

621.3(05)  
345  
0-366694



**А. Н. ЛОДЫГИН**  
Пионер русской электротехники

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

# КНИГА

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Широко развернуть строительство малых гидроэлектростанций . . . . .	1	Вислоух Л. А. и Воронин А. В.—Пляска проводов контактной сети электрических железных дорог . . . . .
Каргулов Н. А.—Использование малых вододействующих установок для электрификации сельского хозяйства . . . . .	3	Марквардт К. Г.—Определение потерь напряжения в контактной сети с учетом проводимости грунта . . . . .
Гиндус Д. О.—«Микрогэс»—автоматические гидроэлектрические агрегаты для малой электрификации . . . . .	8	Воробьев В. А.—Пробой бумажной изоляции в зависимости от температуры . . . . .
Шенфельд К. И. и Иванов А. А.—Генератор постоянного напряжения для колхозных ветроэлектростанций . . . . .	14	Мантьров М. И.—Электрические разряды на поверхности диэлектриков . . . . .
Богданов Н. И.—Компаундирование синхронных генераторов . . . . .	16	Бамдас А. М. и Беляев Б. В.—Анализ режима холостого хода трансформатора с подвижной короткозамкнутой обмоткой . . . . .
Иванов А. А.—Компаундированный асинхронный генератор . . . . .	18	Кратиров А. Д.—Резонансный ограничитель тока . . . . .
Шницлер Л. М.—О главе шестнадцатой «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей» . . . . .	21	Бобов К. С.—Основные способы искрогашения на выключающих контактах . . . . .
Соловьев В. А. и Бондаревский Д. И.—Новые «Правила защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами» . . . . .	22	Лютов С. А.—Защита радиоприема от помех, распространяющихся по троллейбусной линии . . . . .
Комельков В. С.—Исследование импульсных искровых разрядов . . . . .	24	Тареев Б. М.—Электризационные материалы из бентонита . . . . .
Калинин Е. В.—Защитное действие разрядников с зависимым сопротивлением при близком прямом ударе молнии . . . . .	27	Тишкин К. Е.—Универсальные таблицы для определения монтажных стрел провеса проводов из основных материалов . . . . .
Киселев А. П.—Влияние освещения на пробивное напряжение в системе электродов шар—плоскость . . . . .	31	Островский Е. П.—Лаборатория электромагнетизма им. Максвела . . . . .
Захаров В. П.—Принципы построения распределительных сетей общего пользования . . . . .	34	Радовский М. И.—Исследование Эпинуса в области электромагнетики (1724—1802) . . . . .
Вексельман О. Г.—К вопросу применения железных проводов . . . . .	37	Письма в редакцию . . . . .
Файнберг Ю. М.—Об экономии цветных металлов в моторных сетях . . . . .	39	Библиография . . . . .
Извеков Р. Г.—Основные соотношения для контура газосветной лампы . . . . .	42	Рефераты . . . . .
Вайнберг А. Я.—К теории точных измерений весьма малых сопротивлений . . . . .	48	На обложке — А. Н. Лодыгин, пионер русской электротехники, журнала «Электричество» (1880—1940).

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1880 Г.

9

1940

СЕНТЯБРЬ

ОРГАН НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ и АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144; тел. В 2-45-63

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

## ШИРОКО РАЗВЕРНУТЬ СТРОИТЕЛЬСТВО МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Известно, какое большое значение В. И. Ленин придавал строительству малых сельских электростанций, как он лично выезжал 14 ноября 1920 г. вместе с Н. К. Крупской в Волоколамский район Московской области на Ярополецкую гидроэлектростанцию и затем много помогал электрификации этого района.

Выступая 23 декабря 1921 г. на IX Всероссийском съезде Советов, В. И. Ленин специально подчеркнул значение и роль сельских электроустановок:

«Этими мелкими станциями были созданы в деревне центры современной новой крупной промышленности. Они хотя и ничтожны, но все же показывают крестьянам, что Россия не остановится на ручном труде, не останется со своей примитивной деревенской сохой, а пойдет вперед к другим временам». (Ленин, соч. т. XXVII, стр. 134).

Действительно, с того времени хозяйственная ющь Страны Советов неизмеримо возросла.

В социалистическом сельском хозяйстве под руководством товарища Сталина окончательно победил путь высокопроизводительного коллективного труда.

Указывая на необходимость завершения в тринадцатилетке комплексной механизации сельскохозяйственных работ, XVIII съезд ВКП(б) по докладу товарища Молотова о третьем пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР постановил широко развернуть строительство мелких колхозных гидростанций, ветровых и газогенераторных электроустановок на местном топливе».

Это указание развито в постановлении Экономического Совета при Совнаркоме СССР № 618 от июня 1939 г., где указывается, что строительство гидроэлектростанций малой мощности является «одним из основных средств электрификации сельского хозяйства и районных центров».

Необходимость базировать сельскохозяйственную электрификацию, главным образом, на мелких гидроэнергетических установках объясняется рядом преимуществ последних, сравнительно с электростанциями.

ГЭС содействуют экономии топлива, в жидкого горючего, еще недопустимоши-

роко применяющегося в области стационарной сельскохозяйственной энергетики.

Для строительства малых гэс могут и должны широко использоваться местные строительные материалы. Исключительно велика роль трудового участия колхозников в строительстве малых гэс.

В большинстве районов СССР использование водных сил издавна широко практикуется чаще всего с целью привода мельничных поставов, для чего на малых реках сооружено большое количество плотин и находящихся при них вододействующих силовых установок.

Во многих случаях эти готовые плотины и перепады могут быть с успехом использованы в целях сельской электрификации.

Плотины малых гэс одновременно с перепадами образуют глубоководные бьефы, полезные с точки зрения водного благоустройства села. Эти пруды и водоемы облегчают задачи водоснабжения колхозов и полива огородов, упорядочивают противопожарные мероприятия, нередко разрешают задачи местного водного транспорта и рыбоводства.

В настоящее время количество малых сельскохозяйственных гэс достигло 700 с суммарной мощностью более 40 000 киловатт.

Особенно широкое развитие получило строительство малых гэс в течение последнего десятилетия. Так, в Белорусской ССР только за период времени с 1936 г. по 1939 г. вступили в строй 23 колхозных гэс. В Грузинской ССР за годы сталинских пятилеток сооружено 26 малых гэс, общей мощностью 3590 л. с., снабжающих электроэнергией 106 селений. Эти гэс располагают 260 километрами высоковольтных линий, питающих 138 понизительных подстанций.

Однако в строительстве новых малых гэс имеются крупные недостатки.

В то время как по плану в 1940 г. должно строиться 356 малых гэс на суммарную мощность в 39 170 киловатт (в том числе 92 переходящих объекта с общей мощностью 12 213 киловатт), к середине года строилось фактически лишь 118 гэс. Из 223 готовых проектов гэс получили утверждение лишь 119 проектов, что свидетельствует о низком качестве многих проектов. План проектно-изыскатель-

тельских работ выполнен только на 35%. За первое полугодие 1940 г. сдано в эксплуатацию всего лишь 10 новых гэс.

Причины подобного отставания объясняются плохой подготовкой Главсельэлектро Наркомзема СССР к организации изысканий, проектирования и строительства в 1940 г. Кроме того, наряду с заботливым отношением со стороны некоторых республиканских и областных организаций к строительству малых гэс (Белорусская ССР, Осетинская АССР, Ивановская обл.), значительное количество местных организаций (Чувашская АССР, Новосибирская обл., Калининская обл. и др.) не проявляют необходимой заботы об этом деле.

Отбор объектов строительства гэс производится часто без учета технико-экономической целесообразности, а иногда и без учета финансовых возможностей заинтересованных колхозов.

Со стороны заводов-изготовителей отсутствует действительная борьба за выполнение установленной правительством программы выпуска турбин в 1940 г. Из 300 штук турбин годовой программы за первое полугодие изготовлено всего лишь 22 штуки. Автоматические регуляторы числа оборотов сняты с производства Ленинградского металлического завода им. Сталина, и ни один из заводов этих регуляторов сейчас не изготавливает.

В настоящее время турбины для малых гэс изготавливаются преимущественно в единичных экземплярах на небольших периферийных заводах местной промышленности (например, в Нальчике, Бобруйске, Ереване, Благовещенске), не располагающих удовлетворительным оборудованием и достаточно квалифицированными кадрами. Техническая помощь производству гидротурбин со стороны завода им. Калинина фактически почти не осуществляется. В результате выпускаемые турбины при высокой стоимости нередко бывают низкого качества.

Для решительного улучшения малого гидротурбиностроения и выполнения заданий третьей пятилетки по строительству малых гэс необходимо в ближайшее же время создать центральный завод, специализированный в области малых водяных турбин, который должен располагать надлежащим оборудованием и квалифицированными конструкторскими кадрами. На центральный завод следует возложить: разработку проектов и технологических процессов изготовления турбин, предназначенных к производству; оказание периферийным заводам необходимой технической помощи в деле серийного выпуска турбин, включая централизованное изготовление некоторых ответственных и сложных деталей; комплектный выпуск наиболее крупных и сложных моделей турбин, а также и регуляторов скорости гидравлического действия.

Необходимо резко увеличить выпуск всех видов и размеров машинного оборудования для малых гэс — водяных турбин, редукторов к ним, специальных гидрогенераторов, регуляторов скорости.

Наиболее важно наладить серийное производство простых и дешевых водяных турбин современных моделей мощностью от 5—10 киловатт до 300—400 киловатт.

При выборе типов следует отдать предпочтение простым и хорошо освоенным типам турбин, в частности, турбине Фрэнсиса, а при больших мощностях и малых напорах — пропеллерным турбинам несложных конструкций.

Турбины должны выпускаться комплектно с приводным устройством к электрическому генератору.

Необходимо разработать и передать в производство серии конструкций передаточных устройств с применением, наряду с прежними оправдавшими себя типами, новых систем привода, в частности, прецизионного зубчатого редуктора, клиновременного привода «Тексроп» и других.

Далее следует наладить выпуск некоторых типов специальных электрических генераторов для малых гэс: вертикальных трехфазных машин, генераторов небольшой мощности постоянного тока, предназначенных для работы с поддержанием постоянного напряжения при переменном числе оборотов и при изменении нагрузки.

Особо следует отметить необходимость разработки и внедрения в практику сельскохозяйственных гэс несложных электроавтоматических устройств управления, наблюдения и защиты. Среди них может быть, например, указан электрический регулятор скорости и напряжения, предложенный Всесоюзным институтом механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ).

Главсельэлектро и наркомат электропромышленности СССР должны взять под особое наблюдение дело реализации постановления Экономсовета при Совнаркоме СССР в части дальнейшего освоения и внедрения в производство автоматических установок типа «Микрогэс».

В Советском Союзе, а также и за границей иссле довательская мысль разработала ряд новых упрощенных и удаешевленных систем сельскохозяйственных электрических сетей. Так, ВИМЭ для сельскохозяйственных районов предложена «смешанная» система распределения электроэнергии, при которой сравнительно мощные электродвигатели пытаются трехфазным током по схеме «два провода — земля», а малые двигатели мощностью до 5—6 киловатт и осветительные токоприемники питают однофазным током по системе «один провод — земля». Эта система дает экономию до 50% металлических проводов и 25% экономии средств. Внедрение практику смешанной системы сельскохозяйственного электрораспределения тормозится из-за отсутствия специального оборудования, не более сложно го, чем обычно применяющиеся: однофазных трансформаторов мощностью 3—10 киловольтампер и однофазных электродвигателей мощностью до 5 киловатт с электролитическими конденсаторами и переменного тока.

Таким образом одной из основных задач электропромышленности в области сельской электрификации является массовый выпуск специального оборудования для сельскохозяйственных электросетей питаемых в большинстве случаев от малых гэс.

Далее, в деле эксплуатации малых гэс также имеются еще крупные недостатки. Качество электроэнергии, вырабатываемой гэс, во многих случаях бывает недопустимо низко. В часы пик нагрузки напряжение на токоприемниках и частота нередко снижаются на десятки процентов; в зимние сутки продолжительность питания потребителей иногда сокращается 2—3 часов. Потери электроэнергии при ее распределении от малых гэс продолжают оставаться значительными.

Электрооборудование и гидромашинное оборудование малых гэс иногда в течение ряда лет не подвергаются технической ревизии и не ремонтируются, вследствие чего некоторые части оборудования выходят из строя. Аварийность и несчастные случаи вследствие нарушения правил технической эксплуатации и требований техники безопасности

людаются на малых гэс и связанных с ними сетях в большом количестве. Особенно часты случаи из-за плохого состояния противогрозовой защиты в установках малых гэс: несвоевременная проверка и ремонт разрядников, отсутствие проверки заземлений и т. п. Все это свидетельствует о необходимости специальной подготовки квалифицированных кадров турбинных машинистов, электротехников, техников и инженеров для правильной организации и технически грамотной эксплуатации малых гэс.

Принятые системы тарифа не содействуют экономии электроэнергии и не создают хозяйственных стимулов для улучшения параметров энергии, отдаемой гэс.

Отсюда следует, что технический надзор за работающими малыми гэс, являющийся настолько же важным и ответственным делом, как и руководство строительством гидростанций, должен быть вскоре пересмотрен и усилен. Особое внимание должно быть удалено при этом задаче использования всей производственной мощности малых гэс, ввиду того что некоторые из них не загружены полностью (например, в Грузинской ССР).

Наконец, должны получить свое разрешение основные организационные вопросы в области руководства малой гидроэнергетикой.

В ряде случаев организационная разобщенность руководства малыми гэс наносит ущерб делу электрификации районов. В качестве примера можно указать случай, когда несколько малых гэс работают в бассейне одной реки и поэтому должны быть тесно

объединены общим эксплоатационным режимом и системой надзора. Фактически же эти гэс оказываются хозяйственно совершенно разобщенными вследствие принадлежности их к организациям различных ведомств — колхозы, совхозы, местпром и прочее, — что не может не снижать их энергетической эффективности (например, группа гэс на р. Ламе, Московская область).

Весь опыт электрификации социалистического сельского хозяйства указывает на громадную революционизирующую роль электроэнергии как в смысле непосредственного повышения производительности труда в сельском хозяйстве, так и в отношении подъема общего культурного уровня колхозников и коренного улучшения условий их быта.

Большое внимание и помощь со стороны партии и правительства делу развития малой гидроэнергетики обязывают сосредоточить все усилия на скорейшем преодолении указанных выше недостатков и трудностей роста и обеспечить социалистическому сельскому хозяйству создание мощной и высококачественной энергетической базы в виде тысяч новых эффективных гидроэлектрических установок.

Серьезную помочь в решении этой народно-хозяйственной задачи должны оказать научно-исследовательские институты во главе с Академией наук ССР. Создаваемое Академией наук в I квартале 1941 г. специальное совещание по проблеме освоения малых рек должно будет сыграть в этой области значительную роль.

## Использование малых вододействующих установок для электрификации сельского хозяйства<sup>1</sup>

Н. А. КАРАУЛОВ

Энергетический институт Академии наук ССР

Среди вопросов строительства малых гэс в целях электрификации сельского хозяйства недостаточно вещена важная задача использования готовых плотин и перепадов.

Следует отметить, что специальное постановление Правительства СНК ССР от 26 июня 1939 г. прямо указывает, что «при отборе объектов строительства таких гидростанций ориентироваться, в первую очередь, на использование существующих плотин и перепадов....».

На малых реках Союза ССР располагается несколько десятков тысяч небольших вододействующих силовых установок, главным образом мельниц. Ютины этих установок на многих реках, например, вдоль полосы Европейской равнины ССР, не- сколько образуют взаимно смыкающиеся бьефы, что превращает такие малые реки в непрерывную цепь сильно глубоких водоемов или плесов с замедленным течением, перемежающихся в местах соединений сосредоточенными перепадами.

Первая нам известная попытка учесть и охарак-

<sup>1</sup> Упоминание из работы автора, являющейся частью его исследования, посвященного научным основам энергетики сельскохозяйственных районов, выполненному в отделе общей энергетики под руководством члена-корреспондента Академии наук проф. В. И. Вейца.

теризовать малые вододействующие силовые установки была произведена в 1912—1913 гг. VI отделом Русского технического общества. В результате этого обследования получены следующие данные, отнесенные к теперешней территории ССР. Всего было зарегистрировано на малых реках 40 397 установок общей мощностью 512 240 л. с. при средней мощности одной установки 12,7 л. с. (9,4 kW). Из суммарной установленной мощности 18,4% были представлены водяными турбинами и 81,6% — водяными колесами. По количеству двигателей водяные турбины составляли всего 6%. Для центра Европейской равнины ССР средняя мощность мельничной установки составляла величину порядка 15 л. с. (11 kW).

Далее, в 1925 г. на территории бывшей Тверской губернии вододействующие силовые установки были обследованы инженерно-мелиоративным подотделом Тверского ГЗУ. Были обследованы 663 водяные мельницы общей мощностью 12 257 л. с. при средней мощности установки 18,5 л. с. (13,5 kW).

Для Тверской губернии площадь территории, обслуживавшаяся одной водяной мельничной установкой (91,4 km<sup>2</sup>), была относительно невелика и, в частности, приблизительно вдвое меньше этой же площади, средней для всего Союза (194 km<sup>2</sup>).

Несколько позже — в 1925 — 1928 гг. Центральной гидрологической станцией Наркомзема были обследованы существующие плотины в районе средней полосы Европейской равнины СССР. Это обследование показало, что средние напоры на плотинах изменяются для отдельных рек в пределах от 1,7 м до 4,37 м при средней величине напора 3,03 м. Важно также указание о том, что 61% обследованных плотин находилось в хорошем и удовлетворительном состоянии.

В 1939 г. Энергетический институт Академии наук СССР обследовал существующие вододействующие силовые установки в бассейнах рек Тьмы ( $F = 1864 \text{ km}^2$ ), Медведицы ( $F = 6530 \text{ km}^2$ ), Усты ( $F = 5707 \text{ km}^2$ ) и Пьяны ( $F = 7878 \text{ km}^2$ ), принадлежащих бассейну р. Волги. Всего, на этих реках изучено 90 установок.

Эти обследования показали, что существующие мельничные силовые установки загружены очень слабо. Среднее использование их изменяется от 823 h на юге до 505 h на севере Горьковской области.

Из данных, полученных нашим обследованием, вытекает, что в центральном районе Европейской равнины СССР возможно переоборудовать в малые гэс мощностью 10—30 kW всего около 1500 существующих установок общей мощностью порядка 30 MW, способных обслужить около 300 000 колхозных дворов или 3000 колхозов.

Для средней полосы Европейской равнины СССР по отношению к рассматриваемой здесь проблеме важно знать следующее: порядок величины мощности, которую в преобладающем числе случаев можно получить на существующих мельничных створах; наиболее часто встречающиеся величины напора водяных мельниц; состояние сохранности плотин и силового аппарата мельниц; перспективы для повышения существующих напоров и используемых сейчас мощностей вододействующих силовых установок; технические возможности для установки турбин и генераторов в мельничных зданиях и система привода к мельничному поставу; требования, предъявляемые к гидро- и электромеханическому оборудованию, устанавливаемому на мельничных гэс, и перспективы применения автоматики в этой области; первоначальная и перспективная энергетическая задача малых мельниц гэс и оптимальный режим их работы; экономические предпосылки для использования готовых перепадов в целях сельской электрификации и преимущество этого мероприятия перед сооружением гэс заново.

Располагая ответами на поставленные здесь вопросы, можно подойти к решению ряда других задач более общей, основной проблемы, касающейся реконструкции всего энергобаланса сельскохозяйственного района.

Широкое применение готовых плотин и перепадов в деле развертывания малого гидроэнергостроительства (от 10 kW до 30 kW), рассматриваемое, как весьма рациональное использование крупнейшего внутреннего резерва, никаким образом не должно и не может устранить необходимости в строительстве более мощных небольших гэс (более 30 kW). Более того, преобладающая часть вводимой мощности небольших гэс должна быть представлена именно этим типом более крупных небольших гэс, возведенных в большинстве случаев при вновь сооруженных плотинах и построенных с применением усовершенствованного оборудования и улучшенных строительных конструкций инженерного типа, хотя

по количеству введенных единиц, мельничные гэс могут и преобладать.

