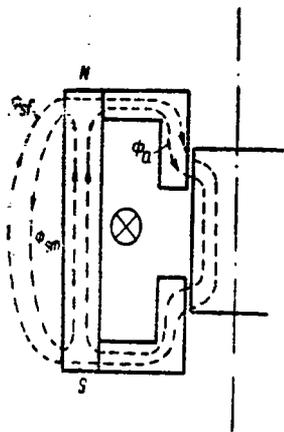


Рис. 6. Потoki при расположении магнита вне соленоида и подмагничивающем направлении тока

Мы начнем с учета потока рассеяния магнита Φ_{sm} . Очевидно, он пропорционален м. д. с. магнита. Следовательно, часть индукции, остающаяся на долю рабочего потока, можно найти, если из кривой размагничивания $B_r H_c$ вычтеть прямую λ_{sm} , т. е. $B_{sm} = \lambda_{sm} H$ (рис. 7). Теперь индукцию рабочего потока Φ_a можно уже определить предыдущим построением (рис. 5), т. е. вычтя или прибавив поле $\pm H_a'$, обусловленное размагничивающим или подмагничивающим полем соленоида, и проведя из точки o_1 прямую $o_1 a$ под углом, соответствующим минимальной рабочей проводимости, и $o_1 a_1$, соответствующую максимальной рабочей проводимости. Однако такое построение энергетического треугольника будет еще неполным, так как еще не учтен поток рассеяния соленоида Φ_{sf} . Этот поток равен м. д. с. соленоида, помноженной на проводимость, соответствующую последовательно включенным рабочему сопротивлению и сопротивлению рассеяния магнита.

При размагничивающем действии соленоида этот поток вычитается в рабочем зазоре из рабочего потока, и поэтому соответствующую индукцию, т. е. отрезок $o_1 o_2$ мы должны будем вычтеть, а при подмагничивающем действии — прибавить. Кроме того, надо учесть, что проводимость для этого потока непостоянна: при непритянтом сердечнике она меньше, чем при втянутом, и соответственно будет изменяться вычитаемая индукция. Последнее обстоятельство мы учтем,

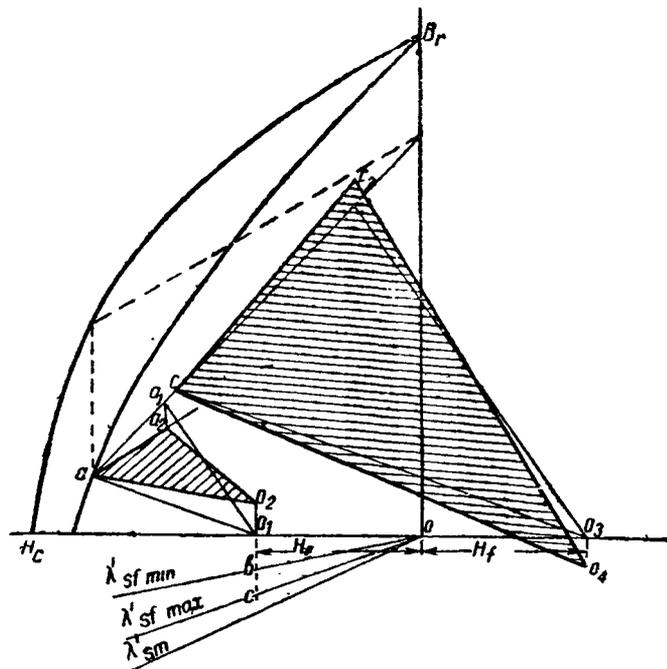


Рис. 7. Определение работы втягивания при подмагничивающем и размагничивающем действии обмотки (конструкция с магнитом вне соленоида)

уменьшив угол наклона прямой возврата (на этом участке) по условию $a_1 a_2 = bc$. В результате мы получаем, наконец, энергетический $\Delta o_1 a a_2$, дающий энергию притяжения при размагничивающем действии соленоида. При подмагничивающем действии соленоида (см. правую часть рис. 7) получим аналогично $\Delta o_1 c c_2$.

Как видим, предлагаемый метод дает возможность определить работу притяжения сердечника при подмагничивающем и размагничивающем действии соленоида, а также и без соленоида, и таким образом позволяет делать расчет таких механизмов при любом направлении хода сердечника.

Об электромеханических расчетах для приводов

С. Н. ВЕШЕНЕВСКИЙ

Электромонтаж

МНОГООБРАЗИЕ условий работы приводов диктует необходимость обобщения расчетных формул и введения ряда понятий и положений. Недостаточная систематизация вопросов динамики привода и недостаточная обобщенность формул затрудняют расчеты. Отсутствие же четких указаний в литературе о знаках моментов и широкое пользование средними значениями моментов двигателя и статического приводят часто к ошибочным или недопустимым по неточности расчетам.

В статье автор предлагает ряд новых понятий, положений и расчетных формул, облегчающих и уточняющих электромеханические расчеты. Некоторые из методов и формул автора уже нашли применение в проектных отделах Электротропа и Электромонтажа.

Свойства и знаки моментов. Динамика привода определяется взаимодействием момента двигателя $M_{дв}$ и статического момента рабочей машины M_c . В зависимости от направлений и величин этих моментов и от начальных условий привод находится в режиме покоя, ускорения, работы при постоянной скорости или замедления. Результирующий момент моментов двигателя и приведенного статического назовем динамическим моментом $M_{дн}$ ¹:

$$M_{дн} = M_{дв} + M_c. \quad (1)$$

В выражении (1) моменты даны как алгебраические величины.

Для вращающегося привода будем считать моменты, направленные согласно вращению, положительными, а направленные встречно — отрицательными (рис. 1). При неподвижном приводе будем выбирать знаки моментов, исходя из тех же положений, но относительно „условного направления вращения“. Условное направление вращения определяется равнодействующим моментом от движущих моментов — момента двигателя и статических моментов от веса и деформаций упругих тел. В случаях, когда нулевая скорость получается в конце движения или как переходная при реверсе, знаки моментов при ней удобно определять как для вращения с бесконечно-малой скоростью.

Перейдем к рассмотрению моментов двигателя, статического и динамического.

Двигательный режим характеризуется тем, что вращение привода происходит по направлению момента двигателя и, следовательно, момент его положителен; при генераторном же режиме (противоток, динамическое торможение, рекуперация) момент двигателя отрицателен.

Под статическим моментом понимаем момент, создаваемый рабочей машиной на валу двигателя. Этот момент может совпадать или быть противоположно направленным вращению привода. По характеру действия удобно разбить статические моменты на две группы: реактивные моменты M_p , потенциальные M_n .

К первой группе относятся моменты от трения, реза и деформации неупругих тел. Они создаются силами реакции, противодействуют вращению и поэтому всегда отрицательны.

В расчетах нас не будут интересовать величины реактивных моментов, меньшие моментов трогания, возникающие как противодействующие движущим моментам в состоянии покоя. При неподвижном приводе мы будем вводить в рассмотрение реактивный момент трогания, а при вращении — реактивный момент вращения.

Ко второй группе относятся моменты от веса и деформации упругих тел. Поднятие или опускание грузов, а также сжатие или растяжение пружин связано с изменением потенциальной энергии привода, а потому и принят термин „потенциальный момент“. Нетрудно убедиться (рис. 2), что если двигатель вращается в сторону, соответствующую увеличению потенциальной энергии привода (подъем груза), потенциальный момент направлен против вращения, т. е. он

отрицателен, в противном случае (опускание груза) он положителен.

В формулах для расчета времени и пути удобнее оперировать с полным статическим моментом

$$M_c = M_p + M_n.$$

Свойство статического момента определяется преобладанием в нем реактивного или потенциального момента. В случае преобладания реактивного момента удобно пользоваться термином „статический момент с реактивной характеристикой“, а в случае преобладания потенциального момента — „статический момент с потенциальной характеристикой“.



Рис. 1

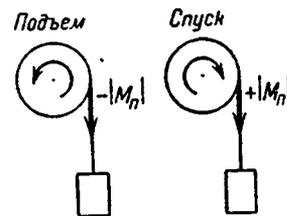


Рис. 2

Наибольшее распространение имеют приводы со статическим моментом чисто реактивным или с реактивной характеристикой, к ним относятся: главные приводы прокатных станов, рольганги, токарные и фрезерные станки, ветроторы и др. Примеры приводов со статическим моментом с потенциальной характеристикой дают крановые устройства, неуравновешенные подъемные столы и др.

Величина и знак динамического момента зависят от составляющих моментов [рав. (1)]:

$$M_{дн} = M_{дв} + M_c = M_{дв} + M_p + M_n.$$

По этой формуле можно определить динамический момент также и в том случае, когда привод неподвижен и результирующий момент от движущих моментов (двигателя и потенциального) меньше реактивного — трогания. В таком случае, поскольку мы рассматриваем M_p как реактивный момент трогания (а не как действительно созданный и результирующий момент от движущих моментов), полный динамический момент является условным.

Признаки режимов привода. Зная моменты, действующие на привод, можно предопределить его режим.

Очевидно, если привод неподвижен и результирующий момент от движущих (двигателя и потенциального) моментов меньше реактивного трогания по абсолютной величине, — привод будет оставаться в покое; в противном случае он будет ускоряться в направлении первого. Выбрав в равенстве (3) знаки моментов M_p и M_n относительно условного направления вращения, получим признаки режимов привода:

$$\left. \begin{aligned} M_{дн} < 0 & \text{ — состояние покоя,} \\ M_{дн} > 0 & \text{ — ускорение.} \end{aligned} \right\}$$

Распространенное представление, что привод будет оставаться в покое, если момент двигателя меньше статического справедливо лишь для частного случая реактивной характеристики статического момента. Очевидно, если статический момент имеет потенциальную характеристику и момент двигателя меньше его, то будет происходить ускорение в сторону статического момента (против или согласно направлению момента двигателя).

Рассмотрим, как можно предопределить режимы привода когда он вращается.

Динамический момент вызывает изменение скорости привода согласно закону:

$$M_{дн} = J \frac{d\omega}{dt}.$$

¹ В теории динамики электропривода дается понятие „момент динамического сопротивления“ для величины $J \frac{d\omega}{dt}$ обратной $M_{дн}$.

Здесь: $M_{\text{дн}}$ — динамический момент в kgm , J — момент инерции привода в kgm sec^2 , ω — угловая скорость в sec^{-1} и t — время в sec .

Из равенства (5) следует:

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{дн}} = 0 & \text{ — постоянная скорость,} \\ M_{\text{дн}} > 0 & \text{ — ускорение,} \\ M_{\text{дн}} < 0 & \text{ — замедление.} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Существующее представление, что при моменте двигателя, большем статического, привод ускоряется, а при меньшем — замедляется, справедливо для вращающегося привода лишь в частных случаях, например: если при свободном опускании груза лебедкой включить двигатель на подъем, то вначале, при моменте двигателя, большем статического, будет иметь место замедление, а не ускорение. Также если двигатель лебедки включен на подъем, но его момент меньше статического от груза, то груз начнет опускаться и привод будет ускоряться, а не замедляться.

Основные формулы для электромеханических расчетов. В преобладающем большинстве случаев электромеханические расчеты ведутся для определения времени и пути привода при заданных конкретных изменениях скорости его в режимах пуска и торможения. Для приводов со сложным режимом работы и с автоматическим управлением электромеханические расчеты проводятся для определения диаграмм работы.

Характеристики изменения момента двигателя и статического момента часто не могут быть выражены математически, и тогда приходится рассматривать отдельные участки работы привода и для них вводить допущения. В практике широко применяется метод замены действительных характеристик моментов обертывающими ступенчатыми характеристиками (метод средних значений моментов). По условиям точности более целесообразна замена характеристик моментов ломаными линиями с прямолинейным изменением момента в функции скорости. Это важно еще и потому, что для ряда практических случаев данные условия имеют место в действительности (пуск шунтовых двигателей постоянного тока и асинхронных с кольцами, режимы динамического торможения двигателей постоянного тока с постоянным полем при постоянном статическом моменте).

Выведем формулы для времени и пути в случае прямолинейного изменения динамического момента в функции скорости.

Выражая в равенстве (5) момент инерции через маховой момент GD^2 (kg m^2) и угловую скорость через обороты в минуты n , найдем, что время, потребное для конечного изменения скорости от n_x до n_y

$$t_{xy} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_x}^{n_y} \frac{dn}{M_{\text{дн}}} \quad (7)$$

Если динамический момент постоянен,

$$t_{xy} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{n_y - n_x}{M_{\text{дн}}} \quad (8)$$

Эта формула отличается от широко применяемой для обертывающих ступенчатых кривых моментов введением алгебраической величины динамического момента вместо арифметических сумм или разностей моментов двигателя и статического для различных частных случаев.

В практике сравнительно редки случаи, когда динамический момент постоянен, хотя бы в небольшом диапазоне изменения скорости. Рассмотрим случай прямолинейного изменения динамического момента. Иллюстрация для такого случая дана на рис. 3, причем моменты двигателя и статического противоположны по направлению, и потому динамический момент определен как разность.

Для этого случая (рис. 3) зависимость $M_{\text{дн}} = f(n)$ будет:

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{дн}x} + \frac{M_{\text{дн}x} - M_{\text{дн}y}}{n_y - n_x} n_x - \frac{M_{\text{дн}x} - M_{\text{дн}y}}{n_y - n_x} n,$$

или, обозначая первые два слагаемые правой части равенства через a и постоянный множитель при n через b ,

$$M_{\text{дн}} = a - bn. \quad (9)$$

Подставив это значение $M_{\text{дн}}$ в равенство (7), найдем:

$$t_{xy} = \frac{GD^2}{163} \cdot \frac{n_y - n_x}{M_{\text{дн}x} - M_{\text{дн}y}} \lg \frac{M_{\text{дн}x}}{M_{\text{дн}y}} \quad (10)$$

Когда динамический момент постоянен ($M_{\text{дн}x} = M_{\text{дн}y}$), получается неопределенность, так как в этом частном случае $b = 0$, и при решении интеграла мы получим не логарифмическую зависимость, а соотношение (8).

При больших значениях динамического момента и небольшом его изменении можно для практических расчетов вместо формулы (10) пользоваться формулой (8), принимая

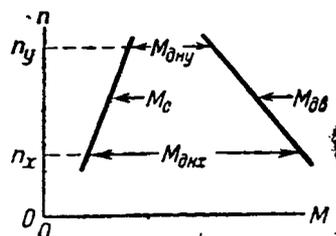


Рис. 3

среднее арифметическое значение момента. Если же динамический момент сильно изменяется и к концу рассматриваемого интервала становится мал, то, рассчитывая время по среднему арифметическому значению динамического момента, мы получим значительную ошибку. Например, в частном случае $M_{\text{дн}y} = 0$ по формуле (8) время изменения скорости от n_x до n_y получится конечным и может быть даже очень небольшим, тогда как теоретически скорость n_y будет достигнута через бесконечно большое время, что и получается по формуле (10).

Из (5) следует, что совершенное двигателем число оборотов при изменении скорости от n_x до n_y будет:

$$S_{xy} = \frac{GD^2}{22500} \int_{n_x}^{n_y} \frac{ndn}{M_{\text{дн}}} \quad (11)$$

Если динамический момент постоянен,

$$S_{xy} = \frac{GD^2}{45000} \cdot \frac{n_y^2 - n_x^2}{M_{\text{дн}}} \quad (12)$$

Естественно, если известно время изменения скорости, путь двигателя в оборотах проще определять как произведение среднеарифметической скорости и времени.

Когда динамический момент изменяется в функции скорости по прямолинейному закону [формула (9)],

$$S_{xy} = \frac{GD^2 c}{22500} \left[(cM_{\text{дн}x} + n_x) 2,3 \lg \frac{M_{\text{дн}x}}{M_{\text{дн}y}} - (n_y - n_x) \right], \quad (13)$$

где

$$c = \frac{n_y - n_x}{M_{\text{дн}x} - M_{\text{дн}y}}.$$

Формула (13) хотя и несколько сложна, однако она дает точные результаты и удобна в тех случаях, когда требуется определить путь двигателя за определенный интервал изменения скорости, например полный путь при динамическом торможении двигателей постоянного тока, или путь ускорения до естественной характеристики шунтовых двигателей постоянного тока и асинхронных с кольцами и т. д.

В случае расчета и построения диаграмм путь двигателя в оборотах часто бывает удобнее определять планиметрированием площади кривой $n = f(t)$.

Заметим, что во всех выведенных формулах времени и пути динамические моменты представляют собой алгебраические величины, а скорости — арифметические.

Выведенные нами формулы справедливы для любых режимов двигателя.

Часто при расчетах и построениях характеристик двигателей оперируют с процентными значениями. При пользовании процентными значениями $n_x^{\%}$, $n_y^{\%}$, $M_{\text{дн}x}^{\%}$, $M_{\text{дн}y}^{\%}$, правые части формул времени (8) и (10) должны быть ум-

ножены на $\frac{n_n}{M_n}$, а правые части формул (12) и (13) — на $\frac{n_n^2}{100M_n}$. Здесь M_n — номинальный момент двигателя, а n_n — номинальная скорость в случае серийных и компаундных двигателей или скорость идеального холостого хода, или синхронная для шунтовых двигателей постоянного тока и асинхронных.

Некоторые практические выводы. В случаях динамического торможения двумя ступенями возникает вопрос, при какой скорости нужно производить ступенчатое уменьшение сопротивления, чтобы получить минимальное время или минимальный путь замедления привода. Этот вопрос может быть легко решен, если воспользоваться выведенными нами выше формулами.

Рассмотрим наиболее распространенный случай: динамическое торможение с независимым возбуждением нерегулируемых шунтовых двигателей, серийных и компаундных двигателей при постоянном статическом моменте M_c . Для указанного случая на рис. 4 приведены характеристики двигателя $M_{\partial\partial} = f(n)$ с начальной скоростью n_1 и пиком момента M_1 и со скоростью ступенчатого уменьшения сопротивления n_2 с пиком момента при ней M_2 .

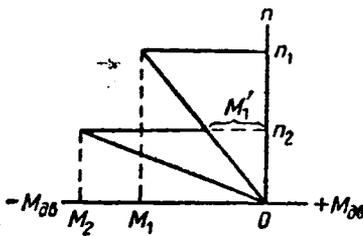


Рис. 4

На основании формулы (10) полное время замедления привода от скорости n_1 до остановки получится:

$$t_{n_1-0} = t_{n_1-n_2} + t_{n_2-0} = \left[\frac{GD^2}{163} \cdot \frac{n_2 - n_1}{M_1 - M'_1} \lg \frac{M_1 + M_c}{M'_1 + M_c} \right] + \left[\frac{GD^2}{163} \cdot \frac{0 - n_2}{M_2 - 0} \lg \frac{M_2 + M_c}{0 + M_c} \right]. \quad (14)$$

Выразим M'_1 через n_2 :

$$\frac{M'_1}{M_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

откуда

$$M'_1 = M_1 \frac{n_2}{n_1}.$$

Подставляя значение M'_1 в равенство (14), дифференцируя и приравнявая первую производную нулю, после преобразований получим скорость

$$n_2 = n_1 \left(\frac{1}{2,3 \frac{M_1}{M_2} \lg \frac{M_2 + M_c}{M_c}} - \frac{M_c}{M_1} \right),$$

при которой ступенчатое уменьшение сопротивления динамического торможения обуславливает минимальное время замедления.

В формуле (15) моменты M_1 и M_2 считаем известными из условий коммутации или механических условий.

Для некоторых приводов может потребоваться не минимальное время замедления, а минимальный путь. Полный путь замедления от скорости n_1 до остановки (рис. 4) определяется:

$$S_{n_1-0} = S_{n_1-n_2} + S_{n_2-0}.$$

Заменяя $S_{n_1-n_2}$ и S_{n_2-0} через выражения по формуле (13), дифференцируя и приравнявая производную к нулю, получим скорость

$$n_2 = n_1 \left[\frac{0,5}{\frac{M_1}{M_2} \left(1 - 2,3 \frac{M_c}{M_2} \lg \frac{M_2 + M_c}{M_c} \right)} - \frac{M_c}{M_1} \right],$$

при которой ступенчатое уменьшение сопротивления динамического торможения обуславливает минимальный путь замедления.

Формулы (15) и (16) позволяют констатировать, что время ступенчатого уменьшения сопротивления не зависит от махового момента привода, а лишь от отношения статического момента к пикам момента двигателя; кроме того очевидно, что минимальные время и путь замедления получаются не при одной и той же скорости n_2 .

Для большинства практических случаев, когда статический момент составляет $0,1 \div 0,5$ пиков момента двигателя, $M_c = M_2$, скорость ступенчатого уменьшения сопротивления соответствующая минимальному времени замедления, получается $n_2 = 0,3 \div 0,45$ от n_1 , а минимальному пути — $n_2 = 0,5 - 0,65$ от n_1 ; при этом меньшие скорости соответствуют меньшим статическим моментам.

Определение гармоник тока и напряжения в электрических цепях, содержащих железо

Л. С. ГОЛЬДФАРБ, Г. Р. ГЕРЦЕНБЕРГ

ВЭИ

МАГНИТНЫЕ усилители, позволяющие получать большие усиления напряжения и мощности без использования подвижных элементов и электронных ламп, основаны на свойствах нелинейности кривой намагничивания железа, поэтому требуют особой методики расчета. То же в равной степени относится к расчету дросселей насыщения, используемых, в частности, для регулирования освещения, к расчету статических умножителей частоты, трансформаторов с подмагничиванием и ряда других аппаратов, связанных с использованием насыщенного железа.

Настоящая статья посвящена двум аналитическим методам определения амплитуд отдельных гармоник напряжения, возникающих на клеммах дросселя с железом при прохождении через него синусоидального тока, а также амплитуд отдельных гармоник тока при синусоидальном напряжении, приложенном к дросселю при наличии как в первом, так

и во втором случаях подмагничивания постоянным током. Определение амплитуд отдельных гармоник дает возможность найти также эффективные значения напряжения в первом случае и тока — во втором.

Методика определения гармоник тока при синусоидальном напряжении, приложенном к дросселю с железом, достаточно подробно разработана в литературе, тогда как способ определения гармоник напряжения на дросселе при прохождении через него синусоидального тока слабо освещен в литературе, в частности и в нашей.

Аналитический метод определения амплитуд отдельных гармоник тока дросселя при синусоидальном напряжении и наличии подмагничивания постоянным током, использующий разложение кривой намагничивания в степенный ряд, здесь не приводится. Он достаточно освещен в литературе [1, 2, 3].

Определение амплитуд гармоник напряжения на клеммах дросселя при прохождении через него синусоидального тока и наличии подмагничивания постоянным током. Обычно в практических случаях дроссель работает в области aw , превышающих значение, соответствующее максимальной магнитной проницаемости. В этом случае выражение $B = f(aw)$, представленное в виде степенного ряда, не может дать хорошего совпадения на большом участке с действительной кривой намагничивания. Поэтому обычно кривую намагничивания, без учета петли гистерезиса, выражают (до Dreyfus) в виде:

$$B = b \operatorname{arctg} a aw + a \cdot aw. \quad (1)$$

При прохождении через дроссель синусоидального тока и подмагничивании постоянным током суммарные ампервитки на сантиметр будут:

$$aw = aw_m \sin \omega t + aw_g, \quad (2)$$

где aw_m — амплитуда ампервитков на сантиметр при переменном токе; aw_g — то же при постоянном токе.

Пренебрегая рассеянием и омическим сопротивлением обмотки, получим следующее значение для мгновенного значения напряжения на клеммах дросселя:

$$u = wQ \frac{dB}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ В}, \quad (3)$$

где Q — активное сечение железа; w — число витков дросселя.

Подставляя в уравнение (3) значения B из (1) и aw из (2) и дифференцируя, получим:

$$u = Qw\omega b \cdot 10^{-8} \left[\frac{a}{b} aw_m \cos \omega t + \frac{aw'_m \cos \omega t}{1 + (aw'_g + aw'_m \sin \omega t)^2} \right], \quad (4)$$

где ω — угловая скорость; $aw'_m = a \cdot aw_m$, $aw'_g = a \cdot aw_g$.

Видно из (4), напряжение на дросселе будет равно сумме двух напряжений — одного, изменяющегося по закону косинуса, и другого — по сложной кривой. Определение гармоник напряжения сводится к разложению слагаемого

$$A = \frac{aw'_m \cos \omega t}{1 + (aw'_g + aw'_m \sin \omega t)^2}. \quad (5)$$

Это разложение в ряд Фурье может быть написано¹ в виде:

$$A = -2\rho \sin \phi \cos \omega t - 2\rho^2 \sin 2\phi \sin 2\omega t + 2\rho^3 \sin 3\phi \cos 3\omega t + 2\rho^4 \sin 4\phi \sin 4\omega t - \dots, \quad (6)$$

где ρ и ϕ определяются из следующих соотношений:

$$\frac{-2\rho}{1-\rho^2} \cdot \frac{1}{\sin \phi} = aw'_m; \quad \frac{1+\rho^2}{1-\rho^2} \operatorname{ctg} \phi = aw'_g. \quad (7)$$

Для нахождения амплитуд гармоник, за исключением первой, необходимо, согласно (4) значения коэффициентов отдельных гармоник в выражении (6) умножить на $Qw\omega b \cdot 10^{-8}$.

Значение коэффициента при первой гармонике напряжения определится как сумма коэффициента при первой гармонике ряда (6) и величины $\frac{a}{b} aw_m$, умноженной на $Qw\omega b \cdot 10^{-8}$.

Из формул (6) и (7) следует, что при перемене знака подмагничивания изменяется фаза на 180° лишь четных гармоник. При $aw_g = 0$ $\phi = 90^\circ$ и поэтому согласно уравнению (6) четные гармоники будут отсутствовать.

Пользуясь приведенным выше методом, возможно непосредственно найти эффективное значение напряжения на дросселе. Первое слагаемое в скобках формулы (4) обычно составляет лишь несколько процентов от второго. Таким образом вопрос о вычислении эффективного значения напряжения практически сводится к определению средней квадратичной второго слагаемого. Приводим окончательный результат вычисления.

$$A_{\text{эфф}}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{aw_m^2 \cos^2 \omega t d(\omega t)}{[1 + (aw'_g + aw'_m \sin \omega t)^2]^2} = \frac{2\rho^2 (1 + \rho^2) \sin^2 \phi}{(1 - \rho^2)^2 [(1 - \rho^2)^2 + 4\rho^2 \sin^2 \phi]}. \quad (8)$$

¹ См. приложения.

Определение амплитуд гармоник тока и напряжения методом, использующим бесселевы функции. Рассмотрим метод, одинаково пригодный как для определения амплитуд отдельных гармоник напряжения при синусоидальном токе, проходящем через дроссель, так и при определении амплитуд отдельных гармоник тока при синусоидальном напряжении на дросселе.

Рассмотрим сначала случай синусоидального тока, проходящего через дроссель. При этом:

$$aw = aw_m \sin \omega t + aw_g. \quad (9)$$

Кривую намагничивания выразим в виде гармонического ряда (рис. 1)

$$B = \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \sin (2n-1) \frac{aw}{aw_0}. \quad (10)$$

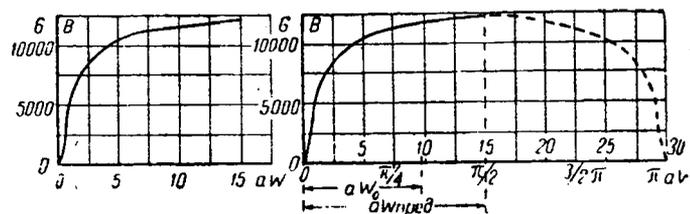


Рис. 1

Уравнение (10) совпадает с кривой намагничивания лишь в пределах изменения aw от $-\frac{\pi aw_0}{2}$ до $+\frac{\pi aw_0}{2}$, где aw_0 —

произвольно выбранное значение ампервитков на сантиметр, соответствующее одному радиану. Форма кривой намагничивания предопределяет отсутствие в уравнении (10) членов с косинусами и четными синусами. Коэффициенты a_{2n-1} могут быть найдены при помощи одного из известных способов разложения кривой в гармонический ряд. Они, коэффициенты, будут зависеть от формы кривой и от пределов разложения, т. е. величины aw_0 . Если пренебречь омическим сопротивлением дросселя, его рассеянием и потерями на гистерезис, то напряжение на зажимах дросселя определяется уравнением (3).

Подставив в (3) значение B из (10) и обозначив:

$$\frac{aw_m}{aw_0} = A_i \text{ и } \frac{aw_g}{aw_0} = B_i,$$

после дифференцирования получим:

$$u = A_i w Q \omega \cdot 10^{-8} \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} (2n-1) \cos \omega t \times \cos [(2n-1)(A_i \sin \omega t + B_i)]. \quad (11)$$

В результате разложения¹ уравнения (11) в ряд Фурье имеем:

$$u = \sum_{k=1}^{\infty} a_{2k-1} \cos (2k-1) \omega t - \sum_{k=1}^{\infty} \beta_{2k} \sin 2k\omega t, \quad (12)$$

где

$$a_{2k-1} = 2wQ\omega \cdot 10^{-8} (2k-1) \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \cos (2n-1) B_i \times J_{2k-1} (2n-1) A_i; \quad (13)$$

$$\beta_{2k} = 2wQ\omega \cdot 10^{-8} \cdot 2k \sum_{n=1}^{\infty} a_{2n-1} \sin (2n-1) B_i \times J_{2k} (2n-1) A_i. \quad (14)$$

$J_k(A)$ — бесселева функция k -го порядка от A ; n — индекс разложения кривой намагничивания.

При отсутствии подмагничивания ($B_i = 0$) четные гармоники пропадают. Коэффициенты при четных гармониках β_{2k} являются нечетными функциями B_i , поэтому фаза четных

гармоник изменяется на обратную при изменении знака подмагничивания.

В случае, когда к дросселю приложено синусоидальное напряжение, кривую намагничивания выражаем в виде гармонического ряда (рис. 2,):

$$aw = \sum_{n=1}^n b_{2n-1} \sin(2n-1) \frac{B}{B_0}. \quad (15)$$

Уравнение (15) совпадает с кривой намагничивания в пределах изменения B от $+\frac{\pi B_0}{2}$ до $-\frac{\pi B_0}{2}$, где B_0 — произвольно выбранное значение индукции, соответствующее одному радиану.

Если, как и раньше, пренебречь омическим сопротивлением дросселя, рассеянием и петлей гистерезиса, то индукция в сердечнике при синусоидальном напряжении

$$B = B_m \cos \omega t + B_{cp}, \quad (16)$$

где

$$B_m = \frac{u_m}{\omega Q \omega} \cdot 10^8,$$

B_{cp} — постоянная интегрирования, определяемая из условия, что среднее значение тока в обмотке переменного тока за период должно быть равно нулю.

Подставляя значение B из (16) в (15) и обозначая:

$$A_u = \frac{B_m}{B_0} \quad \text{и} \quad B_u = \frac{B_{cp}}{B_0},$$

получим:

$$aw = aw_v + aw_g = \sum_{n=1}^n b_{2n-1} \{ \cos(2n-1) B_u \times \\ \times \sin[(2n-1) A_u \cos \omega t] + \\ + \sin(2n-1) B_u \cos[(2n-1) A_u \cos \omega t] \}, \quad (17)$$

где aw_g — постоянная составляющая ампервитков; aw_v — переменная.

Сделав преобразования и определив переменную и постоянную составляющие ампервитков на сантиметр, получим:

$$aw_v = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k-1} \gamma_{2k-1} \cos(2k-1) \omega t + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \delta_{2k} \cos 2k \omega t; \quad (18)$$

где

$$\gamma_{2k-1} = 2 \sum_{n=1}^n b_{2n-1} \cdot \cos(2n-1) B_u \cdot J_{2k-1}(2n-1) A_u, \quad (19)$$

$$\delta_{2k} = 2 \sum_{n=1}^n b_{2n-1} \cdot \sin(2n-1) B_u \cdot J_{2k}(2n-1) A_u. \quad (20)$$

Постоянная составляющая

$$aw_g = \sum_{n=1}^n b_{2n-1} \cdot \sin(2n-1) B_u \cdot J_0(2n-1) A_u. \quad (21)$$

Уравнение (21) позволяет определить значение B_{cp} при данных aw_g и B_m .

В отсутствии переменного тока, т. е. когда $A_u = 0$, коэффициенты γ_{2n-1} и δ_{2k} будут равны нулю, так как $J_k(0) = 0$ для $k > 0$, где k — целое число. При этом:

$$aw = aw_g = \sum_{n=1}^n b_{2n-1} \cdot \sin(2n-1) B_u \cdot J_0(0) = \\ = \sum_{n=1}^n b_{2n-1} \cdot \sin(2n-1) B_u, \quad (22)$$

так как $J_0(0) = 1$.

Сравнивая (22) с (15), видим, что индукция B , как и следовало ожидать, в отсутствии переменного тока будет

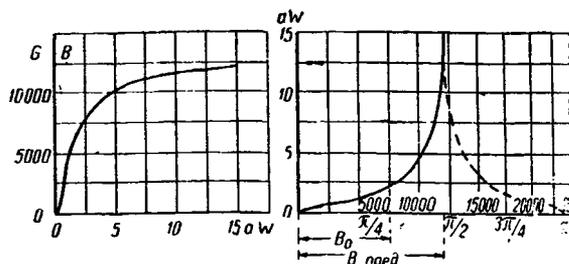


Рис. 2

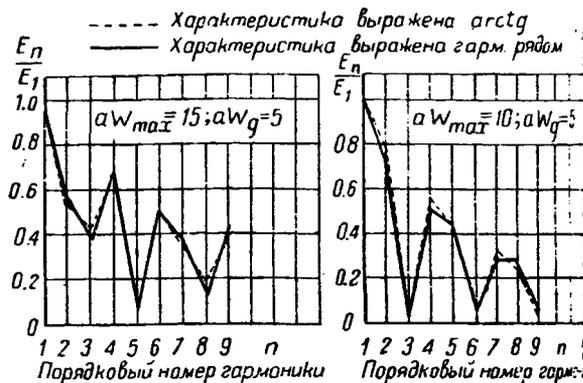


Рис. 3

определяться кривой намагничивания для постоянного тока. В виде примера было определено обоними методами отношение амплитуд гармоник напряжения до девятой включительно к амплитуде основной гармоники при прохождении через дроссель синусоидального тока и наличии подмагничивания.