Малая мельничная гэс, сооружаемая в средней полосе Европейской равнины СССР в соответствии с теми требованиями, которые к ней предъявляют колхозным сельским хозяйством, должна отличаться следующими особенностями:

а) гэс сооружается на базе существующей водной мельницы с использованием готовой плотины а также по возможности существующего мельничного здания, что, как показывает опыт, дает экономию до 40—50% на первоначальных капитальных вложениях; на гэс применяется гидромеханическое оборудование упрощенного типа;

б) гэс является комбинированной установкой, которой осуществляется механический привод от турбины к электрическому генератору, к мельничному жернову и к сельскохозяйственным машинам орудиям;

в) гэс осуществляет начальную электрификацию колхозных хозяйств при несколько пониженных удельных нормах электропотребления.

При этом, однако, необходимо учитывать, чтобы зировать на готовых сооружениях следует в первую очередь небольшие гидроэлектрические установки мощностью 10—30 kW. Только для установок такого интервала мощности рационально применять гидромеханическое оборудование упрощенного типа. Однако в ряде единичных случаев сооружение при готовых плотинах более мощных гэс (50—100—200 kW) представляется возможным и необходимым.

В условиях малых вододействующих силовых установок мощностью менее 30 kW, в отличие от более мощных гэс, явно преобладает ряд положительных качеств механического привода ряда сельскохозяйственных машин (мельничный привод) и достоинствами их электродвигательного привода. Пуск электродвигателей переменного тока при мощности его, близкой к мощности генератора, очевидно затруднителен, часто даже невозможен. При расположении как водяной турбины, так и мельничного постава под одной кровлей электродвигатель является лишним удороожающим звеном. Малые электродвигатели пока дефицитны, вследствие чего отказ от них в малых гэс очень желателен.

При этом не исключается также целесообразное применения отдельных малых электродвигателей (до 5 kW), параллельно с механическим приводом более мощных сельскохозяйственных машин.

Малые гэс на базе готовых плотин и перепадов особенно широко должны будут создаваться в течение ближайших лет — в начальных условиях развертывания электрификации социалистического сельского хозяйства при незначительной пока роли электроэнергии в энергобалансе местных сельскохозяйственных районов.

С точки зрения экономики электроснабжения в выборе объектов сооружения малых мельничных гэс в первую очередь следует останавливаться на тех нередко встречающихся случаях, когда возможно осуществить питание электроэнергией достаточно крупных колхозных селений, располагающих в непосредственной близости от установки и поэтому не требующих длинных питательных линий. В этом случае часто представляется возможным пределять электроэнергию генераторным напряжением, что со своей стороны имеет значительные технические и экономические достоинства, весьма ценные в особенности для мельничных гэс.

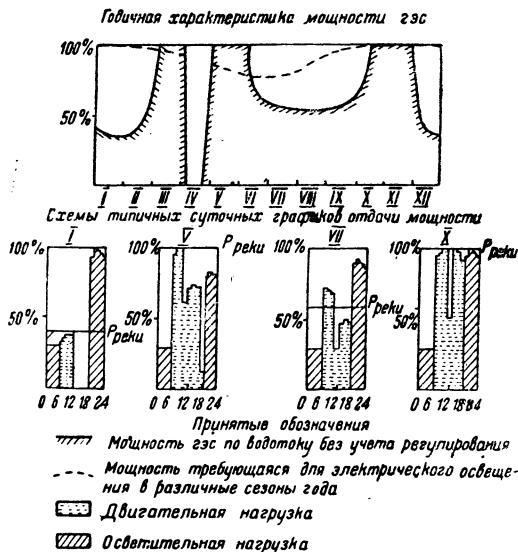


Рис. 1  
Малая гэс.

Главным потребителем электроэнергии малых мельничных гэс явится осветительная нагрузка.

Сельскохозяйственная двигательная нагрузка от турбины, вместе с мельничным приводом, может и должна удовлетворяться преимущественно в те периоды года, когда мощность потока велика — весной и осенью, т. е. тогда, когда установка (турбина) длительную часть суток может работать всей своей мощностью.

Из сопоставления ряда противоречивых факторов, характеризующих малую мельничную гэс, следует, что отрицательные для экономики черты установки: несколько пониженное значение коэффициента использования электрической части установки и уменьшенные удельные нормы электропотребления могут и должны компенсироваться чертами положительными — использование готовых гидротехнических сооружений и уменьшенная протяженность электрической сети.

Указанный путь экстенсивной, если так можно назвать, электрификации колхозного села от мельничной гэс при некотором регулировании электропотребления должен рассматриваться лишь как временный.

Надлежащая интенсивная электрификация колхозного хозяйства, с применением электродвигательного привода, должна быть выполнена путем объединения ряда малых сельских электросетей в одну крупненную, с питанием последней от более мощных и лучше зарегулированных гидравлических электростанций, а также тепловых (газогенераторных) электростанций или же путем присоединения районным высоковольтным электрическим сетям.

\* \*

Особенности малых мельничных гэс лучше всего могут быть выявлены при сравнительном рассмотрении условных графиков мощности соответственно для небольшой гэс и для малой мельничной гэс, изображенных на рис. 1 и 2.

Приведенные годичные графики схематически показывают ход изменения мощности гэс по водотоку с указанием: минимальной мощности, связанной с наименьшими расходами воды в реке; периода наибольшей мощности гэс, охватывающего весну и начало и включающего апрельскую паузу в работе, которая связана с падением величины напора на месяц и более при прохождении пика ве-

сеннего паводка; малых мощностей гэс во время периода летней межени; второго повышения мощности гэс, связанного с осенними дождями.

Пунктирной жирной линией на графике показана мощность, требующаяся для удовлетворения осветительного графика, т. е. дана линия максимумов осветительной нагрузки. Для мельничной гэс летнее снижение пика осветительной нагрузки повидимому должно быть более значительным, так как гэс этого типа практически будут питать главным образом бытовое освещение, при незначительном влиянии более постоянной осветительной составляющей производственного освещения.

Для мельничной гэс при установлении режима покрытия графика осветительного электропотребления следует исходить из некоторой минимальной, но достаточно удовлетворительно отвечающей запросам потребителей мощности осветительных точек, которая должна рассматриваться, как расчетная присоединенная их мощность и которая обычно присоединяется к сети на зимний маловодный период года. В те же сезоны года (весна, начало лета, осень), когда располагаемая мощность гэс возрастает, возможно несколько увеличить световое электропотребление сверх минимально достаточного, путем установки других более мощных электроламп. Этим последним мероприятием и следует ограничить регулирование осветительного энергопотребления малых мельничных гэс, без нарушения интересов потребителей электроэнергии.

Для пояснения изложенных выше положений полезно рассмотреть условный схематический график работы малой мельничной гэс за характерные сутки в различные сезоны года.

Зимний январский график может состоять только из питания вечерней осветительной нагрузки. Чаще всего поток малого водосбора практически исключает возможность удовлетворения двигательной нагрузки в зимнее время.

Майский весенний график нагрузки характеризуется возможностью работать круглые сутки полной мощностью установки, не прибегая при избытке воды к суточному регулированию. В это свефлое время года снижается использование присоединенной осветительной мощности, открываются возмож-

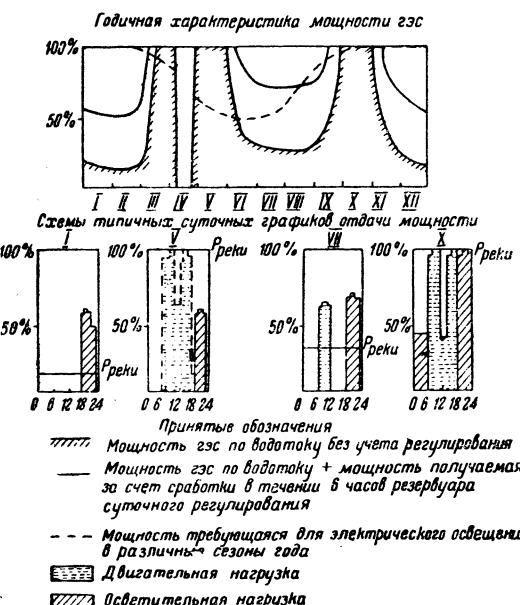


Рис. 2  
Малая мельничная гэс.

ности для включения на неограниченное время в течение суток двигательной нагрузки.

Следует отметить, что к весне почти вся продукция сельского хозяйства, собранная предыдущей осенью, оказывается обработанной. Поэтому весенняя механическая нагрузка малой гэс может базироваться скорее на производствах, связанных с кустарными промыслами, с заготовкой и обработкой местных строительных материалов и прочее.

В весенний сезон, когда гидростанция работает полной или большой мощностью, как известно, включается период остановки гэс, связанный с прохождением паводка. В случае малых мельничных гэс, эта пауза в работе естественно и неизбежно связана с полным прекращением отдачи энергии потребителям иногда на длительный срок. Однако в условиях электрификации колхозного села, располагающего в настоящее время сложным сельскохозяйственным инвентарем, допустимость перерыва в энергоснабжении требует особого рассмотрения и, в частности, исследования возможностей временного применения теплового резерва в виде, например, тракторного привода электрогенератора и т. д.

Суточный график августа месяца характеризуется небольшими (меженными) расходами воды в реке, несколько возросшим осветительным электропотреблением и появлением сельскохозяйственной двигательной нагрузки, связанной с реализацией урожая текущего года (молотьба, начало помола зерна и пр.).

В этот месяц, помимо осветительной нагрузки, возможно также удовлетворение некоторой производственной двигательной нагрузки, что для сельского хозяйства в это время особенно важно.

В октябре месяце, так же как и в мае, в средний год расходы воды потока позволяют малой гэс работать полной мощностью. Осветительная нагрузка в это время возрастает до своего максимума и удовлетворяется полностью. Производственная двигательная нагрузка широко предъявляется со стороны колхоза и может быть также полностью удовлетворена благодаря возросшей, вследствие осенних дождей, мощности потока.

Октябрь месяц в средней полосе Европейской равнины СССР является сезоном наиболее интенсивной работы малых гэс.

Приведенное рассмотрение вскрывает особенности режима работы малых мельничных гэс и указывает принципиальные основы выбора их установленной мощности, заключающиеся для типичного случая в том, что мощность электрического генератора устанавливается, исходя из зимней мощности водотока, при суточном регулировании, обеспечивающем осветительную нагрузку, а мощность водяной турбины должна соответствовать мощности генератора или мощности крупнейшей приводимой сельскохозяйственной машины.

\*\*

Машинное и механическое оборудование малых мельничных гэс должно быть безусловно надежным, иметь достаточно высокий к. п. д. и вместе с тем должно быть максимально простым и экономичным. Кроме того, оборудование малых мельничных гэс мощностью 10—30 kW должно отвечать комплексной задаче последних.

Против территориального совмещения под одной кровлей мельницы и электростанции может быть выдвинуто возражение, сводящееся к тому, что

мучная пыль, взвешенная в воздухе, в известных условиях способна взрываться. Однако в рассматриваемом случае мельничной гэс это возражение отпадает, вследствие того, что мельница и генератор должны работать неодновременно и в отдаленных друг от друга помещениях.

Сельские вододействующие силовые установки (мельницы), расположенные, в частности, в средней полосе Европейской равнины СССР, оборудованы преимущественно обычновенными деревянными наливными и подливными водяными колесами. Однако в отдельных областях Европейской равнины СССР дело обстоит иначе. Так, в Калининской области в течение ряда лет интенсивно производится замена деревянных водяных колес значительно более удобными кустарными турбинами. Эти кустарные турбины обычно принадлежат к группе турбин аксиального типа, близкого к турбине Жонвала, хотя некоторое распространение имеют и радиальные турбины типа Френсиса. Турбины изготавливаются диаметром приблизительно до 1,5 м и делают 50—60 об/мин, т. е. в 3—10 раз больше, чем обычные деревянные колеса.

Гидротурбины мощностью 10—30 kW, предназначаемые для малых гэс, могут быть по конструктивным признакам подразделены на три группы:

а) водяные турбины упрощенной системы и конструкции, специально предназначенные для изготовления их на технически скромно вооруженных небольших заводах и мастерских;

б) водяные турбины нормальной общепринятой конструкции, предназначенные для выпуска их належащим образом оборудованными машиностроительными заводами;

в) комплектные автоматизированные гидротурбинные агрегаты, типа «Микрогэс», получившие в последнее время известное распространение за границей.

К группе водяных турбин упрощенной конструкции в известной степени могли бы быть отнесены водяные двигатели, изготавляемые кустарными турбиностроителями, если они опираются при выборе основных параметров своих машин на новейшие достижения в области теории расчета водяных турбин, сохранив, однако, предельную простоту конструктивного оформления изделий (полукотельные железо, клепаные и кованые детали).

Турбина Френсиса, повидимому, является наиболее пригодным типом, предназначенным для изготовления в упрощенном конструктивном оформлении. В пользу применения турбины Френсиса служит также то, что пропеллерные турбины высокой строходности требуют весьма громоздкой всасывающей трубы, сильно удорожающей гэс.

К второй группе принадлежат нормальные гидротурбины, изготавляемые, например, заводом им. Калинина. Для установки на малых мельничных гэс водяные турбины нормального типа в серийном их выпуске в известных условиях могут быть пригодны, хотя представляется необходимым пересмотреть их конструкцию с точки зрения упрощения и удешевления.

К третьей группе автоматизированных комплексных гидротурбинных агрегатов прежде всего должны быть отнесены агрегат «Микрогэс», разработанный совместно «Ленводпроизом», Ленинградским строительным институтом и заводом «Электросил» им. Кирова.

«Ленводпроиз» указывает на то, что агрегат «Микрогэс» пригоден также для установки на сущ-

вующих водяных мельницах. При этом указывается, что возможны два варианта технического решения:

а) Существующее водяное колесо сохраняется и «Микрогэс» ставится дополнительно с целью выработки энергии только для осветительных целей. При этом решении исключается реконструкция силовой базы сельскохозяйственного мукомолья, которое остается при своем несовершенном деревянном водяном колесе, вследствие низкого к. п. д. бесполезно потребляющем большое количество лишней воды.

б) «Микрогэс» устанавливается несколько увеличенной мощности, водяное колесо демонтируется, и мельничный постав приводится в действие от электродвигателя. Однако такое решение редко приемлемо для случаев гэс мощностью менее 30 kW.

В условиях современного колхозного хозяйства, особую актуальность автоматизация приобретает преимущественно в отношении не самых малых, но несколько более крупных гэс, мощностью начиная приблизительно от 100 kW и выше, так как в последних случаях автоматизация может освободить достаточно квалифицированных специалистов (электромонтеров и электромехаников, а не малоквалифицированных рабочих в случае самых малых гэс).

Этот тезис никаким образом не может служить основанием для отрицания необходимости разработки и скорейшего внедрения в практику, в частности, в области самых малых гэс, новых значительно упрощенных схем автоматизации.

\*\*

Особо важное значение имеет для первичного двигателя малой мельничной гэс вопрос о конструкции механического привода и о редукторе числа оборотов.

При этом основные параметры (в частности число оборотов) турбины и привода безусловно должны рассматриваться и выбираться в строгой взаимосвязи с учетом того, что число оборотов электрического генератора стандартно (1000 об/мин).

В условиях низких напоров (чаще всего 2—1,5 m), которыми располагают малые мельничные гэс средней полосы Европейской равнины СССР, число оборотов турбины по существу определяется теми типом примененной турбины. Так, число оборотов менее быстроходной турбины Френсиса в зоне наиболее распространенных напоров и мощностей может быть доведено приблизительно до 200—250 мин., а более быстроходной турбины Каплана — 450—500 в мин.

Отсюда применение быстроходных типов вертикальных водяных турбин (турбина Каплана) целесообразно лишь в том случае, если одна коническая бчатая передача способна точно довести число оборотов вала до числа оборотов генератора. В этом случае получается удобная однократная система привода, вместо двукратной при ином решении, с ответственно уменьшенными потерями.

В противоположном же случае, при невозможности

путем применения одной ступени привода получить на горизонтальном валу то число оборотов, что и число оборотов генератора, т. е. при двукратной системе привода от турбины к генератору, вполне достаточным является число оборотов водяного двигателя равное 100—200 в мин., достижимое при турбине Френсиса. В этом случае отпадает необходимость в более дорогих и сложных турбинах системы Каплана и Каплана-Томанна.

\*\*

Использование готовых гидroteхнических сооружений может дать экономию по капитальным затратам в размере до 40—50%, при условии отсутствия затрат на ремонт плотины.

В качестве иллюстрации полезно привести приближенные данные по одному из проектов создания малой гэс мощностью 15 kW,  $H = 2,5$  m на базе водяной мельницы, с использованием готовой плотины и с установкой электрического генератора в переустроенном здании мельницы.

Для этой гэс при капиталовложениях 44 200 руб. себестоимость энергии составляет:

Вид энергии	Выработка энергии в kWh	Годичные издержки в рублях, и	Себестоимость 1 kWh в коп.
Механическая энергия на валу трансмиссии . . . . .	35 000	4 190	12
Электроэнергия на шинах генератора . . . . .	23 300	9 150	35
Электроэнергия у потребителя .	21 700	10 580	45

Стоимость осветительной энергии 45 коп/kWh является приемлемой, так как при этом за две светоточки каждое колхозное хозяйство в среднем должно выплачивать в месяц 3 р. 75 к., что сравнительно с затратами на керосиновое освещение не является высокой суммой.

В том случае, если бы в условиях рассматриваемой модели гэс плотина, канал и здание гэс были сооружены заново, общие капиталовложения в малую гэс, включая сети и внутреннюю проводку, возросли бы на 64%, а капиталовложения на самую гэс без сетей — на 190%.

Представляет интерес отметить, что для указанной выше возможной суммарной мощности малых мельничных гэс центра Европейской равнины СССР, равной 30 MW, экономия в капиталовложениях в результате использования готовых гидрооборужений составит значительную, сумму около 45 млн. руб.

Из всего сказанного становится ясной высокая энергетическая эффективность применения готовых плотин и перепадов в целях электрификации социалистического сельского хозяйства.

# „Микрогэс“—автоматические гидроэлектрические агрегаты для малой электрификации

Д. О. ГИНДУС

Ленинград

За последние 20 лет за границей широко стали применяться автоматические и полуавтоматические гидроэлектрические агрегаты, которые представляют собою комплектную маленькую гидроэлектростанцию, заключенную в кожух, вместе со всей аппаратурой управления и автоматикой, устанавливаемую на сооружениях упрощенного типа.

В 1937 г. в Ленинграде<sup>1</sup> была начата разработка вопроса о путях рационального использования огромного количества имеющихся в СССР перепадов на малых речках, ручьях и т. п., которые, протекая вблизи колхозов и совхозов, представляют постоянно возобновляемый источник дешевой энергии для электрификации сельского хозяйства.

Проблема создания компактного агрегата гидроэлектростанции мощностью 10—20 kW не встречает трудностей при напорах от 6 м и выше. Не то положение мы имеем при низких напорах; так, при напоре 2,5 м для получения от агрегата 10 kW мощности необходимо пропускать через турбину не менее 750 l/sec, а при напоре 1,5 м та же мощность требует уже 1100 l/sec воды. Очевидно, что такие расходы воды определяют уже довольно громоздкую турбину и, как следствие этого, более мощный автоматический регулятор скорости. Работы по конструированию низконапорных агрегатов, проведенные при непосредственном участии автора, показали, что наиболее удачные конструктивные решения могут быть получены с турбинами Рейффенштейна (плоские спирали с рабочими колесами Каплана) или с турбинами Каплана-Томанна в открытых камерах. Конструкции в котельном кожухе целесообразно применять лишь для расходов приблизительно до 500 l/sec, для больших расходов они получаются слишком громоздкими и неконструктивными.

При применении этих агрегатов, которые у нас получили название «Микрогэс», необходимо учитывать, что такие машины малого габарита по высоте непригодны для установки в затопляемой пойме; в этих случаях следует применять удлиненный вертикальный вал с установкой генератора и регуляторов выше горизонта высоких вод. Обычно это приводит к решению с установкой генератора во втором этаже (например, мельницы). Переходя к вопросу о компоновке агрегатов, приходится отметить, что вертикальные агрегаты более компактны и конструктивно изящнее, нежели горизонтальные. Это обстоятельство нашло отражение в конструкциях большинства заграничных фирм; особенно следует изучить массовые конструкции фирм, имеющих богатейший опыт выпуска и эксплуатации таких агрегатов, как например The James Leffel (Америка), Voith и AEG (Германия) (рис. 1 и 2). Горизонтальные агрегаты выпускаются редко; на них специализируется ряд фирм второстепенного порядка (Fitz Water Wheel Co и др.). Можно с уверенностью отметить, что при мощности до 40 kW вертикальные агрегаты конструктивно не будут уступать

горизонтальным, так как наиболее ответственную часть вертикального генератора — подпятник — в этих случаях можно сконструировать исключительно просто и надежно, а само изделие не выходит из рамок серийного выпуска.