Положенная в основу расчета кривая намагничивания может быть выражена эмпирической формулой:

$$B = 100aw + 8300 \operatorname{arctg} \frac{aw}{1,6}.$$

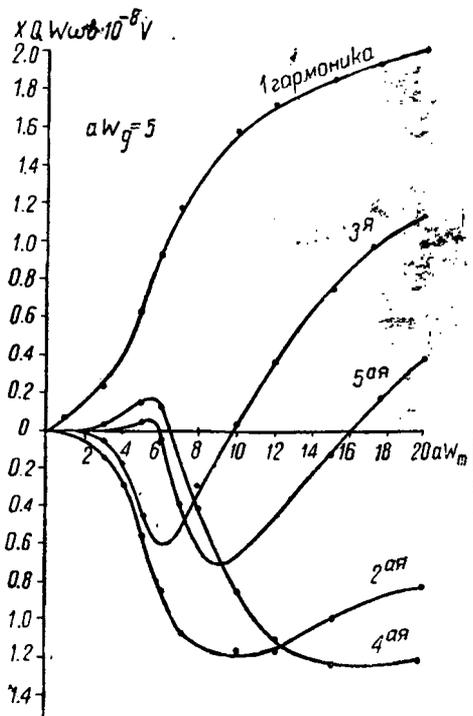


Рис. 4. Отрицательные значения амплитуд соответствуют изменению фазы на 180°

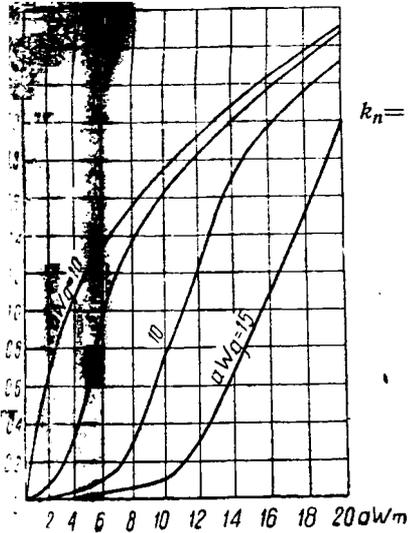


Рис. 5

Эта же кривая может быть представлена рядом:

$$B = 10^8 \left(16,6 \sin \frac{a\omega}{a\omega_0} + 3,45 \sin 3 \frac{a\omega}{a\omega_0} + 1,76 \sin 5 \frac{a\omega}{a\omega_0} + \sin 7 \frac{a\omega}{a\omega_0} + 0,71 \sin 9 \frac{a\omega}{a\omega_0} + 0,48 \sin 11 \frac{a\omega}{a\omega_0} \right). \quad (24)$$

Ряд (24) справедлив до $a\omega = 20$ ($a\omega_0 = 12,8$). Амплитуды отдельных гармоник напряжения найдены для двух случаев: 1) $a\omega_g = 15$, $a\omega_m = 5$; 2) $a\omega_m = 10$, $a\omega_g = 5$. На рис. 3 показаны результаты вычислений отношения амплитуд гармоник к амплитуде основной.

Пунктиром показаны результаты, полученные при вычислениях по первому методу [использовано уравнение (6)], сплошной кривой даны результаты, вычисленные с помощью бесселевых функций.

Как видно, результаты, полученные обоими методами, хорошо совпадают.

В заключение приведены кривые (рис. 4 и 5) изменения амплитуд отдельных гармоник напряжения в зависимости от степени намагничивания синусоидальным током для одного значения $a\omega_g$. Кроме того, приведены кривые $u_{эфф} = f(a\omega_m, a\omega_g)$ (рис. 5). Кривые вычислены по первому методу с помощью уравнений (8) и (7).

Приложение I. Разложение величины

$$A = \frac{a\omega_m \cos}{1 + (a\omega_g' + a\omega_m' \sin \omega t)^2} \text{ в ряд Фурье.}$$

$$A = a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + a_3 \cos 3\omega t + \dots + b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + b_3 \sin 3\omega t + \dots \quad (1)$$

$$a_n = \frac{a\omega_m'}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \omega t \cdot \cos n\omega t \cdot d(\omega t)}{1 + (a\omega_g' + a\omega_m' \sin \omega t)^2} \quad (2)$$

$$b_n = \frac{a\omega_m'}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \omega t \cdot \sin \omega t \cdot d(\omega t)}{1 + (a\omega_g' + a\omega_m' \sin \omega t)^2}$$

Для упрощения вычисления интегралов (2) будем искать сумму

$$k_n = a_n + jb_n; \quad (3)$$

$$k_n = \frac{a\omega_m'}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\cos \omega t (\cos n\omega t + j \sin n\omega t) d(\omega t)}{1 + (a\omega_g' + a\omega_m' \sin \omega t)^2} \quad (4)$$

Пользуясь формулами Эйлера и подстановкой $e^{j\omega t} = Z$ (5), переходим в область комплексного переменного (4). После некоторых преобразований искомым интеграл превращается в интеграл, взятый по кругу единичного радиуса:

$$k_n = -\frac{4}{a\omega_m'} \cdot \frac{1}{2\pi j} \oint \frac{(Z^2 + 1) Z^n dZ}{\left[Z^2 + \frac{2}{a\omega_m'} (j a\omega_g' + 1) Z - 1 \right] \left[Z^2 + \frac{2}{a\omega_m'} (j a\omega_g' - 1) Z - 1 \right]}. \quad (6)$$

Знаменатель подинтегрального выражения имеет четыре комплексных корня:

$$Z_1 = je; \quad Z_2 = je^{-1}; \quad Z_3 = j\bar{e}; \quad Z_4 = j\bar{e}^{-1}, \quad (7)$$

где e и e^{-1} являются соответственно сопряженными комплексными с \bar{e} и \bar{e}^{-1} .

Следовательно, выражение (6) преобразуется в

$$k_n = -\frac{4}{a\omega_m'} \times \frac{1}{2\pi j} \oint \frac{(Z^2 + 1) Z^n dZ}{(Z - je)(Z - je^{-1})(Z - j\bar{e})(Z - j\bar{e}^{-1})}. \quad (8)$$

Так как корни уравнения $Z^2 + \frac{2}{a\omega_m'} (j a\omega_g' + 1) Z - 1 = 0$ были обозначены как $Z_1 = je$ и $Z_2 = je^{-1}$, должно существовать равенство:

$$\frac{2}{a\omega_m'} (j a\omega_g' + 1) = -(je + je^{-1}). \quad (9)$$

Из (9) можно заключить, что при всех возможных значениях $a\omega_m'$ и $a\omega_g'$, e по абсолютному значению будет меньше единицы. Отсюда следует, что точки, соответствующие корням e и \bar{e} , лежат внутри круга единичного радиуса, а точки, соответствующие корням e^{-1} и \bar{e}^{-1} , вне его.

Разбивая дробь, находящуюся под знаком интеграла в уравнении (8) на сумму двух дробей и определяя обычным способом коэффициенты, получаем:

$$k_n = -\frac{4}{a\omega_m'} \left[\frac{e\bar{e}}{e\bar{e} - 1} \cdot \frac{1}{2\pi j} \oint \frac{Z^n dZ}{(Z - je)(Z - j\bar{e})} - \frac{1}{e\bar{e} - 1} \cdot \frac{1}{2\pi j} \oint \frac{Z^n dZ}{(Z - je^{-1})(Z - j\bar{e}^{-1})} \right]. \quad (10)$$

Второй интеграл в выражении (10) равен нулю, так как корни e^{-1} и \bar{e}^{-1} лежат вне круга единичного радиуса.

Первый же интеграл равен сумме вычетов, соответствующих корням $Z = je$ и $Z = j\bar{e}$ (5),

$$\frac{1}{2\pi j} \oint \frac{Z^n dZ}{(Z - je)(Z - j\bar{e})} = \text{выч.}_{Z=je} + \text{выч.}_{Z=j\bar{e}} = j^{n-1} \frac{e^n - \bar{e}^n}{e - \bar{e}}. \quad (11)$$

Обозначим:

$$e = \rho e^{j\psi}. \quad (12)$$

После подстановки (12) в (9) и ряда преобразований, получим уравнения:

$$\left. \begin{aligned} a\omega_m' &= -\frac{2\rho}{1 - \rho^2} \cdot \frac{1}{\sin \psi}, \\ a\omega_g' &= \frac{1 + \rho^2}{1 - \rho^2} \text{ctg } \psi. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Решая (13) относительно ρ и $\sin \psi$, получим:

$$\left. \begin{aligned} \sin \psi &= \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\eta + \sqrt{\eta^2 + \frac{4}{a\omega_m'^2}}}, \\ \rho &= \frac{1}{a\omega_m' \sin \psi} \left[1 - \sqrt{1 + a\omega_m'^2 \sin^2 \psi} \right], \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где

$$\eta = 1 - \frac{a\omega_g'^2}{a\omega_m'^2} - \frac{1}{a\omega_m'^2}.$$

Знак (+) в формуле (14) берется при положительном значении $a\omega_g$, знак (-) при отрицательном значении. Учитывая уравнения (11), (12) и (13), получаем из (10)

$$k_n = -2\rho^n \sin n\psi \cdot j^{n-1}. \quad (15)$$

Что, согласно уравнению (3), равно $a_n + j b_n$. Выделяя действительную и мнимую части из k_n , получим:

$$\left. \begin{aligned} a_{2n-1} &= -(-1)^{n-1} 2\rho^{2n-1} \sin(2n-1)\psi, \\ b_{2n} &= -(-1)^{n-1} 2\rho^{2n} \sin 2n\psi. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Следовательно, уравнение (1) будет иметь следующий вид:

$$A = -2\rho \sin \psi \cdot \cos \omega t - 2\rho^2 \sin 2\psi \sin 2\omega t + 2\rho^3 \sin 3\psi \cdot \cos 3\omega t + 2\rho^4 \sin 4\psi \sin 4\omega t - \dots \quad (17)$$

Приложение II. Разложение величины

$$u = A_i \omega Q \omega 10^{-8} \sum_{n=1}^n a_{2n-1} (2n-1) \cos \omega t \times \times \cos [(2n-1) A_i \sin \omega t + B_i] \quad (1)$$

в ряд Фурье.

Заменяя косинус суммы разностью произведения косинусов и произведения синусов и разлагая выражения $\cos [(2n-1) A_i \sin \omega t]$ и $\sin [(2n-1) A_i \sin \omega t]$

в ряды по бесселевым функциям возрастающего порядка, согласно теореме Неймана (7), получим:

$$\begin{aligned} \cos [(2n-1) A_i \sin \omega t] &= \\ &= J_0(2n-1) A_i + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k}(2n-1) A_i \cdot \cos 2k\omega t, \\ \sin [(2n-1) A_i \sin \omega t] &= \\ &= 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_{2k-1}(2n-1) A_i \cdot \sin (2k-1) \omega t, \end{aligned} \quad (2)$$

где $J_k(A)$ бесселева функция k -го порядка от A . После подстановки этих выражений в (1) и некоторых преобразований найдем:

$$u = A_i \omega Q \omega \cdot 10^{-8} \sum_{n=1}^n a_{2n-1} (2n-1) \left\{ \cos(2n-1) B_i \times \times \sum_{k=1}^{\infty} [J_{2(k-1)}(2n-1) A_i + J_{2k}(2n-1) A_i] \cos(2k-1) \omega t - \right.$$

$$\left. - \sin(2n-1) B_i \cdot \sum_{k=1}^{\infty} [J_{2k-1}(2n-1) A_i + + J_{2k+1}(2n-1) A_i] \sin 2k\omega t \right\}.$$

Пользуясь рекуррентными формулами:

$$J_{2(k-1)}(2n-1) A_i + + J_{2k}(2n-1) A_i = \frac{2(2k-1) \cdot J_{2k-1}(2n-1) A_i}{(2n-1) A_i}$$

$$J_{2k-1}(2n-1) A_i + J_{2k+1}(2n-1) A_i = \frac{2 \cdot 2k \cdot J_{2k}(2n-1) A_i}{(2n-1) A_i}$$

после подстановки (4) в (3) и сокращения на A_i окончательно получим:

$$u = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_{2k-1} \cos(2k-1) \omega t - \sum_{k=1}^{\infty} \beta_{2k} \sin 2k\omega t,$$

где:

$$\alpha_{2k-1} = 2\omega Q \omega 10^{-8} (2k-1) \sum_{n=1}^n a_{2n-1} \cos(2n-1) B_i \times \times J_{2k-1}(2n-1) A_i,$$

$$\beta_{2k} = 2\omega Q \omega 10^{-8} \cdot 2k \sum_{n=1}^n a_{2n-1} \sin(2n-1) B_i \cdot J_{2k}(2n-1) A_i$$

а n — индекс разложения кривой намагничивания в ряд Фурье.

Литература

1. "Электричество" № 19, 1935, стр. 47—50.
2. Schupk, A. f. E. V. 12, S. 428, 1923.
3. Достижения в области рентгенотехники № 3, стр. 1—12.
4. Heegner, Z. f. Physik, B. 33, S. 85, 1925.
5. Крылов, О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики, стр. 205—11.
6. Bagrow, P. I. R. E., Aug. 1934, p. 964—80.
7. Уиткер и Ватсон, Курс современного анализа ч. II, стр. 191—192, 195.

Ломоносов и его исследования в области атмосферного электричества

М. И. РАДОВСКИЙ

Ленинград

ВЕЛИКИЙ русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов официально числился в Академии наук по кафедре химии. Сам он именовал себя титулом «химии профессор». Действительно, в этой области ему принадлежит большое число замечательных работ. Однако труды свои Ломоносов посвящал не только химии, но и многим другим отраслям естествознания, а также гуманитарным наукам.

Среди многочисленных научных интересов Ломоносова видное место занимают физические проблемы. Его оригинальные исследования в области электричества представляют выдающийся интерес. Их знали и ценили его современники, в том числе такой гигант научной мысли, как Леонард Эйлер. Труды Ломоносова по электричеству обращали на себя внимание ученых и много лет после его смерти.

Ломоносов работал, главным образом, над теорией электричества. В его бумагах, хранящихся в архиве Академии наук, имеется начатая рукопись «Математическая теория электричества».

Начало занятий Ломоносова вопросами электричества относится, по видимому, к 1752 г. Его отчет за этот год содержит четыре раздела: химия, физика, история и словесные науки. В разделе физики указано: «чинил электрические воздушные наблюдения с немалую опасностью»¹.

Наиболее интенсивно Ломоносов работал по исследованию электрических явлений в 1753 г. Он настолько продвинулся в своем предмете, что заявленная им 7 мая «Готовая тема для речи» на торжественном собрании Академии наук 6 сентября посвящалась проблемам электричества.

Условия экспериментальной работы Ломоносова в области естествознания были не из легких, что отразилось в письмах Ломоносова к Шувалову, государственному деятелю и «покровителю наук». Одно из них, датированное 31 мая 1753 г., свидетельствует о том, что лабораторная база Ломоносова была мизерной. Неотъемлемый аппарат всякого экспериментатора-электрика того времени — электростатическая машина — не был доступен Ломоносову. «Я могу уверить Ваше Превосходительство», — писал он, — «что в мастерских людях здесь великая скудость: так что я для делания себе Электрической машины не токмо где инде, но и с вашего двора столяра за деньги не мог достать».

Но «покровительство» Шувалова чуть не оказалось пагубным для научных занятий Ломоносова. Ему предлагалось оставить естественно-научные дисциплины и всецело отдаться истории и словесности.

«Что ж до других моих в физике и химии упреждений касается», — писал он Шувалову 4 января 1755 г., — «чтобы их вовсе покинуть, то нет в том ни нужды, ниже возможности. Всяк человек требует себе от трудов упокоения». «И так уповаю, что и мне на упокоение от трудов, которые я на собрание и на сочинение Российской истории и на украшение Российского слова полагаю, позволено будет в день несколько часов времени, чтобы их вместо бильяру употребить на физические и химические опыты, которые мне не токмо отменю материи вместо забавы, но и движением, вместо лекарства служить имеют; и сверх сего пользу и честь отечеству, конечно, принести могут, едва меньше ли первой (курсив наш — М. Р.)».

Особенно много препятствий пришлось преодолеть Ломоносову, чтобы опубликовать и добиться признания своих трудов по электричеству. Происки Шумахера, главы академической канцелярии, неоднократно ставили под угрозу упомянутую выше речь Ломоносова, названную им: «Слово о явлениях воздушных от Электрической силы происходящих». Это выступление намечалось на 6 сентября 1753 г. и должно было следовать за докладом Рихмана.

«Оный акт», — писал Ломоносов Шувалову 31 мая, — я буду отправлять с господином профессором Рихманом; он будет предлагать опыты свои, а я теорию и пользу от оной происходящую, к чему уже я приготавлиюсь».

В этом же письме Ломоносов сообщает о достижении, которого он добился наблюдениями в области атмосферного электричества. «Приметил у своей громовой машины 25 числа сего апреля, что без грома и молнии, чтобы слышать или видеть можно было, нитка от железного прута отходила и за рукою гонялась; а 28 числа того же месяца при прохождении дождевого облака без всякого чувствительного грома и молнии происходили от громовой машины сильные удары с ясными искрами и с треском издавек слышимым; что еще нигде не примечено и с моею давнею теориею о теплоте и с нынешнею о Электрической силе весьма согласно, и мне к будущему публичному акту весьма прилично».

Ломоносову не было суждено выступить на торжественном собрании Академии вместе с Рих-

¹ Материалы для биографии Ломоносова. Собраны акад. Биллером в 1865. В дальнейшем по следующей сноске цитируется этот источник.

маном, с которым его связывали совместные работы по теплоте и электричеству, а также и тесные дружеские отношения. Примерно за полтора месяца (26 июля 1753 г.) до назначенного дня собрания Рихман погиб, убитый молнией во время наблюдений атмосферного электричества.

Этим событием воспользовался Шумахер, чтобы помешать выступлению Ломоносова.

Ломоносов был несгибаем в борьбе с этим душителем живой мысли. Незадолго до смерти Ломоносов написал большое сочинение, в котором он перечислил деяния Шумахера и его «наследника» по Академии — Тауберта. Сочинение называется: «Краткая история о поведении академической канцелярии в рассуждении ученых людей и дел с начала сего корпуса до нынешнего времени». Много притеснений, которые терпел сам Ломоносов, описано в этом произведении.

Шумахер, обойдя собрание академиков, добился от президента отмены «ассамблей». Ломоносов в свою очередь обратился к Шувалову, а затем дважды к президенту Академии наук Разумовскому, и ему, наконец, удалось добиться распоряжения об устройстве торжественного собрания. Видимо, обращение Ломоносова к президенту Академии наук было составлено в сильных тонах.

«Хотя, — писал Разумовский Шумахеру, — я от 2 сентября и определил было ассамблее публичной не быть за объявленными в Вашем представлении, учиненном от 5 августа резонами: однакож, дабы г-н Ломоносов с новыми своими изобретениями между учеными в Европе людьми не упоздал, и через то труд бы его в учиненных до сего времени электрических опытах не пропал: того ради извольте так расположиться, чтобы для вышеломянутого высочайшего торжества ноября 25 числа сего текущего года акт академический конечно был для публики, в котором г-н Ломоносов читать имеет слово о явлениях воздушных от электрической силы происходящих, а отвечать на оное г-н профессор Гришов будет, о котором он же г-н Ломоносов меня уведомляет, что он имеет пристойную материю».

Однако борьба Шумахера против выступления Ломоносова продолжалась. Она только приняла иной вид. На этот раз академический бюрократ задумал нанести своему противнику удар в спину. Когда «Слово» было напечатано (по традиции торжественные речи читались по уже напечатанному тексту), Шумахер послал работу Ломоносова на отзыв за границу — Эйлеру, Гейнзиусу и Крафту. Шумахер рассчитывал на отрицательную оценку, надеясь таким образом дискредитировать Ломоносова и жестоко посягнуть на его имя.

Не сбылась, однако, надежда Шумахера на то, что отзывы иностранных ученых, состоявших почетными академиками Российской Академии наук, послужат во вред Ломоносову. Эйлер, который весьма рано усмотрел способности и дарования Ломоносова, дал весьма похвальную оценку его новой работе.

Только беззаветная преданность своему делу помогла Ломоносову преодолеть все происки Шумахера.

Разногласия возникли еще по поводу того, на каком языке читать доклад (он печатался одно-

временно на латинском и на русском) Ломоносов настаивал, чтобы «Слово» говорить по-русски; его поддержали лишь два человека — Крашенинников и Попов. Речь Ломоносова вышла в отдельном издании, состоявшем из четырех частей.

По традиции того времени академии прили для решения ученому миру те или иные, выдвинутые современной наукой. В случае речь шла о теории электричества: петербургская Академия Наук всем натуралистам при обещании обыкновенного награждения ста червонных на 1755 год к первому Июня месяца, для решения предлагает читать подлинную Электрической силы причину и составить точную теорию².

Программа этой задачи была изложена Ломоносовым. Она и составляет первую часть брошюры. Затем следует сама речь Ломоносова: «Слово о явлениях воздушных от Электрической силы исходящих». Далее напечатано выступление Гришова, носящее следующее название: «Ответ на Иафанаила Гришова профессора астрономии и профессора Ломоносова и рассуждение о необыкновенных воздушных явлениях и мим примеченных».

Последняя (четвертая) часть — «Изъяснение подлежащее к слову о Электрических воздушных явлениях» представляет собой дополнения Ломоносова к своему докладу.

Объявленная Академией наук премия за решение этой задачи, представляющей одну из важнейших проблем и для естествознания на то время, лауреата, разумеется, не нашла. Сам Ломоносов пытался построить теорию электричества, о чем свидетельствуют его рукописи. Один из создателей дуалистической теории, академик Ломоносов (1742—1802), работавший в Петербурге Академии наук, также опубликовал свои работы по электричеству.

Основная цель Ломоносова, как показывает название его «Слова», состояла в изучении явлений воздушных в связи с электричеством. Многочисленные опыты и высказывания обобщающего характера по части электричества (атмосферного) ставят произведение Ломоносова в ряд лучших трактатов XVIII в. Им высказываются оригинальные гипотезы, в которых он поднял вопросы до теоретических обобщений.

Вместе с сочинением Рихмана «Об Электрическом указателе» произведение Ломоносова «Слово о явлениях воздушных от Электрической силы происходящих» представляет собою первый научный памятник русской научной мысли в области электричества.

В соответствии с требованиями академической «ассамблеи» речь Ломоносова начинается с торжественного предисловия. Это предисловие посвятил Петру I.

Гибель Рихмана окрылила петербургских физиков, ставших на защиту «кар небесных грома и молнии от посягательств науки. Вся

² Сочинения М. В. Ломоносова. Изд. Академии наук СССР. Т. IV, 1898. В дальнейшем до следующей сноски цитируются по этому изданию.

понимания изучения этих сил природы они объясняли тотатственным вторжением в область божью. Ломоносову пришлось отразить атаку цетовников на право свободного научного исследования.

«Верным нам быть должно, что оных людеи, которые бедственными трудами, или паче исподлинскою смелостью тайны естественные испытать тщатся не надлежит почитать продерзкими, но мужественными и великодушными, ниже оставлять исследования природы, хотя они скоропостижным роком живота лишились. Не устранил ученых людей Плиний в горячем пепеле огнедышущего Везувия погребенный, ниже отвратил пути их от шумящей внутренним огнем крутости. Смотрят по вся дни любопытные очи в глубокою и яд отрывающую пропасть. И так не думаю, чтобы внезапным поражением нашего Рихмана натуру испытывающие умы устрашились, и Электрической силы в воздухе законы изведывать перестали; но паче убоваю, что все свое рачение на то положат с пристойной осторожностью, дабы открылось, коим образом здравие человеческое от оных смертоносных ударов могло быть покрыто».

Стоит подробней остановиться на той отповеди, которую Ломоносов дал противникам науки. Он подверг все возражения уничтожающей критике, убедительно доказав нелепость аргументации против изучения грозных разрядов.

«Не одни молнии, — писал Ломоносов, — из недра преизобилующие натуры на оную устремляются, но и многие другие: поветрия, наводнения, трясения земли, бури, которые не меньше нас повреждают, не меньше устрашают. И когда лекарствами от моровой язвы, плотинами от наводнения, крепкими основаниями от трясения земли и от бурь обороняемся и при том не думаем, якобы мы продерзностным усиланием гневу божью противились; того ради какую можем мы видеть причину, которая бы нам избавляться от громовых ударов запрещала?»

В «Слове» Ломоносов высказал оригинальный взгляд на происхождение атмосферного электричества. Теория Ломоносова предполагает, что электричество в атмосфере образуется от трения паров в воздухе, происходящего от вертикальных его движений — верхних и нижних течений; ветры, вызывающие горизонтальные течения, электричества не образуют.

Ломоносов останавливается на доказательстве последнего положения.

«Когда отягощенные молниєю тучи ни случа-

ются, почти всегда ясная и тихая погода перед ними бывает. Вихри и внезапные бурные дыхания с громом и молниею бывающие, без сомнения от оных туч рождаются. Противным образом, когда стремительные ветров течения целые земли провеают и нередко над одним местом в противоположные стороны

дышат, что по движению облаков познается; тогда должно бы им было между собою пресильно сражаться и тереться, следовательно, в облачную и ветреную погоду блистать молнии, греметь грому, или хотя признакам на Электрическом указателе являться если бы сии движения атмосферы были источником происходящей в воздухе Электрической силы. Но сие едва когда случается. И так несомнительным уверяемся доказательством, что все движения воздуха с горизонтом параллельные, то есть ветры, с которой бы они стороны движение свое не имели, не бывают началом и основанием грома и молнии».

Для возбуждения электрических зарядов необходимо, сообщает Ломоносов в «Слове», «двоякого рода материи: первое — те, из коих Электрическая сила рождается; второе, — которые рожденную в себя принимают». Эти два элемента

по мнению Ломоносова встречаются в обильном количестве в воздухе. Это — вода, которая «Электрическую силу крепче всех в себя вбирает и которой безмерное множество в воздухе обращается», и другие тела, «в которых она трением возбуждается». Из них Ломоносов выделяет «жирные материи», которые «великое действие производят» в смысле возбуждения электрических зарядов. «Жирные шарички горючих паров, которые ради разной природы с водяными слиться не могут и ради безмерной малости к свойствам твердого тела подходят, скорым встречным движением сражаются, трутся, Электрическую силу рожают, которая распространяясь по облаку, весь оный занимает».

В этом, собственно, и заключается теория Ломоносова о происхождении атмосферного электричества.

Лучшее подтверждение своей теории Ломоносов видит в том, что «тяжкие громы и молнии» больше всего бывают «после полудни — часа в 3—4». Это объясняется тем, что к тому времени нижние слои атмосферы успели уже нагреться и, следовательно, расширяться. Верхние же слои воздуха, имея более низкую температуру, менее разрежены и «способнее погружаются» в нижние. Таким образом вертикальные течения воздуха надидо. В этом можно лишний раз убедиться «са-



Михайло Васильевич Ломоносов

ним чувством осязания: при наступлении Электрического облака верхняя атмосфера весьма холодна и действие ее или часть некоторая даже до нас простирается».

Указав еще на много других наблюдений, которые также согласуются с его теорией, Ломоносов заключает, что его гипотеза построена на вполне реальной почве. «По согласию только множества перемен и явлений, — пишет он, — уповаю, что сия моя теория стоит не на слабом основании».

Составив представление о причинах и сущности грозных разрядов, Ломоносов выдвигает задачу «искать удобных способов к избавлению от смертоносных грозных ударов». Ломоносов указывает на громоотвод, который дает возможность «громовые удары отвращать», и подчеркивает, что исследования в области атмосферного электричества позволяют всесторонне изучить грозные разряды для защиты от их бедственных последствий.

Оппонент Ломоносова — Гришов, в высоких тонах характеризуя труды Ломоносова, не преминул бросить тень на его произведение. В его речи имеется намек на то, что Ломоносов многое заимствовал у Франклина. Ломоносов тотчас же понял, какое назначение имеет этот замаскированный выпад и вступил в открытую борьбу.

Отпор противникам был дан в прибавлении к «Слову». Оно называется: «Изъяснения, надлежащие к слову о Электрических воздушных явлениях». Вот что писал он: «Погружению и восхождению атмосферы кратко коснулся славный господин Франклин в своих письмах; однако, что я в моей теории о причине Электрической силы в воздухе ему ничего не должен из следующего явствует. 1) О погружении верхнего воздуха я уже мыслил и разговаривал за несколько лет; Франклиновы письма увидел впервые, когда уже моя речь была почти готова, в чем я посылаюсь на своих господ товарищей. 2) Погружение верхней атмосферы Франклин положил только догадкою в нескольких словах. Я свою теорию произвел из наступающих внезапно великих морозов, то-есть, из обстоятельств в Филадельфии, где живет Франклин, неизвестных. 3) Доказал я выкладкою, что верхний воздух в нижний не токмо погружаться может, но иногда и должен. 4) Из сего

основания истолкованы мною многие явления громовою силою бывающие, которых у Франклина нет и следу. Все сие не того ради здесь лагается, чтоб я хотел себя ему предпочесть последовал изволению господ товарищей, рые сие к моему оправданию присоветовали приговорили».

Как и в других случаях, Ломоносов с честью выдержал нападки со стороны душителей научной науки. Но нужно было обладать таким неисчерпаемым запасом энергии, которым обладал Ломоносов, чтобы устоять против всех врагов и быть таким стойким в борьбе, каким был он.

Гнетущая атмосфера царской России тогда воспринималась Ломоносовым. В последние годы жизни, подведя итог неустанной борьбе за торжественное процветание своей родины, он пришел к таким выводам. «Я вижу, что я должен умереть спокойно и равнодушно смотрю на смерть: лею только о том, что не мог я совершить того, что предпринял я для пользы отечества приращения наук и для славы Академии, и тем при конце жизни моей должен видеть, что мои полезные намерения исчезнут вместе мною»³.

Эти настроения навеяны тем, что при жизни Ломоносов не нашел достойного преемника, который продолжал бы начатое им дело с тем упорством и беззаветностью.

Но дело Ломоносова не погибло вместе с смертью. Начиная с XIX в., русские ученые внесли в мировую науку не одну славную страну.

Именно в России были сделаны первые шаги в таких отраслях электротехники, как вольтметр, электромагнитный телеграф, электродвигатель судов, гальванопластика, электрическое освещение, трансформаторостроение, радиотехника, телеграфы и т. д.

Корни научного расцвета в нашей социалистической стране восходят к родоначальнику нашей науки — Ломоносову. И благодарное новое поколение это полностью сознает, высоко оценивая труды Ломоносова в области естественных наук.

³ См. Б. Н. Меншуткин. Жизнеописание Михайлы Ивановича Ломоносова. 1937, стр. 235.

Андре Блондель

В Париже 15 ноября 1938 г. скончался член Французской Академии наук и почетный член Академии наук СССР Андре Блондель.

Имя Блонделя хорошо знакомо каждому электротехнику. Нет, кажется, ни одной отрасли этой науки, в которую Блондель не сделал бы своего вклада.

Получив образование в Политехнической школе, а затем в Школе путей сообщения, Блондель начал свою деятельность по ведомству маяков. Работа с маяками породила у него интерес к светотехнике, и Блондель начинает работать над вопросами световых единиц, фотометрии и т. п. Он вводит в светотехнику понятие о световом потоке, оказавшемся исключительно плодотворным особенно при расчетах освещения, характеристике источников света и т. д. Он дает свой люксметр, первый из приборов этого рода. Блондель работает также и над другими вопросами светотехники, в частности над дуговыми лампами с графитными углями, предназначавшимися для преодоления поглощения света туманами.

Работая над дугами переменного тока, Блондель изобретает совершенно новый прибор — осциллограф — прибор, получивший в наше время широкое применение не только в научных исследованиях, но и в промышленных лабораториях.

В 1893 г. Блондель был привлечен к преподаванию электротехники, сначала в Высшей горной школе в Париже, затем там же в Школе путей сообщения. Результатом занятий Блонделя электротехникой явился многочисленный ряд его знаменитых работ в области электромашин, электротяги, электрической передачи энергии и т. д. Ему принадлежит большая работа о методах ра-

счета преходящих явлений в электрических цепях.

Между прочим, он еще в 1904 г. составил со своими сотрудниками проект передачи в Париж энергии Роны, проект, который получил осуществление только теперь.

Блонделю принадлежит много исследований в радиотехнике. Так, по его планам были сооружены первые радиомаяки, он был одним из инициаторов того применения радиотехники, которое получило название радиогониометрии.

Блондель был чрезвычайно разнообразен в своих работах: он не довольствовался занятиями только в области светотехники и электротехники. Есть много известных его трудов по акустике, по механике и т. д. Все работы Блонделя отличаются оригинальностью и глубиной. Они часто служили исходным пунктом для многих работ его последователей.

Андре Блондель был большим другом СССР. Он охотно помогал русским инженерам, приезжавшим в Париж учиться. Охотно брал русских к себе в помощники. Один из его лаборантов, сотрудник по конструкции первого осциллографа, проф. Н. Н. Черноситов, умерший в декабре 1938 г., работал до последнего времени в Ленинградском индустриальном институте. Этому институту Блондель прислал и один из первых экземпляров своего осциллографа, над выполнением которого он работал собственноручно.

Для того чтобы иметь возможность знакомиться с трудами русских специалистов, Блондель изучил русский язык и, когда он был избран, после Октября, почетным членом Академии наук СССР, он написал Академии наук благодарственное письмо по-русски.

М. А. ШАТЕЛЕН

Профессор Б. Е. Воробьев

К 25-летию преподавательской деятельности

В ноябре 1938 г. совет, электромеханический факультет, дирекция и общественность Ленинградского индустриального института отметили 25-летие работы в институте профессора Бориса Евдокимовича Воробьева, одного из видных работников в области электрических станций.

Б. Е. Воробьев окончил б. Политехнический институт в 1913 г. и после окончания был избран лаборантом электромеханической лаборатории института. Вся дальнейшая преподавательская деятельность Б. Е. Воробьева прошла в стенах института. Сначала он работал в качестве лаборанта, затем преподавателя, а с 1920 г., на основании результатов Всесоюзного конкурса, — в

качестве профессора по кафедре электрических станций, которую он занимает и в настоящее время. Одновременно с преподаванием Б. Е. Воробьев вел в институте большую административную и общественную работу, был ректором института с 1922 по 1925 г., т. е. в годы восстановления института и укрепления его как советского втуза, обновленного мощным притоком пролетарского студенчества. В настоящее время Б. Е. Воробьев вторично ведет работу декана электромеханического факультета.

Б. Е. Воробьев, увлекаясь преподаванием и организуя свою кафедру, не замыкается в одной работе. Одновременно он вел

большую практическую работу в Ленэнерго, где он был последовательно заведующим бюро рационализации, заместителем начальника эксплуатации, исполняющим обязанности начальника эксплуатации и обязанности заместителя управляющего Ленэнерго. Б. Е. Воробьев являлся активным участником технических советов всех крупных электростроительных Ленинграда, а также экспертом центрального электротехнического совета и принимал деятельное участие в работе, производившейся в Ленинграде по плану ГОЭЛРО.

Наконец, Б. Е. Воробьев является и крупным общественным работником, занимая посты члена Ленсовета, члена областного бюро секции научных работников, председателя правления клуба ученых и др.

В индустриальном институте Б. Е. Воробьев — один из наиболее уважаемых профессоров. Это

ярко выявилось в тех речах, которые были произнесены на заседании совета института электромеханического факультета.

«В день 25-летия вашей научно-педагогической деятельности студенты, аспиранты, профессора преподаватели, служащие, общественные и партийные организации электромеханического факультета рады видеть вас руководителем факультета и уверены в столь же плодотворной вашей будущей работе по подготовке кадров инженеров и по развитию энергетики нашей социалистической родины».

Этими словами заканчивается письмо, адресованное Б. Е. Воробьеву от комитета ВКП(б), комитета ВЛКСМ, профбюро студентов электромеханического факультета, преподавателей, рабочих и служащих ЛИИ.

М. А. ШАТЕЛ

Лаборатория электроматериаловедения Московского энергетического института им. Молотова

Вопросы, связанные с изысканием, изучением и применением электроматериалов для промышленности становятся с каждым годом все более актуальными. Это приходится наблюдать по обильному поступлению запросов на научно-исследовательские работы, консультации и технические испытания в лабораторию электроматериаловедения МЭИ им. Молотова.

В 1937—1938 гг. научными сотрудниками лаборатории под руководством проф. Е. Ф. Комаркова были выполнены следующие наиболее важные работы.

Исследовалась теплостойкость ряда изоляционных покрытий лаков в отношении скорости теплового старения в различных условиях. Установлены наиболее стойкие лаки для различных условий работы.

Исследовались электрофизические свойства различных асбестов — хризотилловых и роговообманковых. Удалось подобрать ряд асбестов, которые в отношении электрических свойств, гигроскопичности и т. п. превосходят исключительно применявшийся до сих пор для целей электрической изоляции баженовский (Урал) асбест. Найдены типы асбеста, которые можно использовать для получения кислотоупорной электрической изоляции. В процессе работы сотрудниками лаборатории производился осмотр и отбор проб асбеста на месторождениях на Урале, в Восточной Сибири и т. д.