Агрегат по возможности должен иметь непосредственный привод генератора от турбины; с другой стороны, стремясь к удешевлению агрегата, надлежит переходить к генераторам больших скоростей вращения — 1000 и 1500 об/мин.

Незначительные диаметры ротора исключают появление особо больших усилий при разгоне; поэтому даже при расчете на 100% разгон (2000 и 3000 об/мин) такие машины вполне осуществимы в достаточно конструктивных формах. Как видно из сказанного, желательным решением, наиболее надежным и изящным, будет простая и грубая турбина с вертикальным валом, непосредственно соединенная с вертикальным же генератором.

Однако насегодня нет рабочих колес, которые могли бы работать с  $n_s > 800$  при достаточно высоком к. п. д. ( $\eta > 0,80$ ). Поэтому при малых напорах (от 1,5 до 2,5 м) для мощности больше 5 kW неизбежно применение передачи зубчатой, текскронной и т. п.

Данные серии 1 очереди «Микрогэс» таковы:

1. Напоры — от 1,5 до 35 м.
2. Расходы воды — от 40 l/sec до 1200 l/sec.
3. Диаметры рабочих колес — 200, 250, 350 500 mm.
4. Система турбин — Френсис и Каплан-Томанн.
5. Мощность — от 3 до 50 kW.

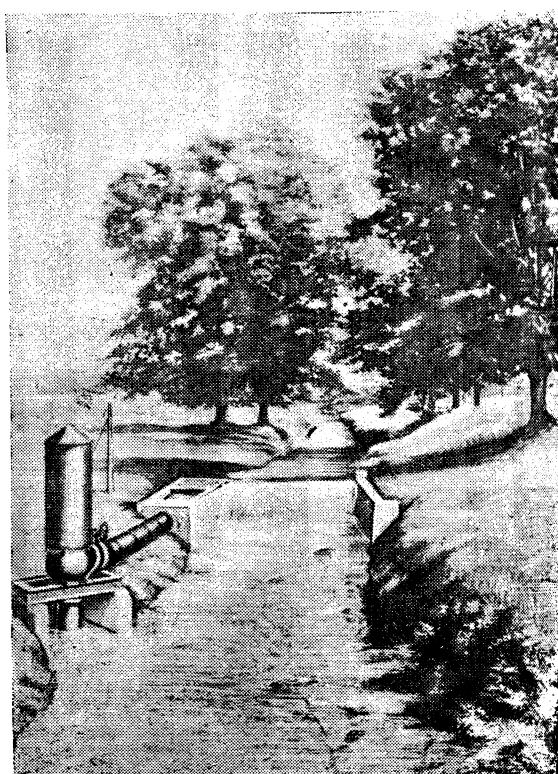


Рис. 1

<sup>1</sup> Трестом Гидропроиз, который затем переформировался в Ленинградскую контору Главводстроя НКЗ СССР Ленводпроиз.

6. Генераторы — трехфазного тока, синхронные — 15, 30 и 60 кВА, 1500 об/мин, и постоянного тока — 3 и 8 кВт, 1400 об/мин.

В настоящее время имеется ряд соображений, по которым серия эта подлежит пересмотру под углом зрения уменьшения числа изделий и одновременно ее улучшения с точки зрения к. п. д.

В приведенной серии принято, что агрегаты, начиная с 10 кВт и выше, должны отвечать условиям комплексной электрификации, т. е. питания осветительной и моторной нагрузок. До 8 кВт агрегаты предназначаются только для питания освещения и потому намечаются на постоянном токе.

**Регулирование.** Основной проблемой при создании «Микрогэс» является вопрос регулирования; при этом, для агрегатов переменного тока необходимо поддерживать постоянную частоту и напряжение, а для агрегатов постоянного тока — только напряжение.

Ввиду того, что имеется возможность применить генератор «постоянного напряжения», на постоянном токе агрегат получается элементарно простым и, следовательно, надежным и дешевым. Никаких автоматических регуляторов здесь не требуется, ни на турбине, ни на генераторе.

При колебаниях числа оборотов турбины в соотношении 2 : 1, напряжение генератора остается постоянным с точностью 3—4%. Следует отметить попытки работы Харьковского электромеханического завода им. Сталина, который выпустил уже машину для «Микрогэс» такого типа на базе нормальной машины ПНВ 290.

Большим преимуществом этих генераторов является возможность изготовления их из нормальных машин постоянного тока, с незначительными переделками; основным в этих переделках является изменение чередования полюсов, добавление обмоток них и вырезы в сердечниках полюсов у их основания. Очевидно, что такие генераторы не будут отличаться по цене от обычных серийных машин, так как по существу это будут те же нормальные машины с незначительными переделками. Необходимо отметить, что за границей генераторы постоянного напряжения получили за последние годы довольно широкое распространение.

На трехфазном токе агрегаты должны питать смешанную моторно-осветительную нагрузку; поэтому необходимы регуляторы числа оборотов турбины (частоты) и напряжения генератора.

Для частных случаев, не могущих рассматриваться как правило, агрегаты и на переменном токе могут не иметь регулирования частоты, а иметь только регулятор напряжения; к таким случаям относятся «Микрогэс» для питания исключительно осветительной нагрузки, для питания радиоузлов и т. п., частота не имеет того значения, какое она имела для электродвигателей.

Числа регуляторов, применяемых в качестве опытно-экспериментальных образцов, следует отмечать.

Регулятор числа оборотов системы лаборатории физических машин Ленинградского индустриального института (осевой масляный регулятор, установлен на опытном образце № 1).

Гидродинамический регулятор числа оборотов турбины Ленинградского металлического завода им. Сталина, масляный.

Электромеханический регулятор числа оборотов системы того же завода с жестким выключателем.

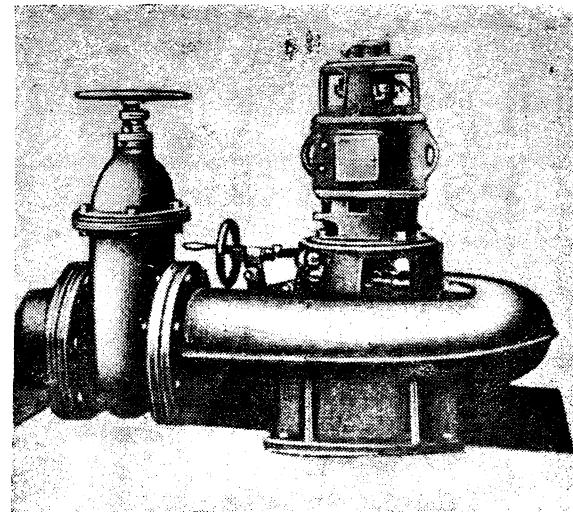


Рис. 2

4. Электромеханический регулятор числа оборотов и напряжения системы ВИМЭ по схеме инж. А. А. Глебовича.

5. Угольный регулятор напряжения Харьковского электромеханического завода им. Сталина.

6. Регулятор напряжения, состоящий из насыщенных дросселей и купроксовых выпрямителей.

7. Регулирование напряжения при помощи кенотронного или купроксного выпрямителя, заменяющего коллектор, по предложению Ленинградского завода «Электросила» им. Кирова.

Укажем принципы устройства тех автоматических регуляторов, которые еще не были описаны в нашей литературе.

1. Регулятор числа оборотов ЛИИ (рис. 3) является осевым регулятором вращающегося типа. Масло под давлением подается маслонасосом через канал в плотом вале в пространство над поршнем сервомотора. Под поршнем сервомотора дроссельным золотником поддерживается давление масла на одном уровне.

Действие золотника следующее: уравновешенный пружинами шарик дросселирует расход масла, меняя просвет для выхода масла из подвижной трубы. В эту последнюю масло поступает через отверстие в ней самой. Выключатель устроен следующим образом: палец, жестко связанный с поршнем сервомотора, действует на коромысло, которое заставляет ползун двигаться обратно движению поршня. С ползуном жестко связан рычаг выключения, скос которого подает подвижную трубку, прижимая ее к шарику. Этим достигается закрытие доступа масла в нижнюю полость под поршень сервомотора, вследствие чего поршень движется вниз, осуществляя закрытие лопастей турбины.

Благодаря наличию пружины возврата на регулирующем штоке поршень всегда стремится занять положение надлежащего открытия, т. е. положение готовности для последующего пуска.

2. Гидродинамический регулятор числа оборотов осуществляет регулирование предельно-примитивным для масляного регулирования способом: зубчатый масляный насос вращается от вала турбины при помощи передачи и в зависимости от изменения числа оборотов развивает давление, большее или меньшее нормального, вследствие чего поршень сервомотора получает нужное перемещение.

3. Электромеханический регулятор в своей схеме (рис. 4) предусматривает «жесткий выключатель»,

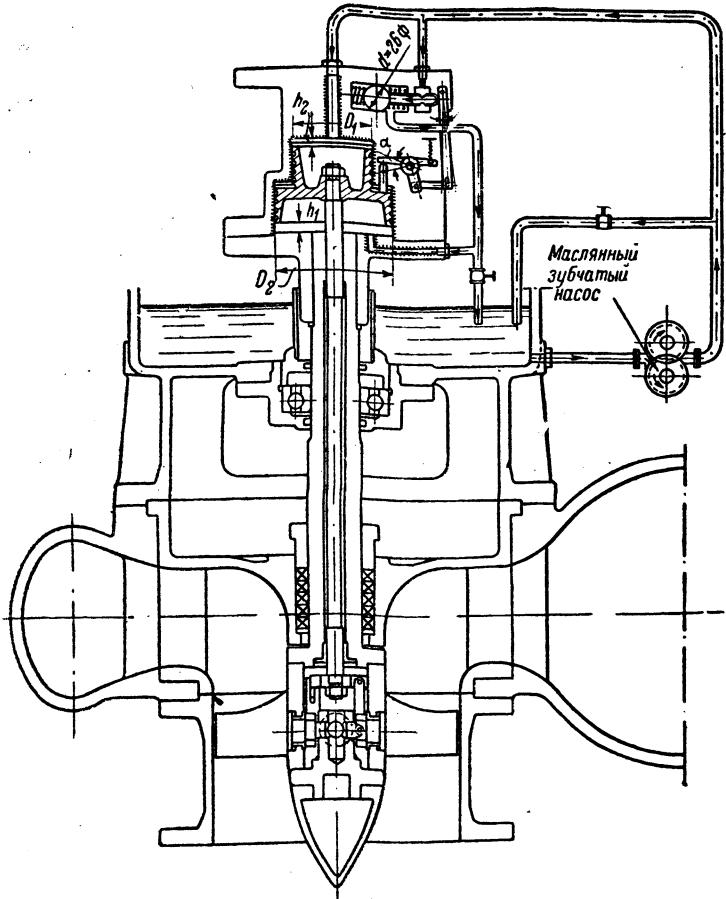


Рис. 3

следовательно, в ней заложен принцип регулирования с остающейся степенью неравномерности. Таким образом каждому положению лопаток рабочего колеса (т. е. определенной мощности на валу турбины) соответствует некоторое определенное число оборо-

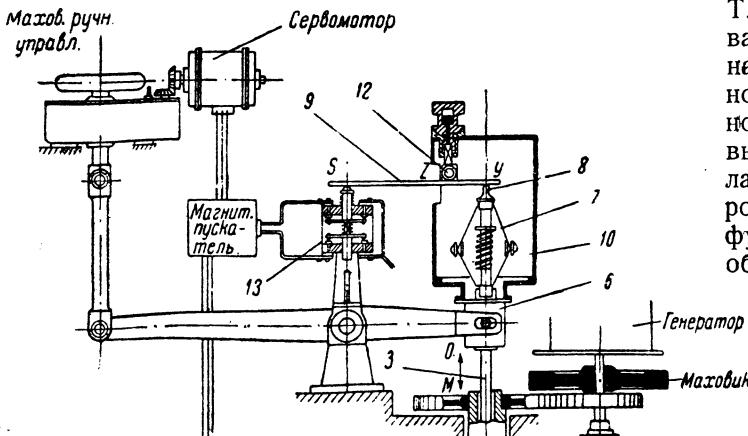


Рис. 4

тов турбины. Приспособления для изменения остающейся степени неравномерности  $\delta_i$  не имеет и потому она неизменна. В первых образцах предсмотрена  $\delta_i = \pm 5\%$ .

На верхнем конце регулирующей штанги 3 укреплен центробежный маятник 7, который вращает с тем же числом оборотов, что и вал турбины, одновременно совершая осевые перемещения вместе со штангой 3. При увеличенном числе оборотов турбины штифт 8 опускается, при уменьшенном числе оборотов поднимается. Штифт маятника находится в силовом замыкании в точке Y с рычагом 9, который может поворачиваться вокруг точки Z механизма 12 жестко скрепленного кожухом 10 с коробкой 6. Другой конец рычага 9 находится в силовом замыкании с контактором 13 (точка S).

Точка Z копирует движения штанги. Контактор 13 установлен неподвижно и имеет 2 пары контактов, причем при некотором среднем положении точки S обе пары контактов разомкнуты, а при отключении точки S вверх или вниз замыкаются та или иная пара контактов, что вызывает пуск электрического двигателя-сервомотора (через промежуточное реле и магнитный пускателем реверсивного типа) со ответственно на закрытие или открытие лопаток рабочего колеса.

Установившийся режим турбины соответствует среднему положению точки S.

4. Электромеханический регулятор числа оборотов и напряжения был описан в наших журналах («Электричество» № 8, 1939 и «Механизация и электрификация сельского хозяйства»).

5. Угольный регулятор был описан в журнале «Вестник электропромышленности» № 2 за 1940 г.

6. Регулятор напряжения описан в журнале «Электричество» № 8 за 1939 г. Недостатком является относительная громоздкость и наличие 16 шт. купроксовых выпрямительных элементов.

7. На заводе «Электросила» им. Кирова инженером Т. Г. Амбарцумовым предложена система регулирования напряжения без специальных регуляторов напряжения, за счет свойств самой схемы синхронного генератора, состоящего в основном из статора нормального асинхронного двигателя, ротора с явно выраженным полюсами и купроксного или двухлампового кенотронного выпрямителя, играющего роль коллектора. Основное условие для надежной функционирования схемы — поддержание числа оборотов турбины на постоянном уровне, с остающейся степенью неравномерности регулирования не более 5—6%.

Следует отметить, что это предложение в основном разрешает и технико-экономи-

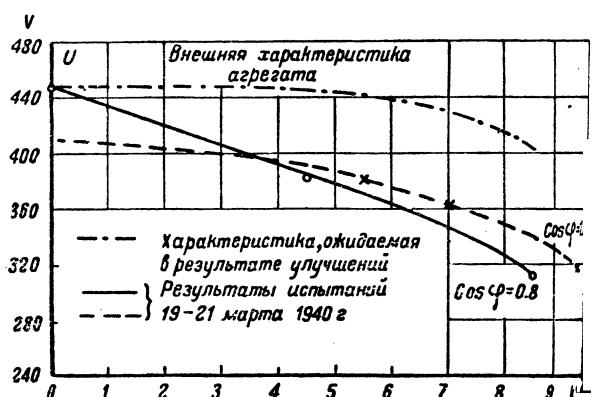


Рис. 5

ческую сторону проблемы создания массового типа генератора для «Микрогэс», поскольку машина создается на базе серийного изделия, проходящего по отделу нормальных машин.

**Противоаварийная автоматика.** Специфической особенностью эксплуатации агрегатов «Микрогэс» является полнейшее отсутствие квалифицированного надзора. Анализируя возможные аварии, приходим к выводу, что по внешнему эффекту их можно подразделить на две основных категории: аварии, угрожающие сети, т. е. безопасности людей; аварии, угрожающие только самому агрегату, т. е. его целостности и исправности.

Вероятность аварий первой категории должна быть по возможности совершенно исключена, или они должны быть локализованы в пределах схемы «Микрогэс»; условия безопасности должны быть многократно гарантированы.

В отношении аварий второй категории не следует «перестраховывать» агрегат, поскольку эти «перестраховки» усложняют машину; здесь можно ограничиться более простыми мерами.

Поэтому из дальнейшего изложения видно, что особое внимание уделено появлению на зажимах агрегата повышенного против нормального напряжения.

Необходимо отдать себе отчет, что только исключительно простые устройства могут надежно эксплуатироваться в условиях отсутствия квалифицированного надзора. Всякая защита, усложняет аг-

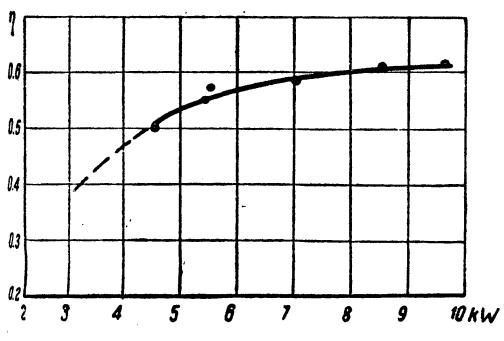


Рис. 6

егат, причем сами по себе приборы защиты являются весьма сложными устройствами и, что самое главное, требуют периодической наладки и технически квалифицированного надзора. Без этого самая технически совершенная защита с первых же дней эксплуатации превратится в мертвый груз, небудет использованной из-за разладки, мелких неисправностей и т. п. Так как в рассматриваемом случае всегда технический надзор отсутствует и, как правило, никаких периодических наладок защиты довести не удается, то и приходится сделать вывод, что автоматизация в данном случае должна опираться, главным образом, к грубым и надежным конструктивным решениям.

Лишь в виде вынужденной меры целесообразно на аппаратурную защиту и то только грубую, в сложных реле и многочисленных контактах. В изложенном защите агрегатов ограничиваются автоматическим затвором турбины и автоматическим ослаблением возбуждения генератора, причем эти автомата действуют при разгоне от центробежных реле.

Есть можно защитить таким образом двукратно — ором и снятием возбуждения; при этих услови-

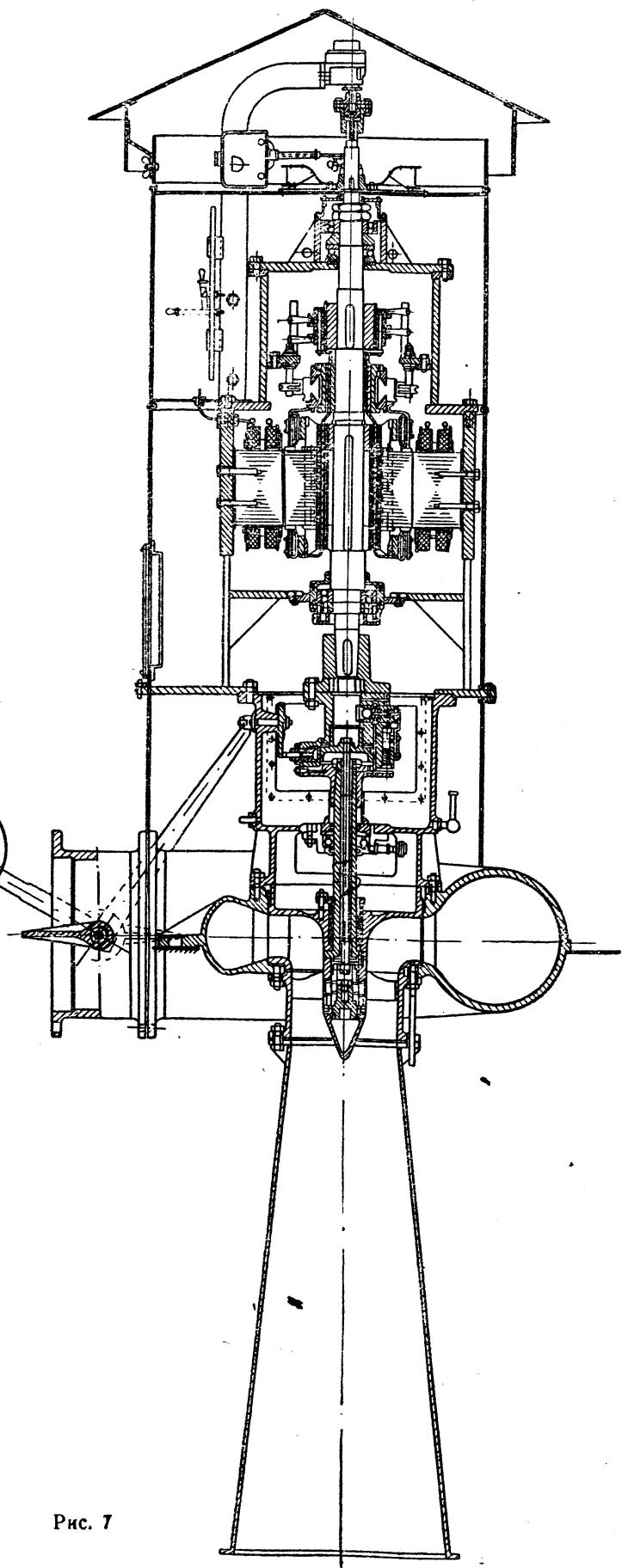


Рис. 7

ях повышение напряжения в сети ограничивается значениями, которые дает сам генератор при 100% сбросе нагрузки, а повышение напряжения сверх того, от разгона, вызывает сработку защиты.