Лаборатория интенсивно изучала вопрос о гигроскопичности асбеста. Гигроскопичность асбестового волокна достигает до 4%, т. е. меньше гигроскопичности волокнистых материалов органического происхождения, у которых она достигает до 10%. Различные типы асбеста имеют различную гигроскопичность. Особенно выделяются по малости величины гигроскопичности (0,6—0,8%) некоторые роговообманковые асбесты, каковы синий капский крокидолит и уральский (сысертский) антофиллит. Проведено большое исследование по уменьшению гигроскопичности асбестов.

В лаборатории велись испытания электробытовой аппаратуры и электроарматуры, изготовленной в СССР и за

границей. Лаборатория разрабатывала стандартные методы испытания и изучала качества применяемых для электробытовой аппаратуры материалов. Исследовались возможности внедрения всех новейших достижений в области электроматериаловедения применительно к электробытовым приборам: подбор и применение сплавов для нагревательных сопротивлений, изыскание и применение лучшей устойчивой электроизоляции, разработка новых конструкций электробытовых приборов.

В лаборатории проводилось исследование возникновения электростатических зарядов в цехах линолеумного, ткацкого и мукомольного производств и разработка мероприятий по уничтожению этих зарядов в целях предотвращения пожаров и взрывов. На одном из заводов от разности статического электричества часто наблюдались вспышки паров бензина и возникали пожары. После внедрения мероприятий, предложенных лабораторией, пожары прекратились. На основе этих исследований лаборатория ведет работы по изучению физики явлений взаимодействия и влияния друг о друга различных диэлектриков.

Исследовались также электрофизические свойства мраморов 40 месторождений СССР. Произведена классификация мраморов по кристаллической структуре и электрическим свойствам. Совместно с Институтом минеральной сырья разрабатывается стандарт на электротехнический мрамор.

В настоящее время ведутся работы по изысканию новых типов пластмасс и пропиточных и заливочных смесей, по изысканию эластичных резиноподобных материалов неорганического химического состава, по исследованию влияния степени дисперсности наполнителя электрофизические свойства пластмасс. Продолжаются расширяются фундаментальные исследовательские работы в области электроизоляционных бумаг, электростатических зарядов и газовой коррозии электротехнических материалов.

С. А. ЯМАЛ

ПРОФ. ВУЛЬФ А. А. УСТОЙЧИВОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ.
ГОНТИ НКТП Л.—М. 1938, 155 стр. 103. рис., Тираж 5000. Ц, 2 р. 25 к.

По указанию автора рецензируемая книга представляет собой изложение читаемого им курса устойчивости, но одновременно предназначается и для нужд инженерной практики. В основном книга удовлетворяет своему назначению: дает систематическое изложение вопросов устойчивости. Однако она обладает и рядом недостатков.

Автор снабдил книгу множеством примерных расчетов и попытался изложить большое количество материала при весьма ограниченном объеме книги. В этих условиях богатый статистический материал книги (являющийся ее несомненным достоинством) вынудило автора к весьма схематичному, а порой даже схематичному изложению ряда вопросов. Так например, на тридцати страницах текста автором изложены сведения о семнадцати различных мероприятиях для повышения устойчивости.

Повидимому, по тем же причинам автор опустил предельные сведения о синхронных машинах, хотя, например, такая величина, как э. д. с. за переходным реактансом, обычно не рассматривается в предшествующих диссертациях, и следовало бы осветить ее смысл и значение.

Совершенно не затронут такой существенный вопрос, как поведение релейной защиты при качаниях. Лишь космоль упоминается проблема искусственной устойчивости, что вряд ли соответствует ее значению для наших систем.

Все эти сведения могли бы быть даны и без увеличения объема книги, за счет сокращения некоторых разделов, посвященных статической устойчивости, в части работы двух и трех машин без нагрузок, не имеющей практического значения.

Вообще излагаемые автором методы расчета статической устойчивости сложных систем, не учитывающие действительных характеристик нагрузки, для практических расчетов неприемлемы. Кроме того, вряд ли правильный самый принцип подсчета изменений мощности при перемещении ротора лишь одной из машин. Несомненно, более точен рекомендуемый на стр. 83 принцип постоян-

ства мощности промежуточных станций. Однако и в этом случае необходим учет действительных характеристик нагрузки. Безусловно следовало бы дать метод подсчета синхронизирующей мощности с учетом регулирующего эффекта нагрузки (по Крери, Гореву и др.) хотя бы для случая двух машин и одной нагрузки.

Введенное автором различие между пропускной способностью и статической устойчивостью вряд ли целесообразно. Несколькo ниже (стр. 81) автор сам указывает, что за пределом пропускной способности система становится и статически неустойчивой из-за вмешательства регуляторов турбин. В действительности же, если ввести зависимость параметров системы от частоты, то можно показать, что система неустойчива и без вмешательства регуляторов.

В книге допущены некоторые неточности. Так например, на стр. 31 автор называет поток Φ' общим для статора и ротора, что неверно, так как Φ' представляет собой поток, пронизывающий лишь обмотку возбуждения (он включает поток рассеяния ротора, не связанный с обмоткой статора).

Примечание на стр. 12 и характеристики на рис. 6 справедливы лишь при условии, что угол θ представляет собою сдвиг вектора напряжения относительно оси ротора (а не относительно э. д. с.). Этому автор не оговаривает, что может вызвать недоразумение.

К числу мелких недочетов книги следует отнести отсутствие таблицы параметра советских машин.

Хорошее впечатление производят главы, посвященные методике расчетов динамической устойчивости. Здесь относительно сложные вопросы изложены достаточно просто и ясно.

Издана книга неплохо. Количество опечаток очень невелико.

П. С. ЖДАНОВ

АППАРАТУРА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

Под ред. И. С. Ароновича; составители: Абрекова Л. В., Аронович И. С., Гун Л. А., Иванов А. Н., Козубев И. А., Лысов Н. Е., Машкиллейсон Л. Е., Холявский Г. Б., ГОНТИ НКТП СССР, 1938, 344 стр., 255 рис. Тираж 7000, Ц, 4 руб.

Книга предназначена в качестве учебного пособия для энергетических техникумов, но не рассчитана на аппаратостроительные специальности. Книга рассматривает все основные виды современной высоковольтной аппаратуры: выключатели и приводы к ним, предохранители, разъединители, измерительные трансформаторы, разрядники, реакторы. Специальные главы книги посвящены общим вопросам аппаратостроения, как-то: нагрев аппаратов при нормальной работе и устойчивость их при токах к. з., контакты аппаратов, изоляция аппаратуры и изоляторы, испытания аппаратов высокого напряжения, условия гашения электрической дуги.

Как видно из приведенного перечня отдельных глав, в книге, несмотря на ее сравнительно небольшой объем, рассматриваются все основные вопросы современного аппаратостроения.

Прежде всего следует заметить, что содержание книги в основном отвечает поставленной перед авторами задаче: кратко и в большинстве случаев ясно авторы описывают основные особенности и характеристики конструкции и рабочего процесса того или иного вида аппарата. По своему объему отдельные разделы книги гармонируют между собой; почти все вопросы, затронутые в книге, освещены в одинаковой относительно степени.

Физическая сторона процессов и явлений, рассматриваемых в книге, в основном освещена достаточно просто и кратко, однако все же имеется ряд неточностей, а иногда и серьезных сведений.

Так например, на стр. 8 написано, что трансформаторы имеют назначение понизить рабочий ток в «системе»

(подчеркнуто А. Б.). Очевидно, трансформаторы ток в системе не меняют. Точно так же неправильно указана цель измерительных трансформаторов на стр. 214.

Предохранители служат не только для защиты от тока к. з., как это написано на стр. 8.

«Разрядники представляют собой обычно сопротивление...» (стр. 9). Разрядник предназначен для отвода от проводника зарядов в землю и для отключения получающегося при этом соединения этого проводника с землей, и характеризовать его как «сопротивление» нельзя, тем более что некоторые типы разрядников вообще не имеют сопротивления. На той же странице определение разрядника тоже можно считать неудачным.

В дуге постоянного тока отнюдь не всегда скорость ионизации и деионизации равны между собой, как это написано на стр. 12; наоборот, такое состояние дуги — частный случай. На той же странице написано: «ионизация дугового промежутка носит термический характер, т. е. объясняется испусканием электронов накаливаемыми телами...» Во-первых, одной температурой объяснить ионизацию дугового пространства — неверно а, во-вторых, указанная формулировка нуждается в разъяснениях, которых в книге нет, и потому такая формулировка ничего не может дать вообще, тем более что в предыдущем абзаце говорится только об «ионах» и ни слова об «электронах», а здесь наоборот.

На стр. 14 указано, что для гашения дуги постоянного тока необходимо... увеличить длину дуги. Это неверно, можно погасить дугу и другими способами.

Гашение постоянной слагающей тока к. з. имеет место

не при включении цепи «на полное напряжение», как это написано на стр. 42. Во-первых, слово «полное» — тут не причем, и авторы, повидимому, хотели сказать «амплитудное». Во-вторых, как раз при включении цепи на амплитудное напряжение постоянная слагающая тока к. з. отсутствует, а имеет место при всяком другом моменте времени включения.

Значение T для короткого вблизи генераторов (0,1 + 0,15 sec) не согласуется с коэффициентом 0,8, приведенным на стр. 41, хотя они должны строго согласоваться между собой.

Если отключающую способность выключателя характеризовать силой тока, как это сделано на стр. 88, то непременно надо указать, к какому напряжению эта сила тока относится, в противном случае получаются методические неувязки, могущие вызвать у читателя ряд недоумений и неверных представлений.

Процентное содержание водорода в газовом пузыре указано на стр. 93 неверно.

Назначение гасильной камеры совсем не «локализовать область, захватываемую в баке выключателя дугой» (стр. 103), а просто гасить дугу.

Теория работы расширительного выключателя, приведенная на стр. 132, давно устарела и признана неверной. Про фарфоровые и роговые предохранители следовало

бы прямо сказать, что они никуда не годятся и не уделять им столько внимания, сколько уделено на стр. 188. Наоборот, предохранители с порошком могут отличаться значительно большими токами, чем это указано на стр. 189.

Стреляющий предохранитель не обязательно должен быть закрыт с одного конца, как это указано на стр. 189.

Разрядник Торока и стреляющий совсем не являются предохранителями, как это указано на стр. 267. Гашение дуги в них происходит так же, как в стреляющем предохранителе, — это другое дело.

Неверно указано на стр. 116, что малообъемные выключатели позволяют сэкономить количество металла. Экономия имеет место и при 35 kV и более низких напряжениях. Можно было бы указать еще ряд более мелких неувязностей и неудачных выражений вроде: «генератор ханического усилия» (стр. 143), и др.

Книга может принести большую пользу не только специалистам-техникумам, но и учащимся вузов, однако, к сожалению, следует иметь в виду указанные выше недостатки и неточности.

А. Я. БУЙЖ

РЕФЕРАТЫ

H. Winkelsträter. Генераторы гидроэлектростанции Роухяла. *ETZ* № 30, 1938.

На гЭС Роухяла (Финляндия) установлено четыре трехфазных вертикальных зонтичных гидротурбин мощностью каждый 34 MVA при $\cos \varphi = 0,8$, непосредственно соединенных с турбинами Каплана¹. Машины построены для напряжения 10—11 kV, 50 Hz при 100 об/мин. Эти гидротурбины, одни из наиболее мощных среди построенных в Западной Европе, имеют ряд оригинальных конструктивных особенностей, обусловленных специфичностью эксплуатационных условий, а также ограничениями в виде необычных транспортных габаритов и небольшого допустимого подъемного веса. Диаметр расточки статора — 7,8 м. Расположение подпятника ниже ротора позволило сократить длину вала до 7,2 м и высоту крюка подъемного крана над полом машинного зала до 9,6 м. Разгонное число оборотов — 265 в минуту. Потери, оцененные по формуле

$$V_{cp} = \frac{1V_{100} + 2V_{80} + 3V_{60} + 3V_{40} + 1V_{25}}{10}$$

при $\cos \varphi = 0,8$ и 11 kV на приемных испытаниях составили 683 kW, т. е. 2% от номинальной мощности машины. Обмотка статора волновая стержневого типа, с двумя стержнями в каждом пазу. Ротор имеет демпферную обмотку из медных стержней диаметром 17 мм. Установившийся ток к. з. при возбуждении холостого хода для 11 kV составляет 1900 A, а для возбуждения нормальной мощности при 11 kV — 4040 A. Повышение напряжения при полной нагрузке — 33,2%. Отношение тока возбуждения при 20 MVA реактивной мощности к току возбуждения при холостом ходе в обоих случаях для 10 kV равно 0,27. Длительная мощность возбуждения при 405 V составляет 186 kW, а двухминутная при 460V — 242 kW. При принятой замкнутой системе охлаждения повышение температуры обмоток статора и ротора составляет 50° для $N_{ном}$. Нагрузка подпятника равна 820t, из которых 520 t — вес турбины и реакция воды. Маховой момент — 7000 tm². Общий вес машины, включая наружный кожух и возбуждатель, — 465 t, причем веса: ротора — 245 t, статора — 105 t и нижней крестовины — 150 t.

Н. А. Караулов

F. Unger. Тормозная машина и ее тарирование. № 35, 1938, стр. 925—928.

Для измерения вращающего момента двигателей применяются часто специальные тормозные машины (Реддинг) и крутильные динамометры (Torsionsdynamometer). Автор рассматривает применение машины постоянного тока и синхронных обычной конструкции для точного определения вращающего момента и дает указания по тарированию этих машин.

Рекомендуемый автором способ тарирования следует сравнивать только тех величин, которые мало зависят от теплового состояния машины. Такими, по мнению автора, являются вращающие моменты, скорости вращения, токи возбуждения и токи нагрузки.

При тарировании поддерживают постоянными скоростью вращения машины и ток возбуждения и снимают зависимость тока нагрузки от вращающего момента. Снимают также зависимости для нескольких значений тока возбуждения при неизменной скорости вращения машины в двигательном, так и в генераторном режимах работы семейства кривых, выражающие зависимости вращающего момента от тока нагрузки при разных значениях тока возбуждения.

Наличие подобных кривых дает возможность по показаниям сразу определить вращающий момент. Для точности целей достаточно снять эти семейства кривых максимум для 3—4 точек высших скоростей, например 1000, 1500 и 2000 об/мин.

Во избежание ряда ошибок и неточностей, возникающих при тарировании, автор рекомендует все измерения проводить при одинаковой смазке подшипников одного сорта масла, при хорошо пришлифованных поверхностях одного и того же сорта, и после предварительной работы машины не менее 1 h.

Разбирая источники возможных погрешностей, автор приходит к выводу, что все вредные вращающие моменты (моменты потерь), которые не зависят от скорости вращения и магнитного потока, учтены уже в полученных кривых при тарировании. Ошибки могут вызываться только нагревом подшипников и железа якоря, но, однако, чрезвычайно малы (значительно меньше 0,5% от вращающего момента). Моменты же, зависящие от скорости вращения, достаточно точно учитываются теми указанными выше кривыми снимаемыми при разных скоростях.

Наибольшие погрешности, по мнению автора, бывают обычно из-за неточности измерительных приборов. При применении наиболее точных приборов все же следует учесть погрешность порядка 0,5%.

М. И. Зильберман

Турбогенератор мощностью 25000 kW с водородным охлаждением *El. World, Vol. 109, № 19, 7 мая 1938, стр. 49, The Electr. Journ. № 3137, 15 июля 1938, стр. 69, Le Genie Civil № 8, 20 августа 1938, стр. 174.*

Первый турбогенератор мощностью 25 000 kW с водородным охлаждением вступил в эксплуатацию 12 октября 1937 г. на центральной электрической станции Дейтон (Dayton) в штате Огио в США.

Опыт эксплуатации этого турбогенератора показывает, что благодаря меньшему удельному весу водорода расход энергии на подачу газа, на вентиляцию и потери на трение сокращаются по сравнению с воздушным охлаждением на 10%; отсутствие кислорода и влажности увеличивает продолжительность службы изоляции машины; не требуется специального противопожарного устройства, так как отсутствие кислорода в охлаждающем газе устраняет пожарную опасность.

Благодаря лучшей теплопередаче и меньшим утечкам, газоохладитель имеет меньший объем, потребность в охлаждающей воде снижается, и вся машина со своей охлаждающей системой получает более компактную форму. Уменьшается шум в системе, упрощается конструкция фундамента, машины. Устраняются все внешние трубопроводы охлаждающей системы.

Охлаждение производится циркулирующей 1000 м³ водорода в минуту при помощи вентиляторов, расположенных с одной и другой стороны ротора. Было подсчитано, что газоохладитель потребует около 760 л в минуту охлаждающей воды при номинальной нагрузке и внешней температуре 21°. Намечено поставить опыты для проверки этих расчетных величин.

Отмечено, что расход пара при холостом ходе машины при применении водородного охлаждения сократился приблизительно на 17%.

Давление водорода в охлаждающей системе поддерживается немного выше атмосферного. Для избежания опасности образования взрывчатой смеси (гремучего газа) очистка водорода должна доводиться до 90%. Опыт эксплуатации показал, что не представляет затруднений доводить чистоту водорода до 97,5%. Очистка смазки охлаждающей системы производится под вакуумом.

Наблюдения над двумя машинами, из которых одна была снабжена воздушным, а другая водородным охлаждением, работавшими при нагрузке, близкой к полной, показали, что при водородном охлаждении температура статора уменьшается на 24—25°, температура ротора на 18° и температура охлаждающей среды на 7,5°.

С. И. Толкачев

F. Unger. Перегрузочная способность электродвигателей с периодически меняющейся нагрузкой *Arch. für Electr. Vol. 32, № 9, 1938, стр. 622—625*

В статье разбираются вопросы перегрузки электродвигателей с регулярной периодически меняющейся нагрузкой. При рассмотрении процессов нагревания и охлаждения двигателей принято, что они протекают по простым логарифмическим кривым. Рассматривая один цикл «нагрев-охлаждение», автор составляет исходную систему уравнений:

$$\frac{\theta_a - \theta_1}{\theta_{m1} - \theta_1} = 1 - e^{-\frac{a}{T_1}} \quad \text{для нагревания} \quad (1)$$

$$\frac{\theta_2 - \theta_{m2}}{\theta_a - \theta_{m2}} = e^{-\frac{b}{T_2}} \quad \text{для охлаждения.} \quad (2)$$

Здесь a и b — соответственно длительности работы в цикле с повышенной и пониженной нагрузкой: θ_{m1} — предельная температура двигателя при продолжительной работе с повышенной нагрузкой; θ_{m2} — то же, но при работе с пониженной нагрузкой; θ_1, θ_a и θ_2 — соответственно температуры двигателя

в момент перехода работы двигателя с пониженной нагрузки на повышенную, в момент перехода с повышенной на пониженную и в момент следующего за этим перехода опять на повышенную нагрузку.

После совместного решения этих уравнений и ряда преобразований автором получено значение тепловой перегрузочной способности:

$$p = \frac{W_1}{W_d} = \frac{\theta_{m1}}{\theta_a} = \frac{1 - e^{-\frac{a}{T_1}}}{1 - e^{-\frac{a}{T_1}} + \nu e^{-\frac{a}{T_1}} \left(1 - e^{-\frac{b}{\nu T_1}}\right)}, \quad (3)$$

где W_1 и W_d — количества тепла, выделяемые двигателем соответственно при работе с перегрузкой и при длительной нормальной работе; $\nu = \frac{T_2}{T_1}$ — отношение постоянных времени охлаждения и нагрева; $-\nu = \frac{\theta_{m2}}{\theta_{m1}}$; $P = a + \frac{b}{\nu}$ — эквивалентная длительность цикла.

Это значение тепловой перегрузочной способности может быть представлено в виде:

$$p = \frac{y_p}{y_a + \nu(1 - y_a)y_b}, \quad (4)$$

где y_a, y_b , и y_p легко определяются из рис. 1, в котором все значения нанесены в относительных единицах. Откладывая на оси абсцисс $\frac{a}{T_1}$; $\frac{b}{\nu T_1}$ и $\frac{P}{T_1}$, получают по оси ординат соответственно: y_a, y_b и y_p (рис. 1).

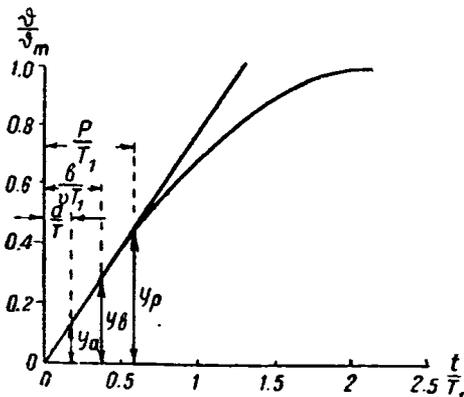


Рис. 1

Для нахождения значения перегрузки по мощности дано общее уравнение:

$$W_d = \alpha + \beta N_d + \gamma N_d^2. \quad (5)$$

где α, β и γ — постоянные, а N_d — длительная допустимая нагрузка двигателя в kW.

При перегрузке N_d двигатель выделяет тепло W_1 и соответствующее уравнение будет:

$$W_1 = \alpha + \beta N_d + \gamma N_d^2. \quad (6)$$

Совместным решением уравнений (5) и (6) и рядом преобразований получено следующее выражение для перегрузочной способности:

$$\ddot{u} = \frac{N_d}{N_d} = -\frac{\eta}{2} \pm \sqrt{\frac{\eta^2}{4} - \epsilon + (1 + \epsilon + \eta)p}, \quad (7)$$

где $\epsilon = \frac{\alpha}{\gamma N_d^2}$ и $\eta = \frac{\beta}{\gamma N_d}$.

Практически известны обычно минимальная и максимальная мощности N_1 и N_2 . Поэтому автор вводит понятие «термической перегрузки», определяемой:

$$\nu = \frac{W_2}{W_1} = \frac{x + \lambda + 1}{x + \lambda\mu + \mu^2},$$

где

$$x = \frac{a}{T_1}; \quad \lambda = \frac{\beta}{\gamma N_2}; \quad \mu = \frac{N_1}{N_2};$$

W_2 — количество тепла, выделяемое двигателем при работе с пониженной нагрузкой.

Выражение (5) дает наиболее общий случай учета потерь на трение, в железе и меди в зависимости от нагрузки.

Во многих случаях, когда потери в железе и на трение не зависят от нагрузки, $\beta = 0$, что ведет к упрощению выражений (7) и (8).

Режим работы с циклом „работа—пауза“ является частным случаем приведенного, так как там $W_2 = 0$ и $\vartheta_{m2} = 0$.

М. И. Зильберман

Goldsmith and Seitz. Прибор для определения скорости размыкания контактов масляных выключателей. *El. World* 30 июля 1938.

В США уже в течение нескольких лет находится в практической эксплуатации прибор, предназначавшийся вначале для определения в полевых условиях скорости размыкания контактов масляных выключателей после возникновения дуги. Этот прибор оказался затем полезным не только для этой первоначальной цели, но и для полной проверки механического состояния всех частей масляного выключателя. В настоящее время он применяется: для определения промежутка времени между моментом срабатывания спускового (trip) механизма и моментом начала движения главного механизма, для определения скорости движения контактов, для обнаружения дефектов в амортизационных механизмах, для определения промежутка времени между появлением тока в электромагнитах и моментом начала движения выключающего механизма.

Прибор состоит из двух основных частей: 1) вертикального барабана с намотанной на нем разграфленной

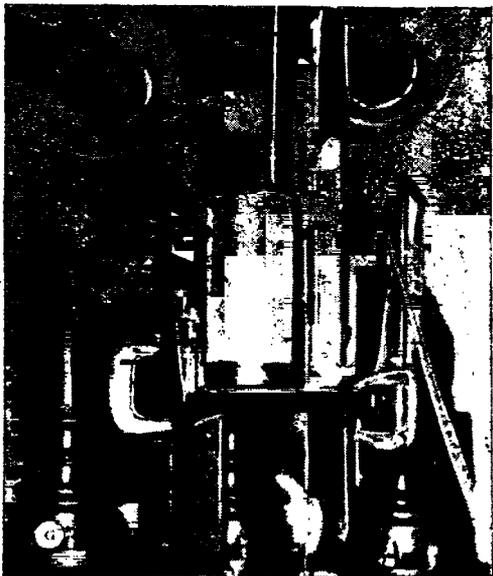


Рис. 1

бумагой, приводимого в движение синхронным мотором при помощи соответствующего редуктора; 2) механизма, передвигающего карандаш вдоль бумаги и связанного с тяговыми стержнями масляного выключателя.

При размыкании контактов на бумаге вычерчивается кривая, представляющая собою зависимость расстояния между контактами времени.

Прибор очень компактен и может быть установлен на любом масляном выключателе.

В. В. Солодовников

Morse and Newhell. Новый прибор для обнаружения повреждений в кабелях. *Electrical World*, 27 августа 1938, стр. 40.

В США фирмами Commonwealth Edison и Public Service разработан прибор для обнаружения мест повреждения в высоковольтных маслонаполненных кабелях, распре-

лительных кабелях, фидерах со стальной лентой и вольтных линиях связи.

Прибор компактен, портативен и содержит мод схему, могущую работать при любом постоянном напряжении от 100 до 100 000 V. Схема не отличается либо существенным от обычной «петлевой схемы Гау», — в ней лишь особенно тщательно подобраны постоянные для того, чтобы она могла удовлетворительно работать при самых различных напряжениях. того, схема снабжена специальными дросселями, ми, разрядными промежутками и т. д., предназначенными для уменьшения эффектов от напряжений со кабелей или от переходных токов, устанавливаемой при прерывистом разряде в месте повреждения кабеля. Прибор имеет размеры 27,5 X 30 X 55 см и весит 11 кг.

Для определения сопротивления кабелей установлена обычным мостиком Уитстона.

Исследования показали, что большинство повреждений может быть обнаружено при напряжении источника постоянного тока выше 7500 V. Поэтому установка держит выпрямитель на это напряжение размером X 37 X 60 см, весящий около 31 кг. Выпрямитель со из мостиковой схемы, дающей двухполупериодное прямление и состоящей из четырех ртутных выпрямителей. Выпрямитель питается от специального трансформатора 115/7500 V или от трех стандартных распределительных трансформаторов на 1 kW, 115/2300 V, и соединенных параллельно на низковольтной стороне и соединительно на высоковольтной. Если требуются напряжения выше 7500 V, то применяется однополупериодный выпрямитель на 30 000. Для еще больших напряжений имеется кенотронная установка на 400 000 V.

Для того чтобы обнаружить место повреждения помощи прибора, необходимо прежде всего измерить приблизительное сопротивление повреждения. Это указание, какое необходимо напряжение для подведения тока через место повреждения. Затем соединяют два проводника на конце кабеля и при помощи мостика Уитстона измеряется сопротивление получившейся петли, что дает возможность проверить, не разорваны проводники и все ли соединения в порядке. Если сопротивление удовлетворительно, то включается источник напряжения, и при короткозамкнутой петле напряжение повышается до тех пор, пока через место повреждения не установится ток. Затем к.з. петли устранили и ток в мостике уравнивается.

Ниже приводятся некоторые из результатов, полученные при помощи описываемого прибора. При лабораторных испытаниях 132 kV маслонаполненного кабеля рабочем напряжении 80 kV место повреждения определено с точностью 0,01%. Место повреждения в трехжильном 12 kV кабеле длиной 1145 м, имеющем бумажную изоляцию и свинцовую оболочку, было определено с точностью 1 м. Испытания велись при напряжении 1000 V. Сопротивление повреждения равно 150 000 Ω.

На 4 kV фидере общей длиной 10 км место повреждения было определено с точностью около 42 м. Напруга при испытании равнялась 11 000 V. Место повреждения воздушного телефонного кабеля длиной около 10 км было определено с точностью около 10 м.

В. В. Солодовников

A. Tisseuil. Новые достижения в производстве кабелей. *Rev. Gener. de l'Electr.* № 6, август 1934 г.

В последнее время большие успехи достигнуты в области производства изоляционной бумаги повышенной удельного веса без ухудшения ее пропиточной способности. В данном случае целлюлоза, обрабатываемая уксусной кислотой, превращается частично в уксусно-кислые соли, приобретая при этом весьма ценные электрические свойства в отношении изоляции, диэлектрических свойств и пр. Механические свойства волокна после такой обработки также не ухудшаются.

С точки зрения процесса изготовления кабеля можно отметить новый способ пропитки кабеля после покрытия его свинцовой оболочкой. Перед покрытием кабель должен быть тщательно высушен под вакуумом. Свинцовая оболочка обычно затем запаивается с обоих концов, предотвращается возможность последующего проник-

кабеля влаги. После этого на оболочке делаются отверстия в нескольких местах проколы для присоединения к вакуумной системе. Вакуум внутри кабеля подается ниже 0,2 мм рт. ст., что очень способствует расширению и удалению из кабеля оставшихся газов и пара. Пропитка под надлежащим давлением осуществляется через центральный прокол кабеля при одновременном поддержании вакуума на его концах.

Основные преимущества этого метода заключаются в: 1) возможности получения чрезвычайно высокого вакуума ввиду незначительности объема и полной герметичности и 2) возможности применения для каждого кабеля пропиточного изоляционного материала.

При конструировании новых кабелей используется принцип намотки изоляции в 2 слоя таким образом, чтобы слой, лежащий ближе к проводнику и подверженный воздействию этого более интенсивному электрическому воздействию, имел более высокий коэффициент пропитки. В таком случае часть диэлектрика кабеля, подверженная наибольшему старению, оказывается всегда пропитанной, несмотря на смещение пропиточного вещества под влиянием тока нагрузки.

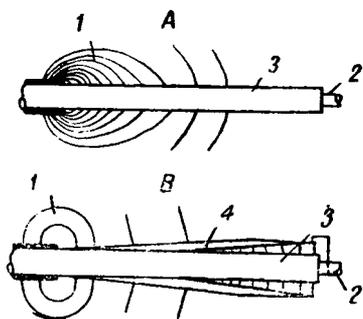
В настоящее время считается установленным, что кабели с несколькими скрученными жилами являются более совершенными, чем кабели с одной центральной жилой. Намотка из бумажной изоляции, служащая для заполнения внутреннего сечения скрученного кабеля и для придания ему круглой формы, представляет собой резервуар для масла. Последнее, будучи защищенным от электрического воздействия, находится в то же время в непосредственной близости от частей главной бумажной изоляции, подверженных максимальному градиенту потенциала.

В отношении особенностей конструирования соединительной арматуры кабелей можно указать, например, на устройство в концевых муфтах так называемого конического конденсатора, представляющего собой ряд металлических цилиндров, разделенных бумажной изоляцией. Внутренний цилиндр соединяется с землей (или с центральной оболочкой), внешний же цилиндр — с проводником.

Схемы электрических полей при наличии конденсаторов при отсутствии их показаны на рис. 1.

Рис. 1. Схема распределения электрического поля.

А — без применения конденсатора; В — после установки конденсатора; 1 — силовые линии; 2 — проводник; 3 — изоляция; 4 — конический конденсатор



Такие конденсаторы могут быть использованы в качестве соединительных звеньев для пропускания токов связи по линиям высокого напряжения, а также для целей защиты.

К. И. Типикин

W. Koch. Теплопроводность фарфора при высоких температурах. *Phys. Z'fS., 1938, стр. 431.*

Разработана методика измерения теплопроводности при высоких температурах и проведены измерения, в частности для фарфора, имеющие большое значение для электронагревательных приборов и для выяснения механизма пробоя фарфоровой изоляции. Для твердого фарфора (объемный вес 2290 кг/м³) получена прямолинейная зависимость теплопроводности от температуры: в пределах изменения температуры от 0 до 800°С теплопроводность возрастает от 1,21 до 1,61 к кал/м. в. °С.

Randall Hagner. Стеклопанная изоляция. *The Electric Journal № 5 1938, стр. 177—180.*

Реферируемая статья содержит описание способов изготовления и свойств тонкого стеклянного волокна, бесспорно, наиболее интересного из электроизоляционных материалов, получивших большое значение за самое последнее время. Как известно, тонкое стеклянное волокно («стеклянный шелк») чрезвычайно прочно механически, в высокой степени гибко, может обрабатываться обычными приемами текстильной промышленности; при применении стеклянного шелка для целей электрической изоляции используются его высокая теплостойкость и благоприятные диэлектрические характеристики.

Для производства стеклянного шелка служит стекло специально подобранного состава, плавка которого ведется при температуре 2600° F (1430° C). Выплавленные заготовки тщательно просматриваются, и те из них, в которых обнаруживаются газовые пузырьки, не вполне сплавленные материалы и включения кусочков огнеупоров и иных загрязнений, отбраковываются. Далее заготовки вновь расплавляются при температуре 2400° F (1315° C) в маленьких резервуарах; расплавленная масса выходит через ряд чрезвычайно узких отверстий в нижней части резервуара, увлекается струей пара и принимается в виде нитей на вращающийся барабан. Возможно получение как штапельного стеклянного волокна (штапельным волокном называется вообще всякое искусственное волокно, получаемое в виде волоконца определенной сравнительно небольшой длины, наподобие естественных хлопчатобумажных и подобных им волокон), так и непрерывных практически неограниченно длинных нитей (наподобие естественного шелка), из которого скручиваются более толстые нити; последние уже применяются как волокнистый материал для обычной текстильной переработки. Из 1 кг массивного стекла, идущего на переплавку, получается около 80 км нити, скрученной из 102 отдельных волокон.

Достижимая наименьшая толщина изоляции из различных волокнистых материалов сводится в табл. 1.

Таким образом стеклянная волокнистая изоляция может быть в 2 раза тоньше асбестовой, практически равна по толщине хлопчатобумажной и уступает в этом отношении лишь шелковой. Однако производители стеклянного шелка предполагают в ближайшее время выпустить стеклянный шелк столь же тонкий, как и натуральный шелк.

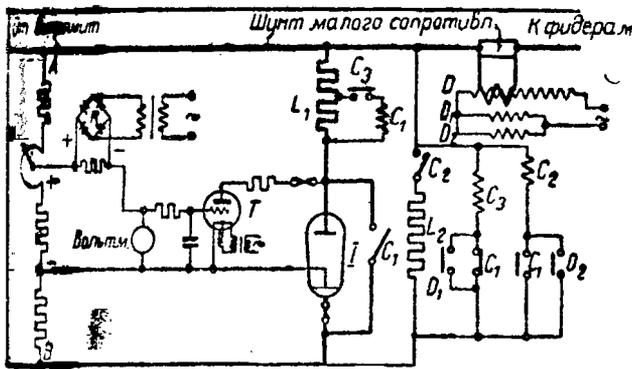
Таблица 1

	Толщина тканой ленты мм	Толщина (на одну сторону) изоляции провода, мм
Шелк	0,075	0,063
Хлопчатобумажное волокно	0,125	0,113
Асбест	0,250	0,200
Стеклопанная шелк	0,125	0,100

Электрические свойства стеклянной волокнистой изоляции превосходят свойства изоляции из других волокнистых материалов; гигроскопичность ее также мала. Так, электрическое сопротивление (в мегомах) куска ленты шириной 25 мм при расстоянии между электродами по длине ленты в 25 мм определяется величинами табл. 2.

Пробивной градиент электрического поля для непропитанных лент: стеклянной толщиной 0,375 мм — 39 кВ/см, 0,25 мм — 43 кВ/см; асбестовой 0,375 мм — 22 кВ/см; 0,25 мм — 24 кВ/см; хлопчатобумажной 0,175 мм — 45 кВ/см. Стеклянная лента толщиной (в непропитанном состоянии) 0,125 мм после пропитки глифталевым лаком № 2464 получила толщину 0,225 мм и ее пробивной градиент стал равным 440 кВ/см.