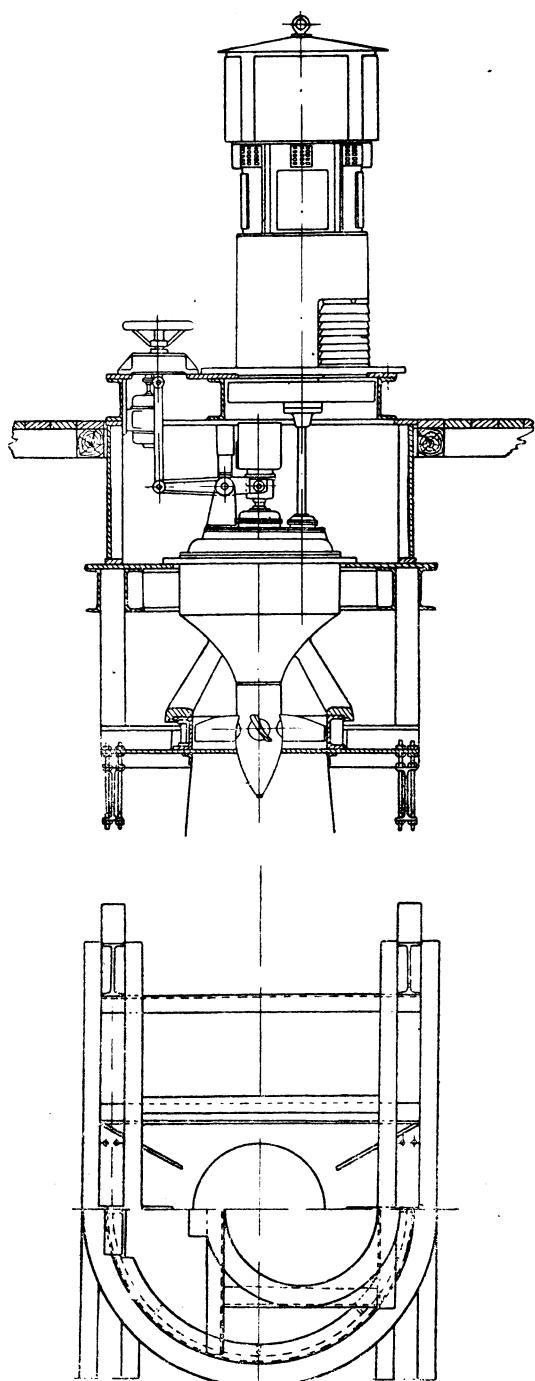


Рис. 8

3,5 kW. Генератор — трехфазного тока 400/230 V, 1500 об/мин, имеет непосредственное жесткое соединение с турбиной.

Регулирование агрегата производится регулятором числа оборотов ЛИИ; регулирование напряжения в первоначальной конструкции, испытания которой произведены в марте 1940 г., осуществлялось самой схемой генератора.

Турбина Каплана-Томанна, с рабочим колесом ВК-3 лаборатории гидравлических машин ЛИИ, диаметром 250 mm в литой чугунной спирали сжатых габаритов. Входной патрубок имеет диаметр 360 mm в свету.

Перед турбиной имеется автоматический затвор, действующий от центробежного ограничителя скорости, который может быть отрегулирован на любое число оборотов, начиная от 1600 об/мин и выше. Нормально автомат срабатывает при достижении 1800—2000 об/мин.

Регулирование турбины осуществляется гидравлическим масляным сервомотором, поршень которого

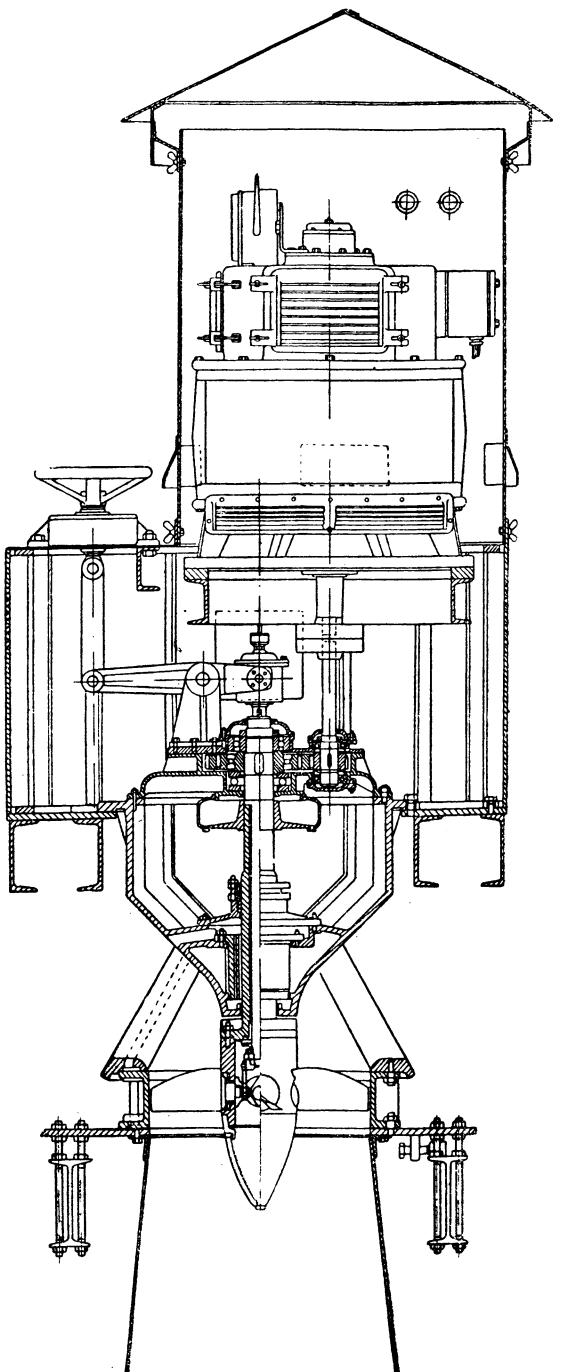


Рис. 9

Результатом изучения вопроса можно считать вывод, что вместо автоматизации останова машины, вследствие аварии с подпятником или подшипниками, следует обеспечить такие расчетные и практические запасы прочности и выносливости этих частей, которые исключали бы возможность подобных аварий. В связи с небольшими абсолютными величинами усилий в подпятнике — это путь наиболее простой и в то же время надежный. Поэтому в опытных машинах вместо автоматического останова агрегата при перегреве шарикового подшипника предусматривается, что он может вынести длительный разгон без каких-либо повреждений.

**Опытный образец № 1<sup>2</sup>.** Агрегат (рис. 7) предназначен для напора  $H = 6,0$  m и расхода воды  $Q = 250$  l/sec. Мощность на зажимах генератора

<sup>2</sup> Гидромеханическая часть агрегата спроектирована и выполнена по договору с Ленводпроизом лабораторией гидравлических машин Ленинградского индустриального института, а электрическая часть — заводом „Электросила“ им. Кирова.

го наложен на регулирующую штангу, соединенную с кривошипным механизмом для поворота лопастей втулке рабочего колеса. Корпус регулятора вращается с валом. Зубчатый масляный насос, помещенный над генератором, подает масло через полый вал генератора в полость над поршнем сервомотора. Давление масла — 20 at, усилие на регулирующей штанге — 65 kg. Работоспособность сервомотора, потребная для регулирования лопатками рабочего колеса, всего лишь 1,3 kg.

Генератор выполнен обращенного типа — путем переделки машины постоянного тока габарита ИВ-290; съем тока с ротора при помощи 4 колец щеток. Возбуждение осуществляется от дополнительной обмотки, наложенной на ротор, через коллектор, расположенный под кольцами. Напряжение на щетках коллектора — 150 V, максимальный ток возбуждения — 5,3 A. В цепи возбуждения предусмотрено изменяемое сопротивление, которое служит для начальной установки напряжения («юстировки»). Повышение напряжения при сбросе нагрузки до холостого хода  $\Delta V = 16\%$ , по данным испытаний. Маховой момент генератора — около 3,5 kg/m<sup>2</sup>.

Результаты испытаний показали необходимость внесения улучшений в систему регулирования агрегата в целом. На рис. 5 приведены внешние характеристики, на рис. 6 рабочая характеристика агрегата. Указанная в схеме защита — устройство для разрыва цепи возбуждения при разгоне — не испытывалась, так как не была смонтирована заводом. В итоге испытаний решено отказаться от дальнейшего применения генераторов с саморегулированием по этой системе; на следующих опытных агрегатах будут установлены генераторы другой схемы. В части регулирования числа оборотов, степень неравномерности, доходящая в испытанном образце до 11—13%, не может считаться удовлетворительной, и желательно ввести улучшения регулятора с тем, чтобы степень неравномерности была не более -6%. Имеется также ряд выводов и в части машины системы и др.

Первый опытный агрегат смонтирован на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке с тем, что после закрытия сезона 1940 г. агрегат будет реконструирован в соответствии с результатами испытаний.

**Опытный агрегат № 2<sup>8</sup>.** Опытный агрегат «Микрогэс» № 2 (рис. 8) предназначен для малых напоров и относительно больших расходов воды.

Технические данные агрегата следующие:

Напор, м	Расход, l/sec	Мощность турбины, л. с.	Мощность генератора, kW
1,5	600	9,6	4,3
2,0	776	16,3	9,4
2,5	860	22,7	13,4

Агрегат имеет вертикальную турбину типа Капланна, диаметром 500 mm, нормальным числом

турбин — Ленинградского завода им. Сталина; генератор — «Электросила» им. Кирова; регулирование — ряда организовавших свои опытные конструкции; компоненты агрегата в целом — Ленводпроизводства; спроектирован агрегат производством.

оборотов 470 в минуту. Турбина снабжена чугунным, коническим, неподвижным направляющим аппаратом, отлитым как одно целое с нижним направляющим кольцом и верхней крышкой турбины; рабочим колесом К-70 (завода им. Сталина) с 4 профилированными поворотными лопастями. Поворот лопастей осуществляется кривошипным механизмом, связанным штангой, проходящей через сверленый вал, с рычагом регулятора. Направляющий подшипник — резиновый с забором воды для смазки непосредственно из напорного бассейна. Всасывающая труба прямая коническая из листового железа. Вал турбины через редуктор, состоящий из пары шестерен с прямым зубом, соединяется с валом генератора.

Генератор агрегата — вертикальный, синхронный, трехфазного тока, типа МСВ 24,5/II—4,15 kVA, 12 kW, коэффициент мощности 0,8, 400/230 V, 21,6 A, 1500 об/мин в исполнении закрытым, с вентиляцией. Изоляция обмотки генератора имеет повышенную влагоустойчивость.

Пуск и останов агрегата производятся вручную. Режим работы автоматизирован. Число оборотов турбины поддерживается постоянным регулятором скорости одного из описанных типов. Напряжение на зажимах генератора регулируется угольным регулятором напряжения. Защита на случай разгона предусмотрена в виде автомата ослабления поля возбуждения и падающего щита. В целях облегчения работы регулирующих автоматов предусмотрен маховик диаметром 550 mm и толщиной обода 80 mm.

Агрегат предназначен только для одиночной работы и на параллельную работу не рассчитан.

Конструкция агрегата предусматривает установку его в открытой камере при наличии незначительных колебаний горизонтов верхнего бьефа (до 50 см над нормальным). Большие колебания горизонтов недопустимы, так как вода будет угрожать генератору. Для условий больших колебаний горизонтов служит агрегат с турбиной в напорной камере.

Этот агрегат устанавливается в 1940 г. на испытательном стенде «Микрогэс» на р. Оредеж<sup>4</sup> для экспериментальной проверки отдельных узлов и агрегата в целом и, в дальнейшем, для эксплуатационных испытаний в течение 6—8 мес., с охватом летних, осенних и зимних условий эксплуатации. Комплектование агрегата будет произведено тремя различными регуляторами скорости и двумя третими типами регуляторов напряжения, которые все будут испытаны на стенде; наилучшие из них будут отобраны для применения в окончательном производственном образце.

К испытаниям будут привлечены все заинтересованные организации, предложившие свои опытные образцы отдельных узлов агрегата, — завод им. Сталина, «Электросила», ХЭМЗ, ВИМЭ и др.

На том же стенде будет испытан безрегуляторный низконапорный агрегат постоянного тока, снабженный генератором постоянного напряжения ХЭМЗ (рис. 9).

Этот агрегат по своей простоте и рациональности пока является наиболее передовым.

<sup>4</sup> Приток р. Луги (Ленинградская обл.); постройка стендов и работа на нем производятся по заданию Технического совета Наркомата электростанций СССР.

# Генератор постоянного напряжения для колхозных ветроэлектростанций

**K. I. ШЕНФЕР и A. A. ИВАНОВ**

Энергетический институт Академии наук СССР

Возможность широкого применения простых по конструкции и сравнительно дешевых ветряков, автоматически регулируемых выведением крыльев из-под ветра, в пределах  $\pm 25\%$  от средней скорости вращения, требует для нормального снабжения потребителей электроэнергией наличия электрических регуляторов или схем регулирования на постоянство напряжения.

Применительно к ветростанциям малой и средней мощности в Энергетическом институте АН СССР авторами проведено исследование ряда схем регулирования генераторов постоянного тока на постоянство напряжения. В качестве регулятора разработан новый тип нелинейного сопротивления. Эти вопросы и трактуются в настоящей работе.

**Нелинейные сопротивления.** За последнее время в технической литературе часто встречаются работы, посвященные вопросам нелинейных сопротивлений. Тирит, электронная лампа, auto-valve фирмы Вестингауз и другие подобные материалы и приборы, обладая показательной формой вольтамперной характеристики, находят себе применение в предохранительных устройствах от перенапряжений и в других областях техники.

В целях использования особенностей вольтамперной характеристики некоторых керамических материалов для регулирования машин на постоянство напряжения, нами было проведено исследование многих керамиков с различными примесями. Для нормального напряжения генераторов постоянного тока ( $120 \div 220$  V) наиболее удачными оказались смеси крупнокристаллического бурого карборунда с графитом.

На рис. 1 построены вольтамперные характеристики восьми карборундо-графитовых проб, данные которых приведены в таблице:

№ проб	13	14	15	21	25	16 и 24	17
Содержание карборунда в % . . . .	90	85	83	82	80	75	70
Содержание графита в %. . . .	10	15	17	18	20	25	30

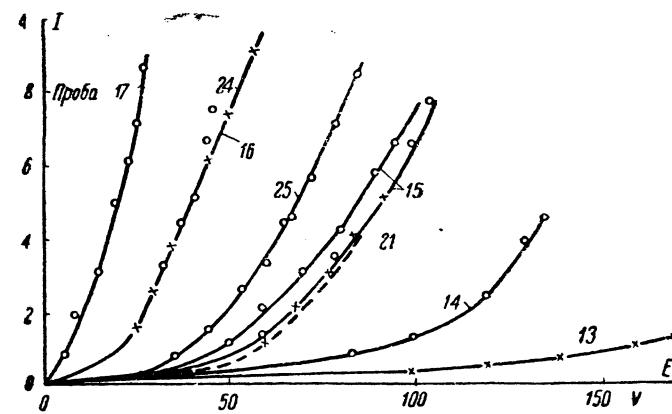


Рис. 1. Вольтамперные характеристики карборундо-графитовых проб

Как видно из таблицы и кривых рисунка, уменьшение процентного содержания графита в пробе увеличивает ее сопротивление и уменьшает крутизну вольтамперной характеристики.

Особенного внимания заслуживают пробы № 14, 21, 15, 25, 16 и 24. Их вольтамперные характеристики при небольших значениях напряжения близки к линейному закону, причем угол наклона характеристик к оси абсцисс очень мал. Это соответствует малым значениям тока. Если напряжение возрастает выше некоторой точки, ток, протекающий через нелинейное сопротивление, начинает резко возрастать и, в связи с этим кривые характеристик приобретают загиб вверх.

Закон протекания кривой вольтамперной характеристики карборундо-графитовых сопротивлений оказалось возможным выразить эмпирической формулой, предлагаемой нами:

$$i_N = e_N^3 + 3(e_N - 1)^2,$$

где  $i_N$  — ток нелинейного сопротивления,  $e_N$  — приложенное напряжение.

Технологический процесс производства нелинейных сопротивлений типа карборунд-графит чрезвычайно прост. Порошкообразные составные части сопротивления в соответствующих пропорциях ( $20\%$  графита и  $80\%$  карборунда) тщательно перемешиваются, разводятся до состояния густой массы на глинталевом лаке и скимаются специальным приспособлением в прочном металлическом цилиндре. Цилиндр помещается в электропечь, которая поддерживает температуру от  $100$  до  $150^\circ$  ( дальнейшее повышение температуры может привести за собой выгорание графита из смеси и, следовательно, порчу сопротивления). После полной просушки в электропечи затвердевшая масса в виде диска выбивается из формовочного цилиндра. На торцевую поверхность ее набрызгивается тонкий слой металла, служащий контактом между нелинейным сопротивлением и подводящим проводником.

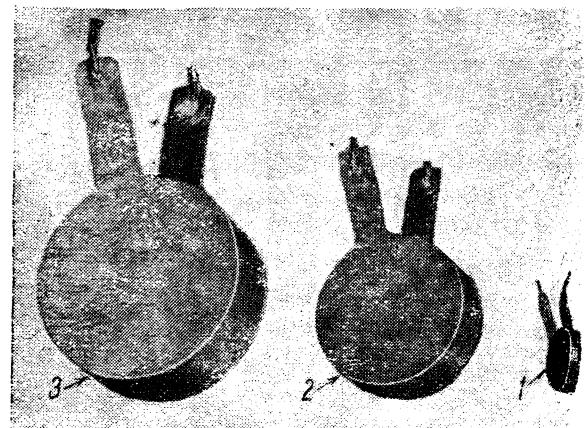


Рис. 2. Образцы карборундо-графитовых сопротивлений с туннельными электродами  
I — на 5 V; II — на 20 V и III — на 130 V

На рис. 2 представлена фотография трех таких сопротивлений, рассчитанных на различные напряжения: 5, 20 и 130 V. Здесь тонкие латунные электроды с подводящими проводами заменяют набрызганный металл.

Для очень низковольтных машин (5—10 V) требующаяся толщина слоя сопротивления настолько

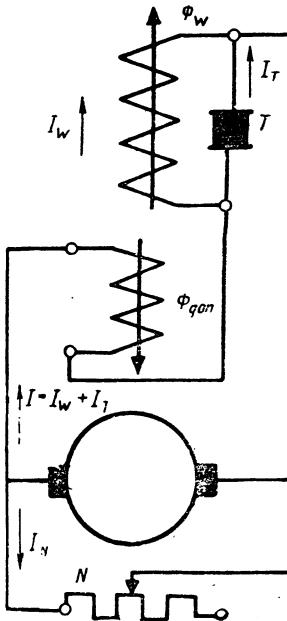


Рис. 3. Схема регулирования генератора постоянного тока на постоянство напряжения

мала, что оказывается достаточным нанести смесь карбон-графит, разведенную на глипталевом эже, в виде краски на металлические (для придания прочности) электроды и в таком виде просушить их. Размеры дисков нелинейных сопротивлений определяются мощностью и напряжением генератора, режимом работы и условиями охлаждения. На рис. 2 диск наибольшего размера имеет диаметр 10 mm и высоту 20 mm. Он предназначен для регулирования на постоянство напряжения машины Н-17,5 2,5 kW, 115 V, 18,7 A.

Нелинейные сопротивления типа карбон-графит прочны, не боятся ударов и сотрясений, не выдерживают старению и безвоздушно могут вынестись нагрев до 140 + 150° C. В том случае, если условия работы неблагоприятны в температурном отношении, сопротивления следует помещать в масле с маслом и выполнять их с охлаждающими щабами.

**Исследование схемы регулирования генератора постоянного тока на постоянство напряжения.** Нами было проведено исследование нескольких схем включения нелинейных сопротивлений в цепь генератора постоянного тока. Наибольший регулировочный эффект дала схема<sup>1</sup> рис. 3 с нелинейным сопротивлением и размагничивающей обмоткой. Размагничивающая обмотка соединяется последовательно с основной шунтовой обмоткой, на зажимы которой включено нелинейное сопротивление. Поля обмоток  $\Phi_w$  и  $\Phi_{don}$  направлены в противоположные стороны.

Принцип действия схемы заключается в следую-

щем: при возрастании числа оборотов генератора, напряжение на его щетках будет расти. Но, начиная с некоторого критического напряжения на зажимах шунтовой обмотки, величина нелинейного сопротивления

Марская заявка акад. К. И. Шенфера № 30074.

начинает резко падать. В связи с этим ток  $I_T$ , протекающий через размагничивающую катушку, возрастает, также возрастет и ее поток  $\Phi_{don}$ . Что же касается потока  $\Phi_w$  основной шунтовой обмотки, то он при этом будет уменьшаться, так как величина нелинейного сопротивления  $T$  уменьшилась и частично защуптировала шунтовую обмотку.

Таким образом в данной схеме регулирование осуществляется двояко: 1) усилиением действия размагничивающей обмотки и 2) шунтированием (т. е. ослаблением) основной шунтовой обмотки.

Результатом совместного действия нелинейного сопротивления и размагничивающей обмотки является очень незначительное увеличение напряжения на клеммах генератора при широком изменении числа его оборотов.

На рис. 4 представлены рабочие кривые, полученные из опыта регулирования на постоянство напряжения машины ПН-85, 230 V, 31,3 A. При изменении числа оборотов генератора с  $n_1 = 2170$  об/мин до  $n_2 = 2900$  об/мин, напряжение на его клеммах возросло всего на 2 V, что составляет меньше двух процентов номинального напряжения.

**Размагничивающая катушка.** Размагничивающая катушка обтекается полным током возбуждения  $I_s$ ; через нее протекает как ток основной шунтовой обмотки  $I_w$ , так и ток нелинейного сопротивления  $I_T$ :

$$I = I_w + I_T.$$

Поэтому сечение проводников этой обмотки желательно выбрать большим сечения витков шунтовой обмотки на 20–30%. Размагничивающая катушка наматывается на сердечники шунтовой обмотки. Если генератор имеет компаундную обмотку, вместо нее может быть надета размагничивающая катушка. Число витков размагничивающей обмотки обычно оказывается достаточным, если оно составляет приблизительно 8–10% от числа витков шунтовой обмотки. В связи с этим вес меди возбуждения возрастает на 10–12%.

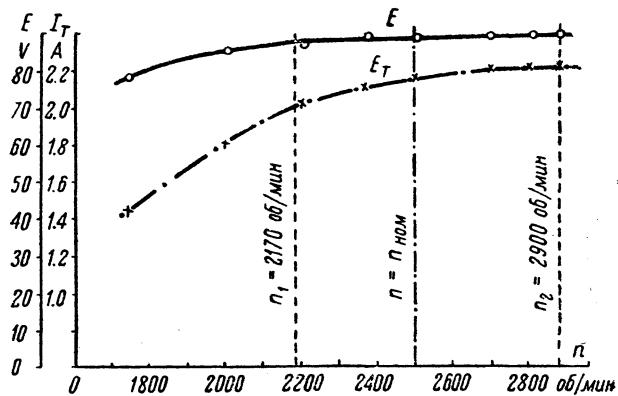


Рис. 4. Напряжение  $E$  на клеммах генератора и ток  $I_T$  в нелинейном сопротивлении в зависимости от числа оборотов при работе по схеме рис. 3

**Коэффициент полезного действия генератора с нелинейным сопротивлением при номинальной нагрузке,** естественно, несколько меньше, чем нормальной машины (приблизительно на 10%). Но следует иметь в виду, что нерегулируемый генератор требует некоторых дополнительных устройств<sup>2</sup> для поддержания напряжения в заданных границах.

<sup>2</sup> Такими устройствами могут являться буферные аккумуляторные батареи, вибрационные регуляторы и т. д.

Таким образом его к. п. д. должен учитывать также и потери в этих дополнительных устройствах.

Несложность схемы генератора с нелинейным сопротивлением и надежность ее действия позволяют авторам рассчитывать на возможность ее применения не только в колхозных ветроэлектростанциях, но и в других областях техники. Такими могут являться машины автотракторного электро-

оборудования, синхронные генераторы малой средней мощности и т. д.

#### Литература

1. K. B. McEachron, Thyrite a new Material for Light Arresters GER, № 2, 1930.
2. С. Н. Соболина и Н. Н. Соколов, Тирит. „Элтричество“ № 8, 1937.
3. T. Bowline, The Calculation of Circuits containing Thy GER, № 4 и 5, 1934.

## Компаундирование синхронных генераторов

Н. И. БОГДАНОВ

Московский электромеханический институт инженеров железнодорожного транспорта им. Дзержинского

XVIII съезд ВКП(б) в резолюции по третьему пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР предложил развернуть широкое строительство малых электростанций и внедрять автоматизацию в основные производственные процессы электротехнологии.

Существенный недостаток электростанций с синхронными генераторами малой мощности — это

генератора с применением купроксовых выпрямителей.

Характеристикой метода регулирования напряжения являются: надежность, дешевизна, безопасность эксплуатации, быстрая регулирования, рентабельность, способность ограничивать перегрузку синхронного генератора при длительном к. з., эксплуатационные удобства, дешевизна изготовления регулирующего устройства и т. д.

Основными элементами предлагаемой автором схемы являются серийс-трансформатор и купрочный выпрямитель. Серийс-трансформатор через купрочный выпрямитель питает компаундную обмотку возбуждения возбудителя.

В отличие от электромагнитных и механических регуляторов, которые обладают механической инцией движущихся частей, предлагаемая схема имеет электрическую связь и почти мгновенно реагирует на любое изменение тока нагрузки синхронного генератора, автоматически поддерживая напряжение практически постоянным.

Увеличение перегрузочной способности маломощного синхронного генератора при ударной нагрузке и автоматическое регулирование напряжения осуществляются по следующему принципу.

Первичная обмотка серийс-трансформатора (рис. 1) включена в главную цепь синхронного генератора 1. К вторичной обмотке трансформатора приключены купрексы 4, соединенные по схеме Греца. При прохождении нагрузочного тока первичной обмотки серийс-трансформатора 3 вторичная обмотка его будет питать через купрексы 4 прямленным током компаундную обмотку 6 возбудителя 5. Путем настройки можно достигнуть бильности напряжения или даже перекомпандирования. Основная обмотка возбуждения возбудителя обозначена цифрой 7.

Схема рис. 2 может быть с успехом использована для синхронных машин большей мощности. Введение добавочной машины-бустера 8, является от переделок в синхронном генераторе.

Схемы были проверены на синхронном генераторе трехфазного тока завода Вольта СГ-812/8, 15 kVA, 230 V, 37,5 A, соединен звездой,  $\cos \phi = 0,8$ , 750 об/мин. Возбудитель ВП-12,5, на 1,1 kW, 55 V, 21 A (соединение речной передачей).

Серийс-трансформатор был рассчитан на предложение по первичной обмотке двойного номи-

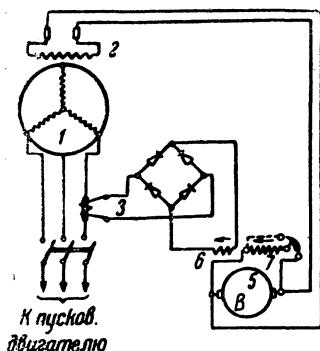


Рис. 1

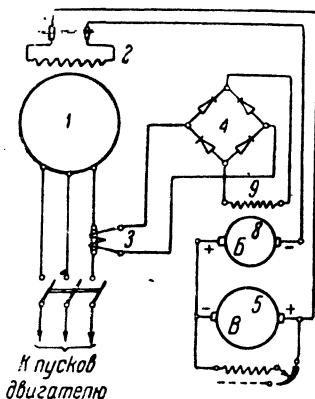


Рис. 2

трудность присоединения к их сети короткозамкнутых асинхронных двигателей, вызывающих при пуске резкое снижение напряжения на клеммах генератора.

Известные до сих пор методы автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов имеют существенные недостатки: схемы слишком сложны и дорого стоят и на станциях малой мощности не могут оправдать себя, в частности при специфических условиях эксплуатации судовых или ж.-д. передвижных электростанций — при сотрясениях и толчках судна или вагона.

Задача найти наиболее простой, рентабельный и легкоосуществимый способ повышения перегрузочной способности синхронного генератора с одновременным автоматическим регулированием напряжения в сети достаточно успешно решена<sup>1</sup> автором в 1938 г. в электромашинной лаборатории МЭМИИТ путем компаундирования синхронного

<sup>1</sup> При решении задачи о применении переменного тока на речных судах.

о тока генератора, равного 70 А (полный вес трансформатора 6,5 kg). Купроксный выпрямитель типа ТВ-1 — на 13,2 V и 2,4 A.

При опытах синхронный генератор нагружался синхронным двигателем типа МКА-17 на 7,36 kW. В статье представлены осциллограммы пуска дви-

гателя при компаундировании синхронного генератора по схеме рис. 1, осциллограмма *b* — при компаундировании по схеме рис. 2. Минимальное напряжение во втором случае составляло 0,6  $U_n$  в течение 0,2 sec.

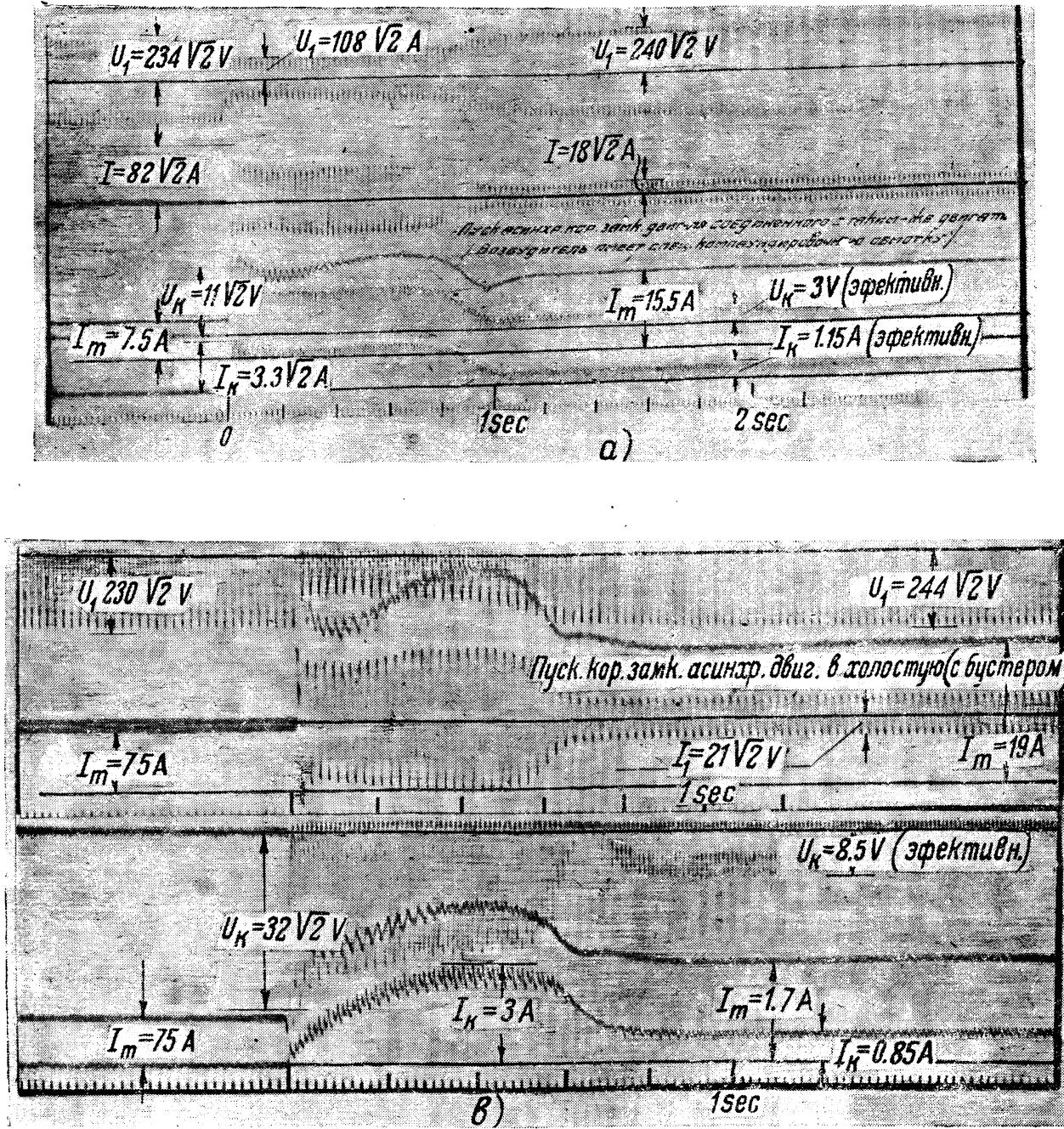


Рис. 3

*a* — осциллограмма пуска в холостую к. з. асинхронного двигателя при компаундировании генератора по схеме рис. 1; *b* — то же при компаундировании по схеме рис. 2;  $U$ ,  $I$  — напряжение и ток генератора;  $U_K$ ,  $I_K$  — напряжение и ток купроксных выпрямителей;  $I_m$  — ток возбуждения генератора

я от ненагруженного синхронного генератора, является наиболее тяжелым условием для со-  
ния устойчивости напряжения генератора.  
Пуск двигателя в холостую короткозамкну-  
т синхронного генератора без компаундирова-  
ния разбега достигло 10,33 sec. Напряжение  
втора во время пуска составляло 21% (50 V),  
то пуска оно установилось в 162 V, вместо .  
измеренных до пуска двигателя.

Из осциллограмм видно, что во время пуска двигателя напряжение снижалось в течение 0,06 и 0,3 sec, а полная длительность разбега двигателя продолжалась от 0,7 до 1,1 sec.

От синхронного генератора без компаундирования не удалось осуществить пуск асинхронного двигателя, нагруженного до 30%.

При компаундировании синхронного генератора тот же двигатель с нагрузкой в 7 kW (около

100%) имел длительность пуска 2,3 sec, а наименьшее напряжение длилось от 0,08 до 0,3 sec и составляло  $0,7 \div 0,9 U_n$ .

Из сопоставления результатов, полученных при испытаниях синхронного генератора при и без компаундирования, мы видим, что в первом случае при пуске асинхронного короткозамкнутого двигателя наименьшее напряжение составляет  $0,55 U_n$ , а во втором случае —  $0,21 U_n$ .

Длительность пониженного напряжения в первом случае меньше в 33 раза, чем во втором, а длительность разбега меньше в 10 раз.

При анализе осциллографм установлено, что наряду с автоматическим регулированием напряжения синхронного генератора при пуске от его сети короткозамкнутых двигателей одновременно возрастают ударная перегрузочная способность генератора, которая в дальнейшем ограничивается насыщением трансформатора, железноводородным сопротивлением или биметаллическим предохранителем в случаях длительного к. з.

Большая перегрузочная способность синхронного генератора благодаря применению купроксовых выпрямителей позволяет осуществить пуск от его сети асинхронного двигателя мощностью, близкой по величине к мощности самого синхронного генератора.

Кроме того, нами достигнуто вполне удовлетворительное регулирование напряжения, так как предлагаемая схема может быть использована только для увеличения перегрузочной способности синхронного генератора, но и для автоматического регулирования напряжения.

В опытной схеме компаундирования синхронного генератора (15 kVA) дополнительный расход энергии не превышает 0,4% от номинальной мощности, что ясно иллюстрирует экономичность метода.

Купроксовые выпрямители отличаются высокой механической прочностью, нечувствительностью к толчкам и ударам и постоянной тряске.

Это свойство купроксовых выпрямителей, а также простота конструктивного оформления, дешевизна и эксплуатационные достоинства предлагаемой схемы позволяют думать, что она найдет широкое применение в специфических условиях эксплуатации малых электростанций ж.-д. и водного транспорта в сельском хозяйстве и т. д.

## Литература

- Журнал „Электричество“ № 3, 1922.
- Журнал „Электричество“ № 8, 1939.
- Журнал „Электричество“ № 1, 1940.
- M. Seidner, ETZ, № 47, 1909.
- E. Agnold, Bd 4. Синхронные генераторы, т. 4.

# Компаундированный асинхронный генератор

**A. A. ИВАНОВ**

Одесский индустриальный институт

Известно, что если параллельно к статорным обмоткам бесколлекторной асинхронной машины присоединить симметричную трехфазную емкость  $C$  и посторонним двигателем привести короткозамкнутый ротор во вращение, то при некотором числе оборотов выше критического:

$$n_0 = \frac{8,55 \cdot 10^4 \sqrt{\delta}}{p w_1 \sqrt{k_1 C S_l}}, \quad (1)$$

где  $\delta$  — теоретический воздушный зазор машин (см),  $p$  — число пар полюсов машины,  $w_1$  — число витков, приходящихся на каждую фазу статора,  $k_1$  — коэффициент обмотки статора,  $C$  — величина подключенной емкости ( $F$ ),  $S_l$  — теоретическое сечение воздушного зазора (см), благодаря наличию остаточного магнитного потока ротора  $\Phi_0$  происходит самовозбуждение машины.

Длительность этого процесса невелика и, вообще говоря, зависит от мощности машины, числа оборотов ротора и величины приключаемой емкости  $C$ .

Поставленные опыты с трехфазной четырехполюсной асинхронной машиной мощностью 0,75 kW на валу при напряжении 220 V показали, что при вращении ротора с числом

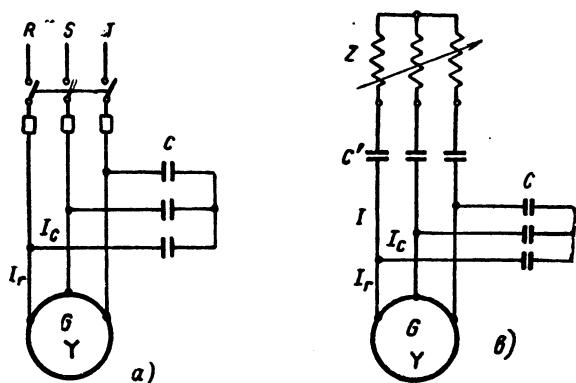
оборотов  $n_2 = 1500$  в минуту и приключении при этом буждающих конденсаторов время, необходимое для самовозбуждения машины, значительно уменьшалось при увеличении величины возбуждающей емкости  $C$ .

Величина установленвшегося напряжения генератора холостом ходе, а также частота генерируемых колебаний могут быть определены из его частотных характеристик (представляющих семейство кривых  $U_{\Phi} = F(n_2)$  при  $C = \text{const}$ ), которые могут быть получены теоретически или экспериментальным путем для любой асинхронной машины.