Электродвигатель нормального выполнения (серия 1938 г.) одного из американских заводов с органической волокнистой изоляцией на 5 kW при выполнении со стеклянной волокнистой изоляцией оказывается на 1/8



расти до своего максимального значения, и внезапная нагрузка, подключаемая к мотору (напряжение на якоре которого высоко), создавая неблагоприятные коммутационные условия, может повести к образованию на нем крутового огня.

Автор описывает новый способ подсоединения сопротивления к шинам, без применения подвижных частей, что сокращает время подсоединения до миллисекунд. Этот способ предусматривает применение игнайтрона I

и тиратрона T (рис. 1), сеточный потенциал которого содержит две составляющих. Одна составляющая представляет собой часть напряжения шин постоянного тока, полученную от делителя напряжения AB и стремящуюся сделать сетку положительной. Другая же, будучи постоянной отрицательной составляющей (полученной от выпрямителя R), по величине большей, чем первая, держит тиратрон в (непроводящем) нерабочем состоянии. Как только напряжение линии повышается на 30—40 V, тиратрон зажигается, и ток, проходя через нагрузочное сопротивление L₁, тиратрон T и погруженный игнайтер игнайтрона I, образует горячее пятно на ртути и зажигает сам игнайtron. Таким образом сопротивление L₁ подключается к шинам постоянного тока.

Почти одновременно срабатывает контактор C₁, «заключая» игнайtron. Когда регенеративный ток достигает нулевого значения, устройством направленного тока D выключает контактор C₁, и схема принимает первоначальный вид.

Игнайтроны изготавливаются не только для обслуживания сравнительно низковольтных установок (550 V для троллейбусов) с кратковременными нагрузками в 200—300 A, но и для тяговых систем постоянного тока на 3000 V с максимальной кратковременной нагрузкой в 2500 A.

М. Д. Трейвас

ИСПРАВЛЕНИЕ

В конце статьи «О проекте стандарта на выключатели высокого напряжения», помещенной в № 8 журнала «Электричество» 1938 г., следует добавить: «Настоящий проект стандарта составлен по поручению БНС завода «Электроаппарат» инженерами Г. Б. Холявским и И. С. Ароновичем.

- № 8 «Электричество» 1938 г.— «Выключатели высоковольтные» — составлены инженерами Г. Б. Холявским и И. С. Ароновичем
- № 9 «Электричество» 1938 г.— «Приводы к выключателям высоковольтным» — составлены инженерами Л. К. Грейнер и В. В. Каплан

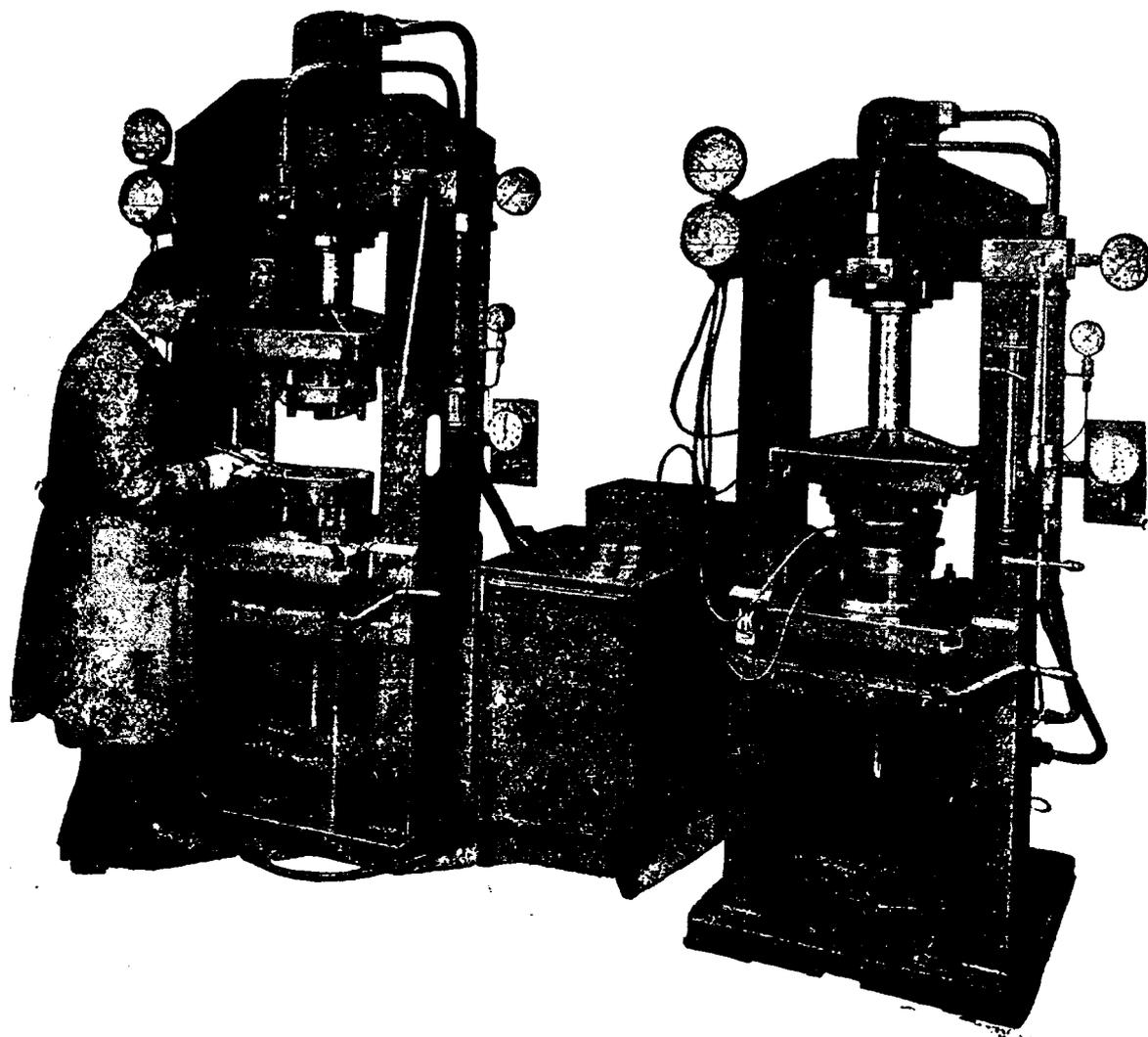
СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Великая клятва выполнена	
Электроэнергетика СССР перед новыми задачами	1
Егоров С. Г. — Основные вопросы проектирования городских питательных и распределительных электросетей	4
Дискуссия о проектировании городских электросетей	9
Златев Н. А. — За рационализацию проектирования электроснабжения промпредприятий	13
Фингер Л. М. — Опыт внедрения 380/220 V в городских электросетях	15
Иванский Э. Б. — Экономика перевода городских электросетей на 380/220 V	17
Захарин А. Г. и Будзко И. А. — Смешанная система распределения электроэнергии в сельскохозяйственных районах	21
Северо-Западное отделение Теплоэлектропроекта. О проекте стандарта «Номинальные напряжения стационарных установок сильного тока»	28
Проект общесоюзного стандарта «Номинальные напряжения стационарных установок сильного тока»	80
Стекольников И. С. — Об искре и молнии	32
Бургдорф В. В. — Горные грозы и их особенности	37
Костенко М. В. — Метод подкасающей в применении к расчетам перенапряжений	43
Архангельский К. С. и Власов А. Н. — Индикатор частичных разрядов	48
Пяртман К. И. — Дезионизация газов, движущихся в трубах из изолирующего материала	51
Аронов Р. Л. — Основы проектирования электрических аппаратов минимального веса	52
Котов Л. Ф. и Филипович Б. И. — Скорость регулирования и устойчивость реостатно-импульсного регулятора напряжения	55
Москвитин А. И. — Работа притяжения постоянных магнитов	58
Вешневский С. Н. — Об электромеханических расчетах для приводов	62
Гольдфарб Л. С. и Герценберг Г. Р. — Определение гармоник тока и напряжения в электрических цепях, содержащих железо	64
Радовский М. И. — Ломоносов и его исследования в области атмосферного электричества	69

ИЗДАТЕЛЬ: ГОНТИ
 Технический редактор А. П. Александрова
 Зав. редакцией М. Г. Башкова

Отв. редактор Я. А. Климовицкий

Быстродействующие прессы для пластических масс модель НК с патентованным, гидравлическим, индивидуальным приводом



Успех и мировая известность наших быстродействующих прессов основан не только на их производительности и надежности в эксплуатации, но главным образом и на разносторонности их применения. Они допускают экономически-рациональное изготовление сложных деталей даже из материала, трудно поддающегося прессованию. Благодаря наличию специальных вспомогательных приспособлений, как например регулируемого замедлителя хода гидравлического выбрасывателя и т. д., работа прессов отвечает самым суровым требованиям. Проспект высылается по требованию.



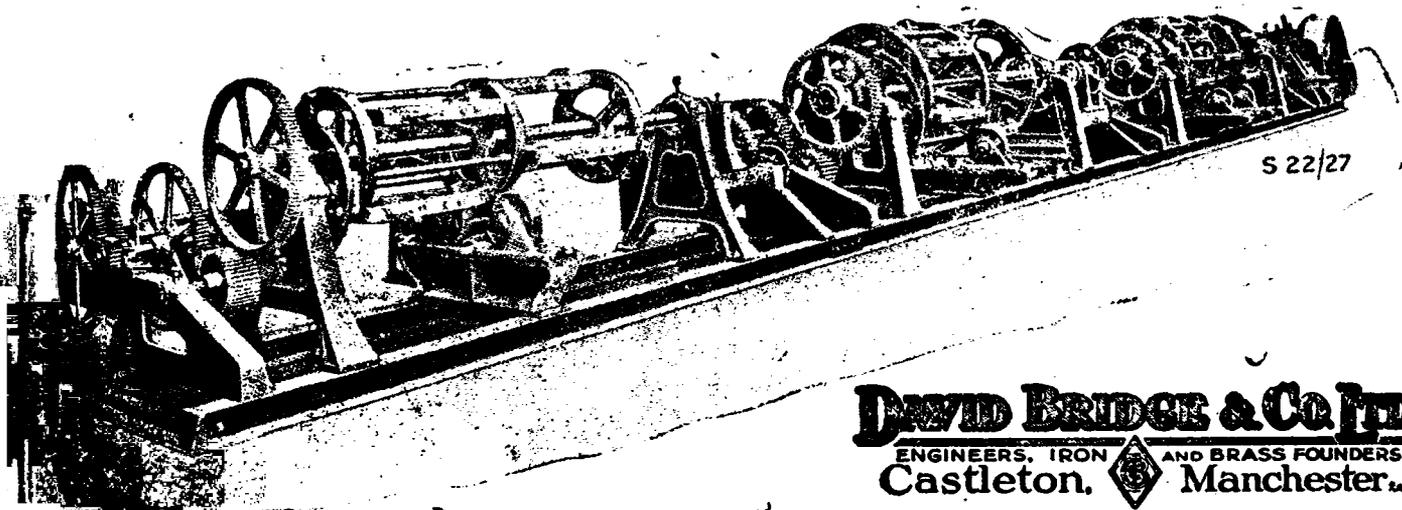
HANN & KOLB · STUTTGART
ГАН И КОЛЬБ · ШТУТГАРТ

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ УСТАНОВКИ дают большие преимущества кабельным заводам

Значительные преимущества, состоящие в солидной конструкции и сверх-производительности, неизменной в течение долгих лет, по достоинству оценены потребителями кабельных машин БРИДЖА, представляющих собой последнее слово техники в этой области.
ТРЕБУЙТЕ ПОДРОБНЫЙ КАТАЛОГ.

Машины с 6, 12 и 18
КАТУШКАМИ ДЛЯ СКРУЧИВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЖИЛ.

Каждая секция может быть вращаема или вправо или влево или же, если нужно, все секции могут вращаться в одном направлении.



S 22/27

DAVID BRIDGE & Co Ltd
ENGINEERS, IRON AND BRASS FOUNDERS
Castleton, Manchester

и также
Aldwych House, Aldwych, LONDON W.C.2 (Англия)

409

Свинцовые кабели

для сильных токов, телефона, телеграфа, сигнализации, радио и телевизии, а также принадлежности к ним.

Провода с резиновой изоляцией

любого назначения

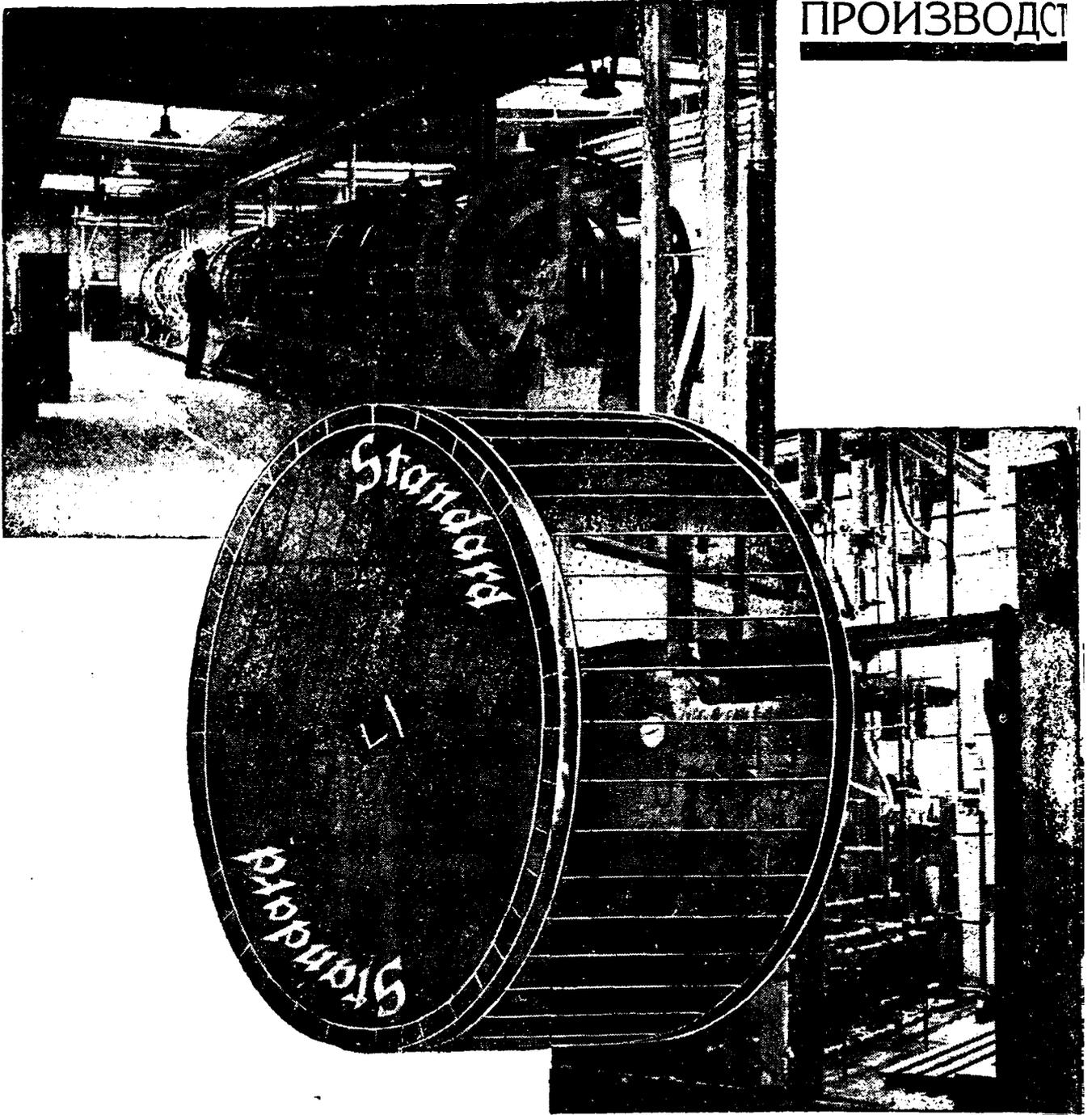
Изоляционные трубки



KABEL- & GUMMIWERKE A. G.

EUPEN БЕЛЬГИЯ

РАЗВИТИЕ
ПРОИЗВОДСТ



За каждым барабаном с силовым кабелем „STANDARD“

стоит производственная организация фирмы Standard Telephones and Cables Limited, обладающая глубоким знанием всех машин и процессов кабельного производства, с широко раскинутыми во всему миру разветвлениями этой фирмы. Ввиду этого все операции — начиная с исследования сырья и кончая последним испытанием кабеля высоким напряжением — производятся таким образом, что лабораторная техника превращается в технику массового производства, без каких-либо видоизменений.