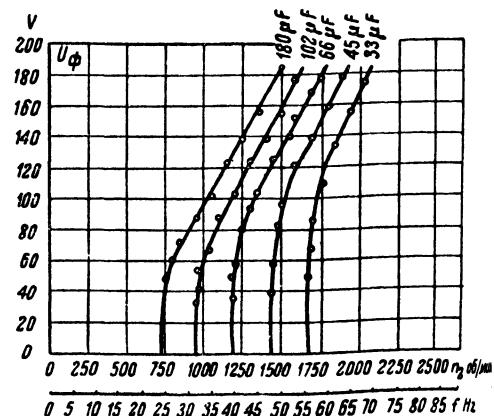
К такому самовозбужденному асинхронному генератору всегда при отрицательном склонении

$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$ , представляется возможным присоединить некоторую активную или реактивную нагрузку, при которой необходимая для возбуждения нормального напряжение может быть определена из соотношения:

$$C = \frac{P_d (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \psi)}{6 \cdot \pi f U_{\Phi}^2},$$



Фиг. 1



Фиг. 2

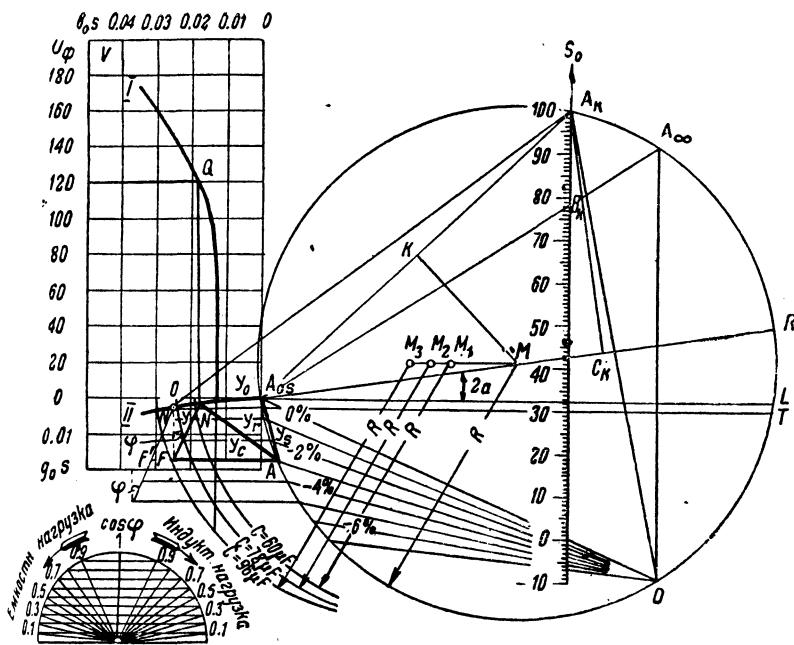


Рис. 3

$P_a$  — активная мощность (W), отдаваемая асинхронным генератором в сеть,  
 $\varphi$  — углы сдвига фаз между напряжением и токами генератора и нагрузки соответственно,  
 $f$  — частота генерируемых колебаний,  
 $U_{\Phi c}$  — напряжение (V), приложенное к обкладкам конденсаторов.

Геометрическое исследование режимов работы такого самовозбужденного асинхронного генератора, при изменении нагрузки и сохранении постоянства частоты, достигаемой соответствующей регулировкой числа оборотов первичного двигателя, может быть произведено с помощью точной круговой диаграммы, учитывающей непостоянство параметров шин (рис. 3).

Кривые I и II представляют зависимости  $U_{\Phi} = F(b_0)$  и  $U_{\Phi} = F(g_0)$ , где через  $b_0$  и  $g_0$  обозначены реактивная и активные составляющие проводимости намагничивающего контура асинхронного генератора.

На основании приведенной диаграммы представляется возможным построить зависимость между фазным напряжением генератора и силой тока нагрузки при различных значениях  $\cos \varphi$  и постоянной величине возбуждающей емкости  $= 78 \mu F$  (рис. 4).

Для удобства дальнейшего анализа указанные зависимости приведены в относительных единицах, причем напряжение генератора при холостом ходе и ток приемников, отвечающий большой мощности, отдаваемой генератором при активной нагрузке и данной величине возбуждающей емкости  $= 78 \mu F$ , приняты равными 100%.

Исследование приведенного семейства кривых  $u = F(i)$  показывает, что с увеличением активной и, в особенности, индуктивной нагрузки происходит значительное падение напряжения на зажимах генератора, что заставляет заняться расширением возможности обеспечения стабильности его при бояниях тока приемников.

Одним из способов такой автоматической стабилизации является питание потребителей не непосредственно от генератора, а через последовательно включенные конденсаторы. Емкость  $C'$  можно определить при помощи геометрических мест конца вектора напряжения на зажимах генератора  $u_r$  при постоянной величине силы тока приемников  $i$ , при изменяющемся коэффициенте мощности нагрузки  $C_0$ . Зависимости, построенные по семейству  $u = F(i)$ , приведены на рис. 5.

Дополагая, что асинхронный генератор, компаундированный емкостью  $C'$ , должен снабжать энергией индуктивных батарей с  $\cos \varphi = 0,9$  при колебаниях тока от  $i = 0$  до 100%, и желая при токе 100% иметь величину напряжения, равную той, которая была при холостом ходе, приложим к вектору стабилизированного напряжения на зажимах приемников  $Oa_0$  вектор падения напряжения на компаундных конденсаторах  $a_0 a_4$ , отстающий по фазе от вектора  $u_r$  на угол  $\frac{\pi}{2}$ ; принимая во внимание, что конец его дол-

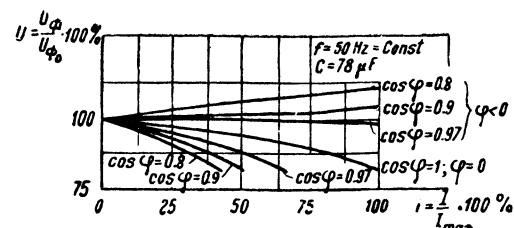


Рис. 4

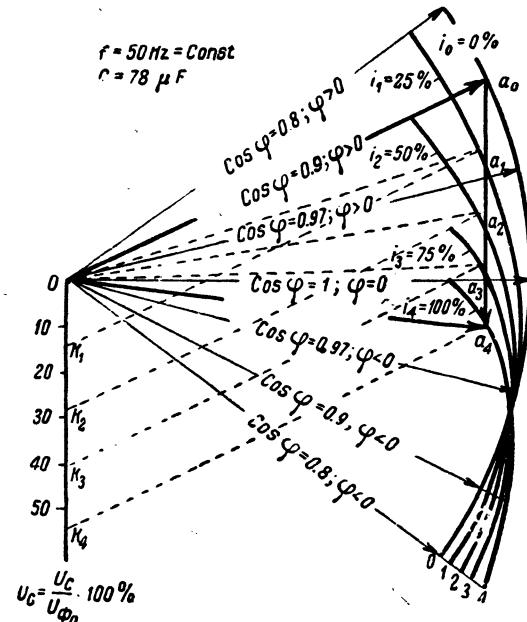


Рис. 5

жен лежать на геометрическом месте конца вектора напряжения на зажимах генератора  $Oa_4$  при  $i = 100\%$ , находим вектор  $Oa_4$ , как геометрическую сумму векторов  $Oa_0$  и  $a_0 a_4$ .

Зная падение напряжения  $a_0 a_4$  на компаундирующую емкости и соответствующий этому режиму ток  $i = 100\%$ , нетрудно, учитывая масштабы, определить емкость, необходимую для компаундирования генератора:

$$C' = \frac{I}{2\pi f U_c}. \quad (3)$$

Для исследуемой машины при указанном режиме работы  $C'$  оказалась равной  $103 \mu F$ .

Пользуясь вышеприведенными геометрическими местами (рис. 5), можно построить также внешние характеристики компаундированного асинхронного генератора.

Для этого достаточно по шкале падений напряжений на компаундирующую емкости  $C'$  для ряда значений тока нагрузки отложить соответствующие падения напряжения и из полученных точек  $k_1, k_2, k_3$  и  $k_4$  провести лучи параллельно вектору  $Oa_0$  до пересечения с соответствующими геометрическими местами 0, 1, 2, 3 и 4 в точках  $c_1, c_2, c_3$  и  $c_4$ , которые определят концы вектора напряжения генератора и нагрузки.

Рис. 6 интерпретирует полученные, таким образом, зависимости  $u_r$  и  $u_c$  от  $i$  при  $\cos \varphi = 0,9$ .

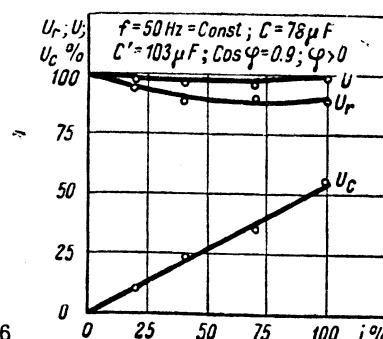


Рис. 6

Анализ этих кривых показывает, что компаундирование асинхронного генератора, осуществляемое при помощи статических серийных конденсаторов, является вполне надежным стабилизирующим средством даже при резких колебаниях нагрузки в особенности при низком коэффициенте мощности.

Экспериментальные исследования, проведенные с компаундированным асинхронным генератором, полностью подтвердили приведенные теоретические соображения.

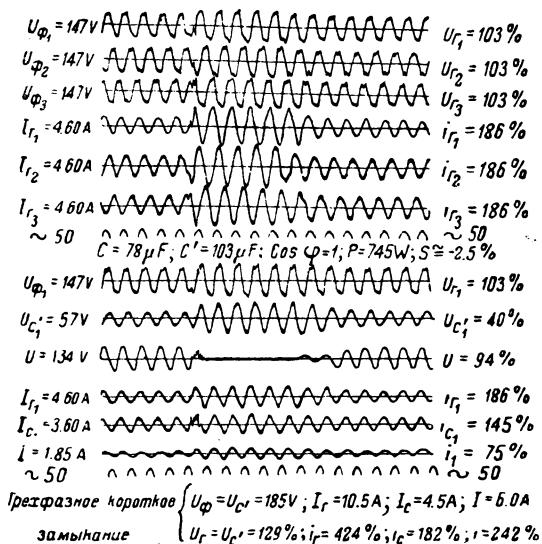


Рис. 7

При описываемом способе стабилизации напряжения обычно требуются компаундирующие конденсаторы значительной емкости, удорожающие установку, а также увеличивающие ее габариты и вес. Для устранения этих недостатков рекомендуется производить включение емкостей через повышательные серийные трансформаторы, которые для обеспечения устойчивой стабилизации напряжения должны быть подобраны таким образом, чтобы при всевозможных эксплоатационных режимах они работали с малым насыщением железа (в, рис. 1).

В этом случае емкость, необходимую для компаундирования, можно уменьшить в отношении  $(\frac{w_2}{w_1})^2$ , где  $w_1$  и  $w_2$  — числа витков обмоток трансформатора.

Переходя к рассмотрению поведения исследуемого генератора при трехфазном к. з., нужно отметить, что компаундирование совершенно изменяет его свойства и при этом процессе.

Обычный асинхронный генератор (рис. 1, а) при внезапном трехфазном к. з., сопровождающемся ударными быстро захающими токами, не представляющими опасности для машины, быстро теряет свое напряжение и затем по устремлению к. з. может не возбудиться даже при отключении грузке из-за потери остаточного магнетизма. При к. з. в компаундированного асинхронного генератора происходит вышение напряжения на зажимах генератора и компаундирующих конденсаторов, а также некоторое искажение синусоидальной формы за счет высокого насыщения магнитной системы машины и, кроме того, увеличение тока генератора, переходящего при этом на режим холостого хода при увеличенном значении возбуждающей емкости

$$C_{к. з.} = C + C'$$

В этом случае величину установившегося напряжения при трехфазном к. з. можно определить либо по частотным характеристикам машины (рис. 2) или при помощи магнитной характеристики генератора:  $e = F(i_m)$ .

По этой характеристике можно, кроме того, найти и установившуюся силу тока к. з., определяя ее как точку пересечения кривой  $e = F(i)$  с вольтамперной характеристикой емкости  $C_{к. з.} = 181 \mu\text{F}$ .

При устранении к. з. компаундированный асинхронный генератор быстро переходит на нормальный режим работы (осциллограмма рис. 7).

Приведенное исследование показывает, что компаундированный асинхронный генератор, являющийся недорогой, простой и механически прочной машиной, свободной при колебаниях нагрузки от качаний, свойственных синхронным машинам, за счет изменения величины скольжения, не требует за собой почти никакого ухода, легко самовозбуждается холостом ходу и автоматически поддерживает почти постоянное напряжение на зажимах потребителя при всевозможных режимах работы. Благодаря перечисленным его свойствам он может быть рекомендован для установки на больших автоматических электростанциях, питающих крупных потребителей электрической энергии.

#### Литература

1. E. D. Bassett and F. M. Potter. Capacitive Excit for Induction Generators. El. Eng., № 5, 1935.
2. Р. Рихтер. Электрические машины, том IV. Икционные машины. ГОНТИ, 1939.
3. А. А. Иванов. О самовозбуждении бесколлекторных асинхронных машин. Труды Одесского индустриального института, выпуск 2 (5), 1940.
4. С. В. Крауз, Б. Д. Садовский и Т. Г. Соро. Стабилизация напряжения в синхронных машинах с постоянными магнитами. „Вестник электропромышленности“ № 2, 1940.
5. А. А. Иванов. Исследование режимов работы асинхронного генератора на индивидуальную сеть. Труды Одесского индустриального института, вып. 3 (6), 1940.

## О главе шестнадцатой „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“

Л. М. ШНИЦЕР

Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

Глава шестнадцатая «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей» посвящена силовым трансформаторам.

Предельно сжатая на шести страницах, эта глава в кратких, но четко изложенных 33 параграфах охватывает те основные моменты эксплуатации, которые обслуживающий персонал должен знать на память.

С точки зрения существующих норм и стандартов эти 33 параграфа весьма тщательно отредактированы. При этом, принимая во внимание, что инженер-инструктор трансформатора в целях соблюдения некоторой одной определенной нормы бывает вынужден недоиспользовать сопряженную с первой другую норму, редакционная комиссия правильно считает, что в таких случаях эксплуатационник обязан следовать за конструктором (§ 535).

§ 535. «Для каждого трансформатора должна быть установлена максимально допустимая температура верхних слоев масла на основе заводских данных или результатов испытания. Однако эта температура не должна превышать + 95° С.

Для предупреждения ускоренного старения масла трансформатора в нормальных условиях температуру верхних слоев масла следует держать не более + 85° С».

В «Правилах» отражен также не нашедший еще жажда отражения в стандартах, но уже установленный на практике, отличный от устаревшего, взгляд на допустимые режимы работы трансформатора (§ 534, 536).

§ 534. «Величина наибольшей длительно допустимой нагрузки трансформатора определяется в зависимости от места установки (климатического пояса) заводом-изготовителем или специальными испытаниями».

§ 536. «Силовые трансформаторы допускают нагрузку сверх номинальной, величина и продолжительность которой зависит от режима работы и места установки трансформаторов и определяется в каждом отдельном случае в соответствии с «Инструкцией по перегрузке трансформаторов».

Однако по одним этим правилам невозможно, конечно, вести эксплуатацию. Недостаточно одних принципиальных моментов, как бы четко и ясно они были изложены. Необходимо знать в деталях, как на практике осуществлять данные принципиальные указания путем конкретных мероприятий. «Правила» эти предполагают, следовательно, наличие соответствующих инструкций, которые должны быть срочно пересмотрены и утверждены. «Правила» ссылаются на типовую инструкцию «Эксплуатация силовых трансформаторов»<sup>1</sup>. Но существую-

щая инструкция, к сожалению, в противоположность «Правилам», оставляет желать лучшего в отношении четкости и ясности изложения, тщательности редакции и просто стилистической обработки.

Позволяем себе кратко остановиться на нескольких пунктах упомянутой инструкции.

Начнем с того, что самое введение к инструкции с первой же строки предупреждает читателя, что «в процессе печатания ряд положений инструкции подвергся пересмотру и изменениям» и что «поэтому при пользовании инструкцией необходимо, в изменение текста, руководствоваться»... рядом приводимых в введении указаний.

Указания же эти не исчерпывают всех подвергшихся пересмотру положений, во-первых; во-вторых, некоторые из этих указаний из-за небрежной редакции не разъясняют положения, а только запутывают его.

Так, в изменение п. 96 стр. 44, где сказано, что для трансформаторов напряжением 35 kV допускается снижение пробивного напряжения масла до 22 kV, введение предлагает следующую редакцию:

«Допускается снижение пробивного напряжения масла до следующих величин:

Для трансформаторов 35 kV и выше до 27 kV  
6-35 kV до 20 kV  
ниже 6 kV до 15 kV

Итак, для трансформаторов напряжением 35 kV допускается согласно разъяснению пробивное напряжение масла не то 20, не то 27 kV вместо указанных в тексте 22 kV.

На стр. 19 в п. 39 читаем:

«Включение на параллельную работу трансформаторов с разницей в коэффициенте трансформации от 2 до 5% допускается, как временная мера при условии, что уравнительный ток не превышает 20% от номинального тока меньшего из трансформаторов».

Отсюда непосредственно следует, что при разнице в коэффициенте трансформации, меньшей 2%, параллельное включение трансформаторов допустимо и на постоянную работу.

Между тем нетрудно убедиться, что, например, при разнице в коэффициенте трансформации  $\Delta E = 1,9\%$ , напряжениях короткого замыкания  $e_{k1} = e_{k2} = 5\%$  и отношении мощности большего трансформатора к мощности меньшего трансформатора  $\beta = 3$ , имеем для уравнительного тока  $\Delta I_m = 28,5\% > 20\%$ .

С другой стороны, весьма важно обратить внимание на то, какой из двух трансформаторов (больший или меньший по мощности) имеет при данном первичном напряжении большее вторичное напряжение; если большее вторичное напряжение имеет больший трансформатор, то уравнительный ток даже в 30% от номинального тока меньшего транс-

Инструкция ЭО-12, «Эксплуатация силовых трансформаторов». Составлена электроцехом „Оргрэс“. Госэнергоиздат. 1940.

форматора может оказаться более допустимым, чем уравнительный ток в 20% в том случае, когда большее вторичное напряжение имеет меньший трансформатор.

На стр. 19, 30 и 31 инструкции говорится о допустимом повышении напряжения на данном отвервлении первичной обмотки на 5% и не подчеркивается, что в эти 5% должны быть включены и неизбежные колебания напряжения сети.

На стр. 37 читаем:

«Вентиляторы должны пускаться тогда, когда температура масла достигла 60° С, если трансформатор несет нагрузку не выше номинальной».

Если нагрузка выше номинальной, то работа дутяя обязательна, независимо от температуры масла.

Остановка вентиляторов может производиться при снижении температуры масла до 55° С».

Ценность этих трех «сентенций», приведенных вне связи с графиком нагрузки, сомнительна.

Если график нагрузки ровный и близок к номинальной, то вентилятор не должен останавливаться даже при температуре масла ниже 55°.

Если график нагрузки (как в большинстве случаев бывает) колеблющийся, то в зависимости от характера графика включение вентиляции может оказаться необязательным даже при перегрузках.

Подобных мест в инструкции, к сожалению, не мало.

Между тем для инструкции, не связанной, как «Правила», условием обязательной сжатости формулировок, требования четкости изложения и тщательности редакции гораздо легче осуществимы, чем для «Правил».

Отсюда вывод о необходимости скорейшей разработки соответствующей «Правилам» новой более четкой инструкции в области эксплуатации трансформаторов.

## Новые «Правила защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами»

**В. А. СОЛОВЬЕВ и Д. И. БОНДАРЕВСКИЙ**

Москва

С 1 апреля 1940 г. вступили в силу в системе Наркомхоза РСФСР новые «Правила защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами электрических железных дорог и трамваев».

В ближайшее время намечается ввести в действие эти «Правила» во всех заинтересованных ведомствах.

Новые «Правила» изданы вместо раздела «Г» «Правил ограждения телеграфных, телефонных и сигнализационных линий от вредного действия установок сильного тока», выпущенных в 1932 г., и отражают большой материал, собранный нашими научно-исследовательскими организациями (НИИ связи, Академией коммунального хозяйства, Азербайджанским индустриальным институтом им. Азизбекова), трамвайными предприятиями и инженерами, занимающимися эксплоатацией кабельной сети Мосэнерго и Наркомата связи СССР.