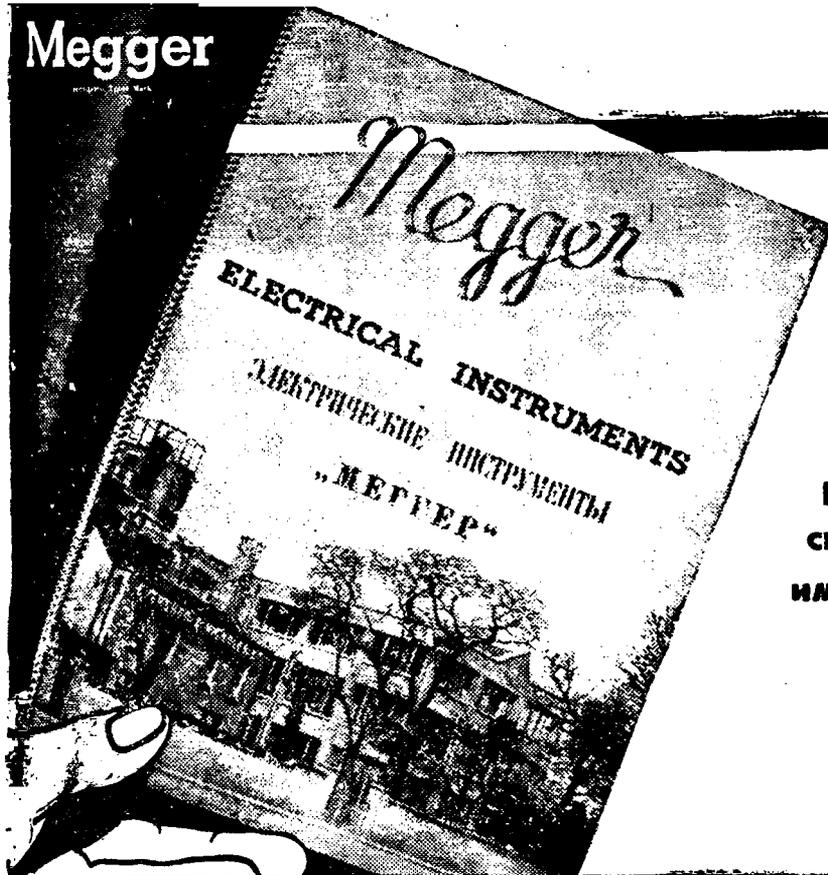
Хотя по своему внешнему виду кабели „Standard“ кажутся такими же как и другие, Вы все же можете быть особенно уверены в их качестве, передавая заказы на них фирме

Standard Telephones and Cables Limited

NORTH WOOLWICH LONDON, E. 16. АНГЛИЯ

ОТДЕЛЕНИЯ И ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ВО ВСЕМ МИРЕ

Megger



Фабриканты ряда приборов для испытания изоляции проводов составили на русск. языке полный список изготовленных ими аппаратов.

Требуйте по нижеуказанному адресу бесплатной присылки списка № В. 178.

ENGLAND

EVERSHED & VIGNOLES, LTD. CHISWICK LONDON

4-173
303

FERRANTI

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР переменного и постоянного тока

Этот новый прибор с вращающейся катушкой измеряет миллиамперы постоянного тока, вольты постоянного тока, вольты и омы переменного тока. Этот измеритель представляет собою комплектный прибор со встроенным элементом в 1½ вольта.

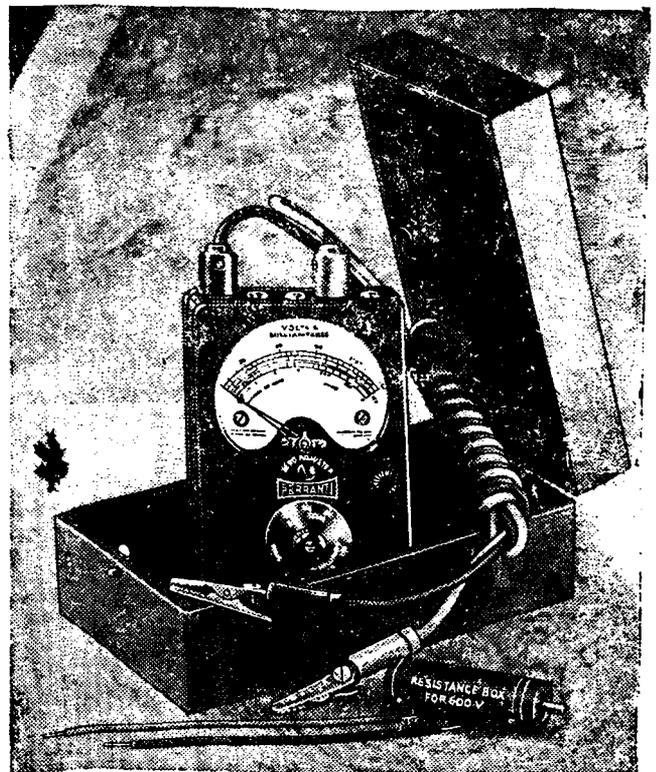
ПРЕДМЕТЫ ИЗМЕРЕНИЯ :

МИЛЛИАМПЕРЫ ПОСТ. ТОКА 0-1, 7.5, 30, 150, и 750.	} 1000 ом на ВОЛЬТ
ВОЛЬТЫ ПОСТ. ТОКА 0-3, 15, 150, 300, 450 и 600.	
ВОЛЬТЫ ПЕРЕМ. ТОКА 0-15, 150, 300, 450 и 600. От 20 до 4000 периодов в сек.	
МИЛЛИАМПЕРЫ ПЕРЕМ. ТОКА 10-1.	

СОПРОТИВЛЕНИЯ в пределах от 0 до 50.000 ом прибор измеряет сам по себе, а для предела измерения от 0 до 30 мегом требуется внешний источник постоянного тока до 600 вольт.

РАЗМЕРЫ 3½" x 4½" x 2½"

ЦЕНА 6 фунт., 8 шиллинг. и 6 пенсов, включая солидный ящик и все принадлежности.



Требуйте проспекты In. 1.

FERRANTI LTD. HOLLINWOOD, LANCs. (АНГЛИЯ)

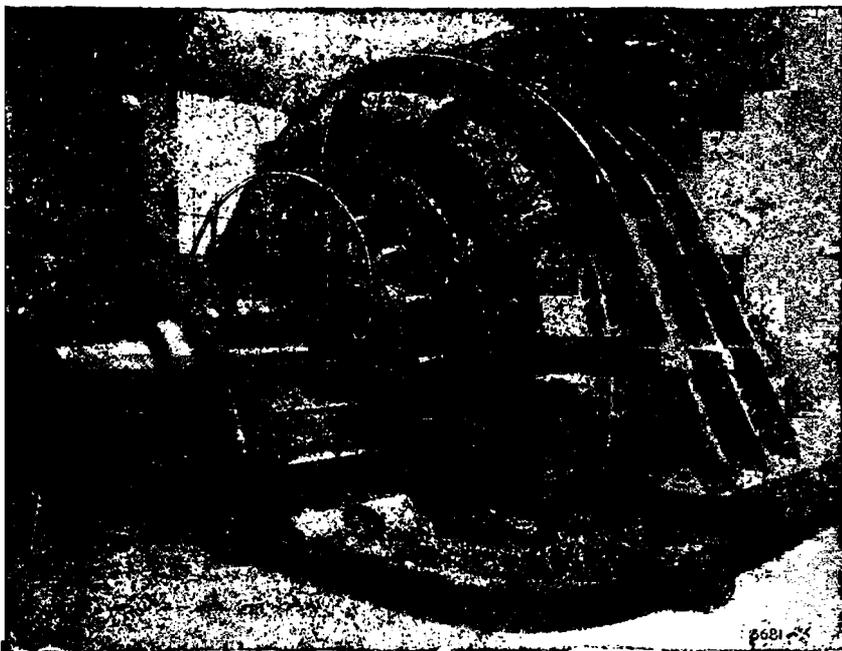
ЛОНДОНСКАЯ КОНТОРА :

BUSH HOUSE, ALDWYCH, LONDON, W.C.2.

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE

CHARLEROI

A. C. E. C.
CHARLEROI (Бельгия)



ЭЛЕКТРОМАШИНЫ

разной мощности
разного напряжения
разного применения

Реверсивный мотор постоянного тока для прокатного станка
от 4600-17 500 л. с., 1000 V, 50-120 об./мин.

865

N. V. NEDERLANDSCHE KABELFABRIEK

DELFT (Голландия)

■■■■

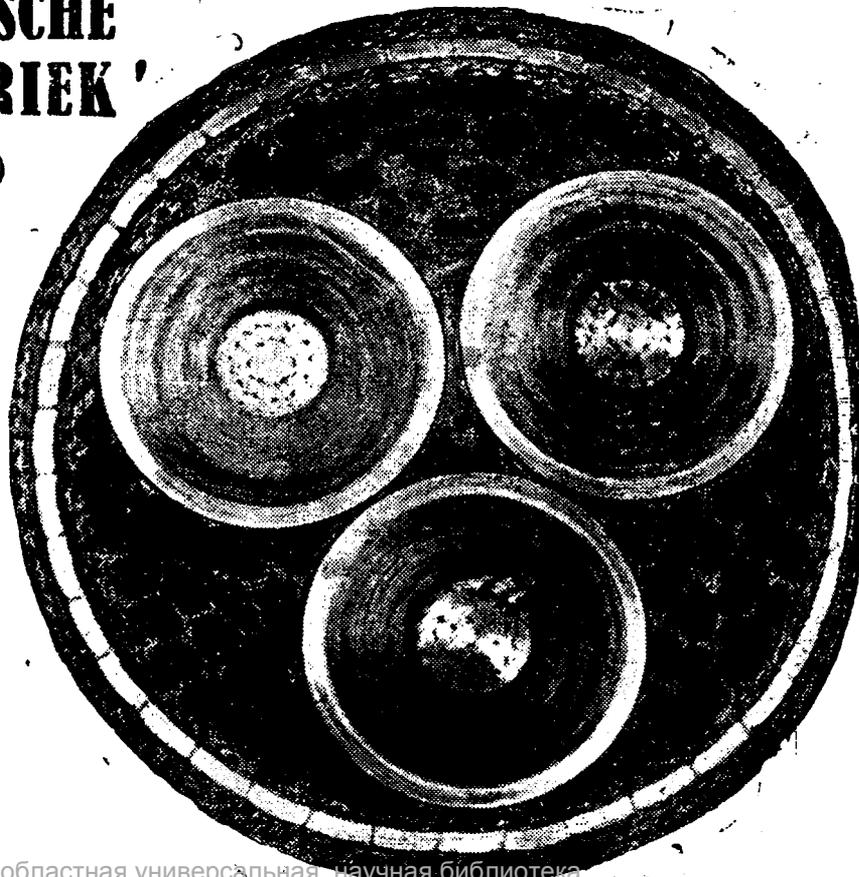
ПРОИЗВОДИТ:

Подземные электрические
кабели высокого и низкого
напряжения с бумажной
изоляцияй

Подземные телефонные и
сигнализационные кабели

Подводные кабели

Неизолированную проволоку
и неизолированные кабели
из электролитическ. меди



SOCIÉTÉ BELGE

POUR LA FABRICATION DES

CABLES ET FILS ÉLECTRIQUES S.A.

79, rue du Marché, BRUXELLES (Бельгия)

Ад. для телегр. :
FABRICABLE, Bruxelles

Телегр. Коды :
A. B. C. 5 и 6th, Bentley's

ИЗОЛИРОВАННАЯ ПРОВОЛОКА И КАБЕЛИ

для всех электротехнических целей

БРОНИРОВАННЫЕ КАБЕЛИ

низкого и высокого напряжения

ТЕЛЕФОННЫЕ КАБЕЛИ

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ТРУБКИ

с оцинкованной железной оболочкой и стальные

СТАЛЬНЫЕ

НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ ТРУБКИ

электросваренные, крытые красным и черным лаком

ES

ЛЮБОЕ электрическое измерение

при помощи
ОДНОГО прибора



АВОМЕТР

МОДЕЛЬ 7

(универсальный прибор с 46 шкалами)

Этот прибор с вращающейся катушкой и с большим числом шкал удобен для всяких электрических измерений. Он содержит 46 шкал. Нет надобности ни в отдельных шунтах, ни в добавочных сопротивлениях. Этот прибор отвечает британским нормам точности первого класса. В случае перегрузки, предохранительное устройство автоматически отключает прибор от источника тока. Для ошибок, могущих иметь место вследствие температурных колебаний, предусмотрена автоматическая компенсация.

ДРУГИЕ ПРИБОРЫ «АВО»

Универсальный прибор «АВОМЕТР» с 36 шкалами.

Универсальный прибор «АВОМИНОР».

Измеритель «АВО» для трубок.

Измеритель емкости «АВО».

Измеритель силы света «АВО».

THE AUTOMATIC COIL WINDER & ELECTRICAL EQUIPMENT Co., LTD.
Winder House, Douglas Street,
London S. W. 1. Англия.

Телегр. адр.: «Autowinda, Sowest, London.»

Более подробные
данные и цены со-
общаются фирмой:

310а

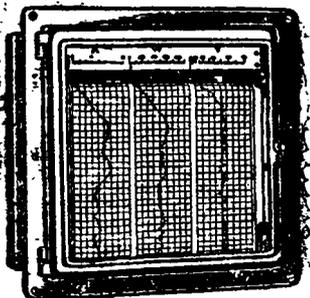
Trüb, Täuber & Co. A.G.

ФАБРИКА ЭЛЕКТРОИЗМЕ-
РИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И
НАУЧНЫХ АППАРАТОВ

ZÜRICH. 10, Ampèrstr. 3 (Швейцария)

САМОПИЩУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ для ОДНО- и МНОГОКРАТНЫХ ЗАПИСЕЙ,

переносные для включения в распределительные
доски с полосами бумаги для записей шириной в
70 мм., 150 мм. или 300 мм.



Тройной самопищущий ампер-,
ватт- и вольтметр для включе-
ния в распределительную доску

МЫ ЯВЛЯЕМСЯ ПОСТАВЩИКАМИ
ТЕХНОПРОМИМПОРТА, МОСКВА

856



Кабели для сильного тока с резиновой изоля-
цией и с пражтанной бумагой.
Нейтральные кабели - Телефонные кабели.
Проволока и кабели с резиновой изоляцией.

CABLERIES et CORDERIES du HAINAUT, S.A., DOUR
Бельгия.

861



КНИГОСБЫТ ГОНТИ

ПЕЧАТАЮТСЯ И ПРИНИМАЮТСЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАКАЗЫ:

ГАРВУД П. Автоматическое управление электрическими двигателями. Перевод с англ. инж. Н. Н. Стефановича. ГОНТИ. Гл. ред. энерг. л-ры. 14 л. Т. 5000.

Содержание. Реостаты и контроллеры с ручным управлением. Характеристики двигателей постоянного тока. Контактные реле постоянного тока. Крановые контроллеры для силового спуска грузов и т. д.

Для инженеров-электриков.

ГРЕБЕНЬ И. Распределительное устройство для новых типов высоковольтной аппаратуры. (Атлас с пояснениями). ГНТИУ. 7 л. Т. 4000.

Книга охватывает обширный круг типовых распределительных устройств и знакомит читателя со значительным многообразием возможных форм использования новейших высоковольтных аппаратов.

Для инженерно-технических работников-энергетиков.

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ:

ВАГНЕР К. Ф. и ЭВАНС Д. Метод симметрических составляющих в применении к анализу несимметрических электрических цепей. С введением К. Л. Фортецкого. ОНТИ. Гл. ред. энерг. л-ры. 1936. Стр. 408. Ц. в пер. 5 р. 75 к.

Руководство по расчету токов коротких замыканий методом симметрических составляющих. Изложение иллюстрировано многочисленными схемами, графиками и примерами, значительно облегчающими усвоение предмета и упрощающими расчеты.

Пособие для энергетических вузов; может служить пособием для инженерно-технических работников.

ВЕШЕНЕВСКИЙ С. Н. Расчет сопротивлений для электродвигателей. ГОНТИ. Ред. энерг. л-ры. 1938. Стр. 252. Т. 4000. Ц. 4 р. 50 к., пер. 75 к.

Изложение практических методов расчета пусковых, тормозных и регулирующих сопротивлений для двигателей постоянного и переменного тока. Даются схемы сопротивлений и примеры расчетов.

Для инженеров и техников проектных отделов, а также работающих по монтажу электрооборудования и по эксплуатации электроприводов.

ВУЛЬФ А. А., проф. Устойчивость параллельной работы электрических станций. Утверждено ГУУЗ НКТП в качестве учебника для энергетических вузов. ГОНТИ. Гл. ред. энерг. л-ры. 1938. Стр. 160. Т. 5000. Ц. 2 р. 25 к., пер. 1 р. 50 к.

В краткой форме даются основные сведения о физике явлений, определяющих устойчивость параллельной работы электрических систем и приводятся необходимые сведения для расчетов в объеме, необходимом для инженерной практики.

ГАУФФЕ Г. Геометрические места в технике сильных токов. Введение в теорию и применение. ОНТИ. Гл. ред. энерг. л-ры. 1935. Стр. 176. Ц. 2 р. 20 к.

Подробно излагается теория геометрических мест и практика ее применения к исследованию рабочих свойств линий электропередач и электрических машин.

Для студентов и инженеров-электриков.

СБОРНИК докладов, представленных Комитетом по участию СССР в международных энергетических объединениях, на VIII конференции по большим электрическим сетям высокого напряжения. (Париж 1935 г.) ОНТИ. Гл. ред. энерг. л-ры. 1937. Стр. 316. (Комитет по участию СССР в международных энергетических объединениях). Ц. 12 р., пер. 1 р. 25 к.

Среди докладов: В. Вейц — Развитие электросистем и строительство централизованной электроэнергетической базы народного хозяйства. И. С. Стекольников — Современные воззрения на явления грозового разряда. Проф. О. Б. Брон и инж. В. С. Александров — Круговой огонь на коллекторе машин постоянного тока.

Для научных и инженерно-технических работников-энергетиков.

ШТУРМАН Г. Несимметрия вторичных цепей в асинхронных машинах. ОНТИ. Гл. ред. энерг. л-ры. 1935. Стр. 144. Ц. 2 р. 75 к.

Монография составлена по материалам работ машинной лаборатории Харьковского электромеханического завода им. Сталина и по материалам, опубликованным в иностранной печати.

Для инженеров-электриков, научных работников, а также для студентов энергетических вузов.

ПРОДАЖА В МАГАЗИНАХ и КИОСКАХ КНИГОСБЫТА ГОНТИ и КОГИЗ'а

Желающие могут получить книгу по почте: МОСКВА, Рыбный пер., 2, помещение 26, „ТЕХКНИГА — ПОЧТОЙ“. ♦ ЛЕНИНГРАД, В. О., 4-я линия, д. 13 „ТЕХКНИГА — ПОЧТОЙ“. ♦ КИЕВ, ул. Свердлова, д. 2 „ТЕХКНИГА — ПОЧТОЙ“.

КНИГИ ВЫСЫЛАЮТСЯ НАЛОЖНЫМ ПЛАТЕЖОМ БЕЗ ЗАДАТКА