При составлении новых «Правил» были учтены также публикации С. С. И. (Консультативного комитета международных линий связи) и некоторые материалы, опубликованные в заграничной литературе (работы Жибра, Шлумберже и др.).

О необходимости пересмотра «Правил» 1932 г. неоднократно высказывались на отраслевых конференциях ВНИТО городского электротранспорта, на V Всесоюзном трамвайном съезде и на страницах журнала «Электричество»<sup>1</sup>.

Основным недостатком «Правил» 1932 г. было то, что они не учитывали особенностей электрических железных дорог с автоблокировкой, не отражали новейших тенденций в области энергоснабже-

ния трамваев, а также не охватывали практически проверенных усовершенствований в области производства и прокладки кабелей.

Новые «Правила», в отличие от старых, достаточно определение специальных терминов и однозначно рассматривают известные в настоящее время источники блуждающих токов: трамвай, электрические железные дороги, электрические сети постоянного тока с заземленным нулевым проводом.

Кроме того, новые «Правила» содержат следующие общие разделы:

1) Взаимное расположение рельсов трамвая и электрической железной дороги и подземных металлических сооружений.

2) Меры, применяемые при строительстве и эксплуатации подземных металлических сооружений.

3) Следование степени коррозийной опасности подземных сооружений.

4) Меры защиты существующих и вновь устроенных подземных металлических сооружений при обнаружении на них опасных зон.

5) Об организации бригад и межведомственных комиссий для производства необходимых изысканий и принятия совместных мер борьбы с блуждающими токами, а также разрешения спорных вопросов защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами.

Первый и наиболее крупный раздел посвящен блуждающим токам трамвая (§ 4—38).

В части падения напряжения новые «Правила» устанавливают (по образцу международных норм) наибольшую величину среднесуточного градиента потенциала в рельсах в 0,1 на 100 м пути. Так как наибольший градиент потенциала имеет место у отсыпающих пунктов, это требование в основном определяет распо-

<sup>1</sup> В. Н. Коновалов, Нужны новые нормы по защите подземных сооружений от блуждающих токов, «Электричество» № 3, 1940.

изолирующих стыков или муфт — простых или шунтированных сопротивлениями. Применение таких муфт на симметрированных кабелях дальней связи не рекомендуется вследствие увеличения при этом шумовых помех от тяговых токов.

Бронированные кабели сильного тока и высокого напряжения в тех случаях, когда к ним нельзя применить методов электрозащиты, следует защищать в анодных зонах покрытием из стальных полуцилиндрических коробок, соединенных металлически между собой и со стальной броней кабеля; свинцовая оболочка также должна быть соединена металлически во всех муфтах с броней кабеля.

Методы электрозащиты рекомендуются также для всех видов стальных трубопроводов (водопровод, газ, теплофикация, нефте- и керосинопроводы).

Опасные зоны небольшого протяжения или незначительного потенциала могут быть компенсированы с помощью цинковых или железных протекторов или с помощью небольшой батареи элементов или аккумуляторов, положительный полюс которых заземляется, а отрицательный подключается к защищаемому металлическому сооружению. Новые «Правила» допускают также применение купроцинковых выпрямителей, так включенных между искусственным заземлением и защищаемым сооружением, что ток может уходить из защищаемого сооружения через выпрямитель в землю, но не может возвращаться обратно.

Последний раздел новых «Правил» устанавливает порядок организации бригад и междуведомственных комиссий для производства необходимых измерений и принятия совместных мер борьбы с блуждающими токами, а также разрешения спорных вопросов на почве применения новых «Правил».

Впервые такие смешанные комиссии были организованы при горсоветах в феврале 1938 г. совместным приказом Наркомсвязи и Наркомхоза РСФСР, а затем и других союзных республик.

Работа этих комиссий и бригад по защите под-

земных металлических сооружений от коррозии оказалась весьма полезной, и новые «Правила» защищают подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии требуют организаций: 1) постоянных функционирующих бригад для производства предусмотренных «Правилами» измерений и обследований тяговых и подземных металлических сетей, 2) постоянно действующих комиссий при горсоветах из представителей заинтересованных ведомств, которые:

а) согласовывают проекты вновь сооружаемых или реконструируемых трамвайных рельсовых и отсасывающих сетей и проекты сетей подземных сооружений в отношении защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии;

б) участвуют в приемке вновь выстроенных или реконструированных трамвайных путей и подземных металлических сооружений;

в) разрешают разногласия между заинтересованными организациями на почве применения новых «Правил».

Проект новых «Правил» разработан бригадой специалистов под председательством старейшего специалиста трамвайного дела в Союзе Петра Кирилловича Пешекерова (ВНИТО городского электротранспорта), профессоров П. А. Азбукина (НКСвязи) и Н. О. Рогинского (НКПС), инженера А. Н. Матвеева (НИИЖГ), В. П. Нечаева (Мострамвай), Ершова (НИС НКСвязи), Майкопара (Наркомхоз РСФСР) и В. А. Соловьева (АКХ).

Выход новых правил имеет важное значение для развития защиты подземных сооружений от коррозии, но он не должен ослабить изобретательской и исследовательской инициативы по изысканию более эффективных и дешевых мероприятий защиты против коррозии и особенно на тех участках трамвайной сети, где имеет место рекуперация энергии, которая получит в перспективе самое широкое применение на наших трамваях.

## ИЗУЧЕНИЕ МОЛНИИ И ГРОЗОЗАЩИТА

### Исследование импульсных искровых разрядов

**B. C. КОМЕЛЬКОВ**

Энергетический институт Академии наук СССР

Искровой разряд исследовался<sup>1</sup> в промежутке игла — игла при отрицательной полярности падающей волны ( $1/300 \mu\text{sec}$ ). В разрядную цепь, помимо искрового промежутка, включалось тормозящее сопротивление  $R_t$  и измерительное  $R_{uz}$ , необходимое для осциллографирования токов искрового разряда.

Источником напряжения служил импульсный генераторный контур 750 kV с общей емкостью в разряде  $2 \cdot 10^{-3} \mu\text{F}$ .

Одновременно с осциллографированием токов разрядной цепи производилась оптическая съемка процесса с помощью камеры типа Бойса (1910 об/мин) с кварцевой оптикой светосилой 1:4. Напряжение волны колебалось в пределах 350—

700 kV. Постоянные разрядной цепи колебались в следующих пределах:

$$R_t = 8350 \div 6,6 \cdot 10^6 \Omega; R_{uz} = 18 \div 400 \Omega.$$

Средняя скорость лидера определялась отношением пути, пройденного лидером, к интервалу времени лидера — главный канал. Путь лидера измерялся на бойсограмме и помножался на коэффициент 1,15, для учета пространственных изгибов траектории. Интервал времени лидера — главный канал устанавливался из осциллограммы, что представляло трудностей, так как моменты образования лидера и перехода его в главный канал характеризуются отчетливо видными резкими толчками тока. Совпадение времени лидера с данным осциллограммы и бойсограммы оказалось удовлетворительным (отклонение  $5 \div 12\%$ ).

<sup>1</sup> Исследования проводились в период апрель — май, 1939.

тельного лидера и продвижение разрядной волны (обнажающей в столбе положительные ионы) по столбу отрицательного лидера. Судя по скорости и свечению, сопровождающему этот процесс, можно ожидать значительных градиентов и, следовательно, интенсивной ионизации на фронте волны.

Общее усиление свечения вызывается также процессами рекомбинации.

При встрече лидеров разряд их головок, характеризующихся большей ионизацией и плотностью зарядов, сопровождается наиболее резким взбросом тока (максимальная крутизна).

Сочетание амплитуды и крутизны в часто встречающихся разрядах, помимо влияния сопротивления земли, зависит от распределения зарядов в канале лидера и степени его ионизации по длине, т. е. от «истории» лидера.

Наибольшая скорость движения главного канала молнии, известная из литературы, составляет  $10^8$  см/сек; обычная высота грозовых туч 1—2 км.

Таким образом, длина фронта тока, если предполагать, что максимум наступит при достижении облака главным разрядом, составит 100—300  $\mu$  сек. Однако все известные длины фронтов тока не превышают 60  $\mu$  сек, следовательно, максимум тока молнии наступает еще до того, как главный канал достигает тучи.

В первом приближении разряд главного канала можно рассчитать по уравнению длины линии с постоянной удельной индуктивностью, удельной емкостью, переменной по длине канала, и сопротивлением, меняющимся как по длине канала, так и во времени. Такого рода решение будет дано в ближайшее время.

Что касается составляющих свечения столба молнии, связанных с разветвлениями канала и облаком, то их появлению будут соответствовать дополнительные взбросы (пики) тока, которые могут попасть на фронт волны или ее хвост в зависимости от скорости главного канала и расположения разветвлений канала как внутри тучи, так и вне ее.

## Защитное действие разрядников с зависимым сопротивлением при близком прямом ударе молнии

Е. В. КАЛИНИН

Ленинградский завод «Электроаппарат»

При близком к разряднику прямом ударе молнии в линию, между местом удара и разрядником устанавливаются последовательные отражения волн, в результате воздействия которых напряжение на разряднике может оказаться значительно выше значения, получаемого, если при расчете не учитывать последовательных отражений. Поэтому выбор разрядников совершенно необходимо делать с учетом последовательных отражений между местом удара молнии и разрядником. В виду того что сопротивление разрядника с зависимым сопротивлением зависит от величины напряжения, коэффициенты отражения и преломления у разрядника переменны. Поэтому при расчетах защитного действия разрядников с зависимым сопротивлением методом суперпозиции (сеткой Бьюлея) можно пользоваться только несколько его видоизменив, находя для каждого момента времени суммарную набегающую волну и для этой волны — результатирующее напряжение на разряднике.

Целью настоящей работы является анализ влияния на напряжение на подстанции, защищенной разрядником с зависимым сопротивлением, величины сопротивления заземления и числа трубчатых разрядников (или координирующих промежутков), срезающих напряжение в линии, анализ влияния длины подхода и силы тока молнии.

Расчет в основном проделал для 35-kV тиристового разрядника завода «Электроаппарат» РТНМ, имеющего падение напряжения  $IR$  при  $1000$  А = 140 kV и коэффициент  $\alpha = 0,27$  в уравнении  $u = CT^\alpha$ .

Метод расчета. Расчет произведен для наиболее условий работы разрядника — тупикового

режима работы подстанций, линии, не имеющей защиты от прямых ударов по длине, и подходе, защищенном от прямого удара молнии молниеотводами, без связи заземлений трубчатых разрядников на подходе с заземлением подстанции.

Как известно, при ударе молнии в линию и срезе этой волны трубчатыми разрядниками в линию идет волна с относительно большими, но кратковременными пиками напряжения вначале, вызванными влиянием конечной длины опоры. Эти пики накладываются на значение напряжения, рассчитанное без учета конечной длины опоры, определяемое падением напряжения в сопротивлении заземления. Крутизна волны тока молний на хвосте волны значительно положе, чем на фронте, поэтому влияние конечной длины опоры для процессов, определяемых хвостом волны, пренебрежительно мало. Расчет процессов на фронте волны общезвестен, и мы на нем останавливаться не будем.

Целью работы является анализ влияния последовательных отражений на защитное действие разрядников, при отражениях между местом удара и разрядником. В этом случае очевидно, что колебания на фронте волны накладываются друг на друга, при последовательных возвращениях волн к разряднику, не будут, ввиду того, что их длительность невелика по сравнению с временем движения волны по подходу. Но длина хвоста волны значительна, и на хвосте волны последовательные отражения будут многократно возвращаться к разряднику прежде, чем величина основной волны станет заметно меньше амплитуды. На этом основании мы все наши расчеты произвели без учета конечной длины опоры, а также считая, что разрядник мгновенно пробивается по достижении волной данной опоры

(этот пробой определяется процессами на фронте волны). Фактически в начале, а также на каждой ~~набегающей~~ ~~набегающей~~ волны будут колебания напряжения, накладывающиеся на рассчитанную нами волну. Очевидно, однако, что после нескольких отражений вследствие особенно сильного сглаживания

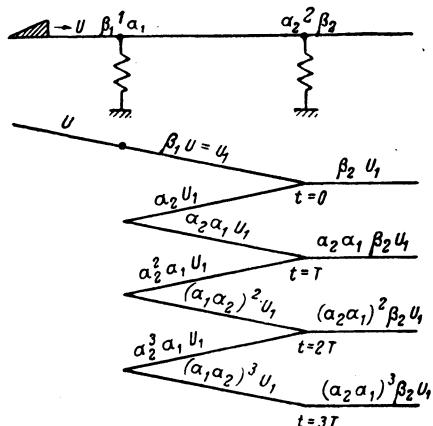


Рис. 1. Диаграмма последовательных отражений между двумя сопротивлениями

живания и затухания коротких пик волн, под влиянием емкости подстанции и других причин, эти пики будут уменьшаться и постепенно сойдут на нет.

Влиянием емкости подстанции мы также пренебрегали, что для процессов на хвосте волны, особенно при наличии разрядника, отсасывающего тысячи ампер, не внесет сколько-нибудь заметной ошибки, конечно, за исключением специальных случаев, когда емкость подстанции весьма велика (случай защиты вращающихся машин). Следует также отметить, что только пренебрежение влиянием емкости и конечной длины опоры позволило нам в короткий срок произвести анализ весьма большого числа схем защиты и воздействий волны<sup>1</sup>.

Для простоты расчета мы считали, что волна имела отвесный фронт. В том случае, если фронт ее пологий, ступени на результирующих кривых несколько сгладятся, не меняя общей картины процесса и величины перенапряжения.

Во всех наших расчетах мы считали, что волна имеет отвесный фронт, экспоненциальный характер и длину 40  $\mu$  sec, т. е. что уравнение волны определяется выражением  $u = U_0 e^{-0.0173t}$ , где  $t$  — время в микросекундах.

Рассмотрим рис. 1, на котором изображена диаграмма последовательных отражений между двумя сопротивлениями. Обозначим через  $T$  промежуток времени, необходимый для двухкратного пробега волны между сопротивлениями. Можно показать, что напряжение на сопротивление 2 равно произведению суммарной набегающей волны в данный момент времени и коэффициенту преломления<sup>2</sup>. Результат расчета будет правлен, независимо от того, постоянный или переменный коэффициент преломления на узле 2 —  $\beta_2$ , поэтому можно решать задачи и для узлов с переменным коэффициентом преломления, например для расчета защитного действия разрядников с зависимым сопротивлением.

<sup>1</sup> Разработанные в лаборатории им. Смуррова Ленинградского электротехнического института графические и аналитические методы учета влияния емкости, параллельной тириту, а также метод эквивалентирования опоры самоиндукцией, разработанный инж. Р. А. Никольским на заводе „Электроаппарат”, позволяют произвести учет влияния конечной длины опоры и емкости подстанции в технически приемлемое время расчета (ст. М. В. Костенко, „Электротехника“ № 1 и 9, 1939).

<sup>2</sup> Подробный вывод см. статью М. В. Костенко, „Электротехника“ № 9, 1939.

Расчет ведется последовательными ступенями. Вначале на узел набегает только волна  $u_1$ ; по характеристике защитного действия разрядника (напряжение на разряднике в функции от величины набегающей волны) определяем напряжение на разряднике  $u_1'$ , соответствующее волне  $u_1$ . После этого находим волну  $u_1$ , отраженную от разрядника, как разность между результирующим напряжением на разряднике и набегающей волной, т. е.  $u_1 = u - u_1$ . Помножив волну  $u_1$  на коэффициент отражения  $\alpha_1$  в узле 1 и коэффициент затухания  $k_0$  пропротяжении между узлами и сложив  $K_0 \alpha_1 u_1$ , со значением основной волны в моменты времени, соответствующие времени возвращения в узел ранее отраженной волны, мы найдем расчетную суммарную набегающую волну в моменты времени  $T$  и  $2T$ .

Так как в промежуток времени между  $T$  и  $2T$  волна изменяется плавно, то значения напряжения в этот промежуток времени приближенно найдем соединив прямой значения, соответствующие моментам  $T$  и  $2T$ .

По характеристике защитного действия определим значения напряжения в узле 2 (на разряднике), соответствующие суммарной набегающей волне в промежуток от  $t = T$  до  $t = 2T$ . После этого найдем суммарную отраженную волну за тот же промежуток, как разность между напряжением на разряднике и суммарной набегающей волной. Помножив найденную суммарную отраженную волну на коэффициенты  $k_0$  и  $\alpha_2$  и сложив это произведение со значением основной волны в моменты  $2T$  и  $3T$ , мы найдем расчетную набегающую волну для этих моментов времени. Продолжая расчет таким же образом, последовательными ступенями, можно найти кривую напряжения на разряднике за все время.

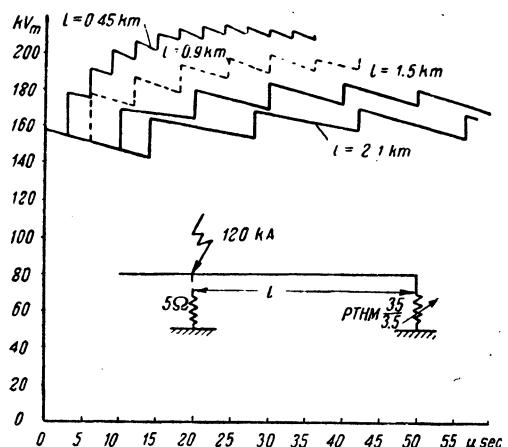


Рис. 2. Кривые напряжений на тупиковой подстанции, щищенной разрядником PTNM 3.5 при ударе молнии в опору подхода (подход защищен молниеотводами без заземлений опор и подстанции)

процесса. Отраженная от разрядника с зависимым сопротивлением волна при больших значениях набегающей волны — отрицательная, коэффициент отражения  $\alpha_1$  также отрицателен. Поэтому к разряднику при последовательных отражениях возвращается положительная волна, и если основная набегающая волна достаточно длинная, то суммарная набегающая волна постепенно увеличивается пока пропротяжении данного времени  $T$  приращение щищенной к разряднику после отражения от  $u_1$  волны не сравняется и затем станет меньше уменьшения самой волны. Соответственно увеличение

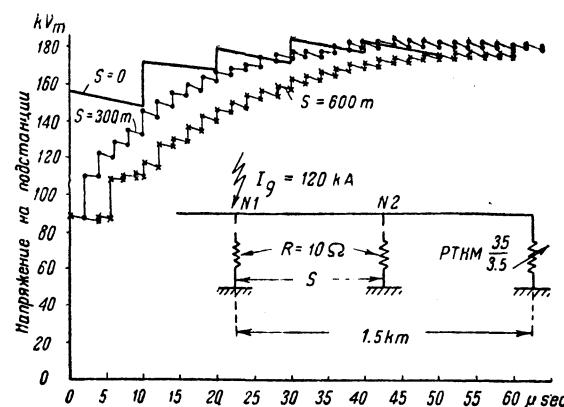


Рис. 5. Зависимость напряжения на подстанции, защищенной разрядником РТНМ  $\frac{35}{3.5}$ , при ударе молнии в 1-ую опору подхода от расстояния между линейными срезающими разрядниками (длина подхода неизменна)

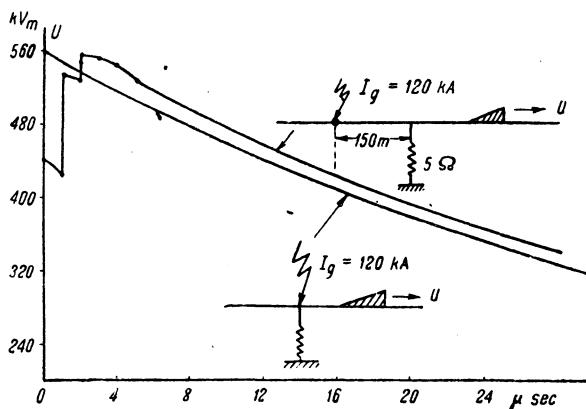


Рис. 6. Волна, проходящая в подход, при ударе молнии в 1-ую опору и в 150 м от нее

каждый или одного с сопротивлением заземления  $5 \Omega$ .

Аналогичным расчетом было выяснено, что если применить два срезающих разрядника с сопротивлениями заземления в  $5 \Omega$  каждый, то максимальное перенапряжение на подстанции при токе молнии в  $120 \text{ kA}$  не превзойдет  $135 \text{ kV}$  даже при длине подхода всего в  $900 \text{ m}$ .

До сего времени мы расчет вели для случая непосредственного удара молнии в первую опору защищенного подхода со стороны линии. Такой случай весьма редок, поэтому возникает вопрос, насколько будет меньше напряжение на подстанции при ударе молнии в линию близко от защищенного подхода. Для получения ориентировки в этом вопросе нами был проделан расчет основной волны, входящей в подход, для случая удара молнии в линию в  $150 \text{ m}$  от первой опоры подхода, при токе молнии  $120 \text{ kA}$  и сопротивлении заземления первой опоры  $5 \Omega$ . При этом было принято, что перекрытия на землю в месте удара не происходит (это предположение при расстоянии от места удара до первой опоры в  $150 \text{ m}$ , вероятно, правильно). Затухание волн на протяжении  $150 \text{ m}$  не было принято во внимание, что дает небольшой запас надежности расчета.

Волна, входящая в подход при этих условиях, показана на рис. 6. Для сравнения там же показана

волна при ударе молнии непосредственно в первую опору подхода. Из рисунка видно, что практически амплитуда и форма волн в обоих случаях одинаковы. Учет затухания дает снижение напряжения приблизительно на  $10\%$ . Если удар молнии произойдет на расстоянии, значительно большем  $150 \text{ m}$ , то схема усложнится разрядом на землю в месте удара, который снизит заметно напряжение в линии только в том случае, если проводимость грунта хорошая.

Таким образом соображения, изложенные в настоящей статье, дают возможность установить напряжения на подстанции не только при непосредственном ударе молнии в первую опору подхода, но и в случае удара молнии в линию близко от первой опоры.

## Выводы

- При ударе молнии в первую опору подхода со стороны линии, или близко к ней, отражения, устанавливающиеся между местом удара и разрядником с зависимым сопротивлением, установленным на подстанции, увеличивают напряжение на разряднике, по сравнению с напряжением, рассчитанным без учета отражений.

- Увеличение напряжения на подстанции при последовательных отражениях тем больше, чем короче подход, но и при длине подхода в  $1.5$ — $2 \text{ km}$  получается заметное увеличение. Поэтому, как правило, при расчетах необходимо вести учет последовательных отражений.

- Расчет напряжения при последовательных отражениях в цепи, содержащей переменные параметры, нельзя вести обычной сеткой, но необходимо находить в каждый момент времени суммарные небегающие волны.

- В случае установки на подходе двух трубчатых разрядников или координирующих промежутков, имеющих одинаковое сопротивление заземления, напряжение на разряднике с зависимым сопротивлением при неизменной длине подхода практически не зависит от расстояния между срезающими разрядниками.

- В случае подхода  $35\text{-kV}$  линии, защищенной молниебтводами, без связи заземления срезающих разрядников с заземлением подстанции напряжение на подстанции не может быть ограничено до безопасной величины стационарным разрядником, имеющим падение напряжения при  $1000 \text{ A}$  —  $140 \text{ kV}$ : коэффициент  $\alpha = 0,27$ , если в наличии имеется один срезающий разрядник на подходе с сопротивлением заземления в  $5 \Omega$  или два с сопротивлением заземления в  $10 \Omega$  каждый даже при длине подхода в  $2 \text{ km}$ .

Два срезающих разрядника с сопротивлением заземления в  $5 \Omega$  каждый (или один с сопротивлением заземления  $2,5 \Omega$ ) достаточны даже при длинах подхода в  $0,9 \text{ km}$ .

- На линиях с тросом, присоединенным к заземлению подстанции, или при заземленном противовесе, присоединенном к заземлению подстанции, соотношение значительно благоприятнее ввиду соска тока молнии земной подстанции. Но количественный учет этого случая в настоящей работе произведен и требует специальных расчетов.

- Выходы настоящей работы относятся к отражениям на хвосте волны, без учета конечной длины фронта.

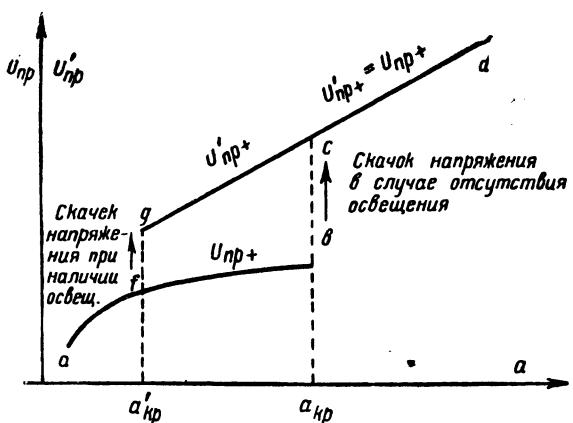


Рис. 3. Зависимость пробивного напряжения от расстояния в случае шара положительной полярности при освещении катода и без освещения

мерности и общий характер протекания наблюдаемых явлений можно представить себе так.

При повышении напряжения и достижении напряженностью поля вблизи шара достаточно большого значения, случайный свободный электрон производит вблизи шара пробой. Пробитый небольшой канал при этом оказывается заполненным малоподвижными положительными ионами.

Если шар имеет отрицательную полярность, то положительный объемный заряд канала ослабляет поле у конца канала по направлению к положительному плоскому электроду, что затормаживает дальнейшее развитие пробоя по этому пути. Возникший ионизационный процесс около шара интенсивно способствует возникновению свободных электронов и развитию ионизационного процесса в других местах у поверхности шара. В результате у поверхности шара уже при сравнительно незначительном расстоянии между электродами возникает интенсивное коронирование (положительный объемный заряд), тормозящее распространение разряда по направлению к плоскости. Пробивное напряжение при отрицательной полярности на шаре благодаря этому при увеличении расстояния между электродами становится выше напряжения, при котором начинается ионизационный процесс, т. е. начального напряжения.

В случае шара положительной полярности положительный объемный заряд пробитого канала усиливает поле у конца этого канала по направлению к плоскости. Дальнейшее развитие пробоя поэтому производится уже электронами, приближающимися из более отдаленных от шара областей поля к концу этого канала. Первоначально пробитый около шара канал благодаря этому, в отличие от случая, когда шар имел отрицательную полярность, способствует дальнейшему развитию и завершению пробоя.

В результате — вплоть до критического расстояния между электродами — пробой наступает внезапно бесс предварительного коронирования при начальном напряжении (рис. 2, участок *ab*). Легко показать вычислениями, что по мере увеличения расстояния напряженность поля у поверхности шара, при которой наступает этот внезапный пробой, растет. При достижении расстоянием критического значения, развитие пробоя происходит уже не по одному каналу, возникшему около шара, а в ряде мест около его поверхности. В результате слой воздуха при развитии разряда

около шара оказывается сплошь ионизированным и малоподвижный положительный объемный заряд возникает уже в форме коронирующего слоя у поверхности шара.

Таким образом при шаре положительной полярности условия для возникновения короны наступают внезапно и лишь при достижении расстоянием критического значения. При расстоянии, равном и большем критического значения, при достижении напряжением начального значения пробой, таким образом, уже не наступает, а возникает внезапно корона. Возникшая около положительного шара корона (положительный объемный заряд), в отличие от действия отдельного пробитого канала, затрудняет дальнейшее развитие разряда. Это имеет место потому, что хотя малоподвижный объемный заряд и стремится усилить электрическое поле в непробитой области, но благодаря равномерному пространственному расположению положительного объемного заряда около шара происходит как бы увеличение размеров электрода и для пробоя требуется напряжение значительно больше начального. Так же пример, в случае шара с диаметром в 8,65 м критическое расстояние оказалось равным 19,2 м и пробивное напряжение возрастало скачком с 2 до 37 кВ.

На рис. 3, помимо кривых пробивного напряжения без освещения, приведены также кривые дающие общий характер зависимости пробивного напряжения от расстояния между электродами при наличии освещения, полученные автором на основании ряда экспериментальных наблюдений.

Из кривых рис. 3 видно, что в случае шара положительной полярности при наличии освещения, так же как и в случае отсутствия его, наблюдался скачок напряжения (рис. 3, скачок *f*). Скачок напряжения сопровождается возникновением, предшествующим пробою коронированием и имеет место при расстоянии  $a'_{kp}$ , значительно меньшем критического расстояния  $a_{kp}$ . В области промежуточных значений расстояний наблюдается значительное различие в величине пробивного напряжения  $U'_{pr}$  при освещении от пробивного напряжения  $U_{pr}$  без освещения.

При расстояниях, меньших  $a_{kp}$ , как показывают наблюдения, действие освещения проявляется лишь очень незначительно ( $U'_{pr} < U_{pr}$ ). В области расстояний, больших критического значения  $a_{kp}$  освещение практически вовсе не изменяет величину пробивного напряжения. Из полученных кривых видно, что освещение не изменяет общей закономерности изменения пробивного напряжения от расстояния, но весьма сильно влияет на величину расстояния, при котором наблюдается скачок напряжения и возникновение короны.

В случае шара отрицательной полярности действие освещения не вносит существенных изменений в характер протекания процесса пробоя: меняет лишь в области не слишком больших расстояний значение пробивного напряжения в сторону уменьшения (на рис. 3 не показано).

В свете изложенных представлений о механизме пробоя в системе шар — плоскость наблюдающей экспериментально действие освещения можно объяснить так.

В случае шара положительной полярности освещение увеличивает количество отрицатель-

напряженных частиц вблизи него и тем самым увеличивает вероятность возникновения короны. Поэтому при наличии освещения расстояние  $a'_{kp}$ , при котором наблюдается скачок пробивного напряжения, значительно меньше расстояния  $a_{kp}$ .

Изложенные предположения о действии освещения и описанные экспериментальные наблюдения позволяют сказать, что основная роль освещения та, что возникновение коронирования и скачка пробивного напряжения может иметь место уже при расстоянии, меньшем  $a_{kp}$ ; значение, о которого увеличивается пробивное напряжение  $U_{pr}$  при этом, в основном определяется коронированием на шаре, а не наличием освещения, как таковым.

Опыты автора показали, что повышение пробивного напряжения не зависит от интенсивности освещения, вплоть до некоторого минимального значения этой интенсивности, когда освещение прекращает внезапно полностью свое действие.

Описанный опыт подтверждает, что увеличение пробивного напряжения всецело определяется тем, возникло ли коронование на шаре или нет, что для возбуждения этого коронирования в области расстояний меньше  $a_{kp}$  требуется лишь, чтобы фототок с катода был не меньше некоторого значения.

Эти опыты навели на мысль, что раз уже возникшая, под влиянием освещения в области расстояний меньших  $a'_{kp}$ , запирающая искровой промежуток корона в состоянии сама себя поддерживать и развиваться уже без наличия освещения.

Наблюдения, имеющие целью это проверить, проводились следующим образом: при расстоянии между электродами, меньших  $a_{kp}$  благодаря наличию освещения напряжение между электродами однималось до значения, превосходящего  $U_{pr}$ , чем вызывалось на шаре коронование. После этого действие освещения прекращалось. Пробой между электродами при этом не наблюдалось. После этого напряжение повышалось. По мере увеличения напряжения интенсивность коронирования возрастала, и пробой наступал лишь при достижении напряжением значения  $U'_{pr}$ .

Следует отметить то, что в случае шара большего диаметра (порядка 1,2—2 см), коронование без освещения становится заметно неустойчивым.

Кроме того, можно наблюдать эффект, кажущийся на первый взгляд парадоксальным.

Если в области расстояний, меньших  $a_{kp}$  при наличии интенсивной короны (при напряжении значительно превосходящем  $U_{pr}$ ) прекратить освещение, а затем снижать подведенное к электродам напряжение, то, так же как и в предыдущем опыте, наблюдается пробой, но в момент, когда поникающееся напряжение достигнет начального значения. В этом опыте пробой диэлектрика вызывается не повышением напряжения, а его понижением.

Проведенные опыты показывают, что любой фактор, способствующий возникновению коронирования, в состоянии вызвать повышение пробивного напряжения и в области расстояний, меньших критического значения. Повышение пробивного напряжения, возникающее при этом, не зависит от характера причины, вызывающей коронование.

Фактором, вызывающим корону при расстояниях меньших  $a_{kp}$  и действующим в этом отношении аналогично освещению ультрафиолетовыми лучами, как это удалось экспериментально установить, являются пары спирта, бензола или эфира.

В проведении опытов принимал участие ст. лаборант А. П. Шпилев.

### Литература

1. Энгель и Штенбек, Физика и техника электрического разряда в газах, т. 2, 1936.
2. Schade, Zeitschr. f. Phys. B, 105, N. 9 и 10, 1937.
3. Fuchs, Zeitschr. f. Phys. B, 92, 1934.
4. Rogowski u. Fucks, Arch. f. El. B, 29, 1935.
5. Rogowski u. Wallraff, Zeitschr. f. Phys. B, 102, 1936.
6. Rogowski u. Wallraff, Zeitschr. f. Phys., B, 108, 1938.
7. Rogowski u. Wallraff, Zeitschr. f. Phys., B, 97, 1935.
8. Brinkmann, Archiv f. Elektrot., H. 2, 1939.
9. Masch, Archiv f. Elektrot. Bd. 24, 1930.
10. R. van Cauwenbergh и G. Marchal, Rev. Gen. d'El., т. 27, 1930.
11. Claussnitzer, Phys. Zeitschr., № 21, 1933.
12. Herz, Berl. Akad. d. Wiss., 2, 1887.
13. Heitel u. Elster, Ann. d. Phys., 39, 1890.
14. Лебединский. Журнал Русского физико-химического о-ва, Физ. отд. 67, 40, 1908.
15. Лебединский (То же), 187, 40, 1908.
16. Лебединский (То же), 211, 41, 1909.
17. M. Toepler, Arch. f. Elektrot., B, 26, 1932.
18. M. Toepler, ETZ, 28, 1907.
19. M. Toepler, Arch. f. Elektrotechn., B, 26, 1932.
20. M. Toepler, Arch. f. Elektrot., B, 27, 1933.
21. E. Marx, ETZ, 24, 1930.
22. E. Marx, Arch. f. Elektrot., B, 20, 1928.
23. Simpson, Lighting Nature, стр. 801, 124, 1929.

# ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ<sup>6</sup>

## Принципы построения распределительных сетей общего пользования<sup>1</sup>

В. П. ЗАХАРОВ

Узбекский филиал Академии наук СССР

В области научно-технической литературы, посвященной вопросам распределения электрической энергии, нельзя не отметить инициативу коллектива Северо-западного отделения „Теплоэлектропроекта“ по созданию новых „Руководящих указаний для проектирования городских электрических сетей“ и дискуссию, проведенную в 1939 г. редакцией журнала „Электричество“, по вопросам проектирования электросетей. Однако, к сожалению, вновь выработанные и утвержденные „Руководящие указания“ не могут быть признаны вполне удовлетворительными, а дискуссия в журнале „Электричество“ не дала решающих коррективов к старым методам проектирования. В действительности в новых „Руководящих указаниях“ отсутствует последовательное проведение какого-либо определенного принципа в построении сетей.

Так, в § 6 авторы „Руководящих указаний“, перечисляя принципы, на основе которых может вестись проектирование, наравне с принципами первоначальных затрат, минимума годовых расходов при эксплоатации и минимума расхода дефицитных материалов и оборудования, выдвигают в качестве равноценного принципа технические качества вариантов. Это уже указывает на отсутствие у авторов определенной принципиальности в постановке вопроса. Дело в том, что под техническими качествами распределительной сети следует подразумевать такие ее свойства, чтобы она удовлетворяла высокому качеству энергоснабжения потребителей энергии, присоединенных к ней, т. е. высокому качеству энергии по напряжению (соответствие номинальной величине и постоянство во времени), высокой надежности и бесперебойности энергоснабжения и т. п. Всем этим качествам должна удовлетворять сеть вне зависимости от принципа, который кладется проектировщиками в определение тех или иных параметров.

В отношении расчетных принципов авторы «Руководящих указаний» рекомендуют в различных случаях различные принципы, предоставляя проектировщикам пользоваться всеми применяемыми в литературе о сетях методами расчета. Так, с одной стороны, в § 15 они выдвигают как основной расчетный принцип минимум годовых эксплоатационных расходов. С другой стороны, в том же параграфе принцип экономии цветных металлов выражен в виде искусственных соотношений конечных разностей, т. е. завуалированными „коэффициентами дефицитности“. В-третьих, на решающем участке проектирования сети для выбора числа трансформаторных пунктов авторы в § 69 выдвигают принцип минимума капитальных затрат, не замечая, что это положение противоречит изложенному в § 15.

Дискуссия 1939 г. в журн. „Электричество“ № 1, за исключением выступления проф. В. И. Вейц, не вскрыла указанного недочета „Руководящих указаний“. Так, в области расчетных принципов можно напомнить ниже следующие положения, выдвинутые отдельными участниками дискуссии: инж. С. Г. Егоров, инж. М. Р. Сонин устанавливают недопустимость применения принципа Томсона, т. е. минимума эксплоатационных расходов, без существенных коррективов; инж. Л. М. Фингер, проф. В. И. Вейц и инж. И. С. Бессмертный вполне основательно утверждают недопустимость введения в расчеты сетей „коэффициентов дефицитности“ или „коэффициентов экономии“ для сочетания принципов минимума эксплоатационных расходов и экономии цветных металлов; инж. И. С. Бессмертный, инж. Ф. Лашков, проф. В. Н. Степанов вносят или поддерживают применение искусственных эквивалентов дополнительных расхода цветных металлов и потерь энергии, что является завуалированным введением тех же „коэффициентов дефицитности“.

Серьезная критика принципиальной стороны вопроса в дискуссии дана только проф. В. Вейц, который дал краткую, но достаточно яркую и четкую критику всех выдвигавшихся „Руководящих указаниях“ и в литературе принципов расчета и построения сетей.

„В качестве ведущего расчетного принципа должен быть принят..., показатель народнохозяйственной себестоимости энергии“... (разрядка Вейца).

Здесь следует обратить внимание, что проф. Вейц говорит о «народнохозяйственной себестоимости», а не о сметной себестоимости, минимум которой совпадает с минимумом эксплоатационных расходов. Для большей ясности проф. В. Вейц указывает, что «вариант, отвечающий условию минимума народнохозяйственной себестоимости энергии, должен быть прокорректирован анализом баланса цветных металлов. На современном (разрядка Вейца) этапе последний фактор в случае явления является решающим». Однако проф. В. Вейц ограничился принципиальной постановкой вопроса и совершенно не остановился на применении в расчетной практике.

Автор настоящей статьи в своих работах по практическому проектированию распределительных сетей для средних и малых городов и учных проработках попытался проанализировать влияние различных параметров распределительной сети на капитальные затраты, издержки проектирования и расходы по цветным металлам и другому оборудованию. Все эти исследования привели автора к выводу, что решение по принципу максимальной экономии расхода дефицитных материалов (цветных металлов) и оборудования, соблюдении качественных условий сети

блзко к решениям по принципу минимума на-  
роднохозяйственной себестоимости.

Примером может служить прилагаемый график (рис. 1) зависимостей капитальных затрат  $k$ , издержек производства и стоимости дефицитных материалов и оборудования  $k_d$  и стоимости меди  $k_m$  от среднего расстояния между трансформаторными пунктами  $L$  для одного из районов Ташкента. Из этого графика видно, что применение принципа минимума капитальных затрат (рекомендуемый авторами „Руководящих указаний“) вызывает не только значительный перерасход меди, но и всех дефицитных материалов и оборудования и даже в отношении сметных издержек производства дает некоторое их повышение.

Эти исследования натолкнули автора настоящей статьи на попытку последовательного проведения построения распределительных сетей принципа минимального расхода дефицитных материалов и оборудования при сохранении технического качественного уровня сети. Следует заметить, что все выводы и рекомендации автора относятся лишь к распределительным сетям средних и малых населенных пунктов. Так например, автор не признает огромных преимуществ сети типа «сплошной сетки» для районов крупных городов с очень высокой плотностью потребления энергии мелкими потребителями. Но нужно, как известно, иметь в виду, что тип «сплошной сетки» качественно совершенно отличен от сети просто замкнутой или «магистрального типа» при малой плотности нагрузки.

Автор изложил свои обоснования предлагаемой системы построения распределительных сетей в две статьи (в «Известиях Средне-Азиатского промышленного института», № 1 и 2, 1936) и своей кандидатской диссертации.

В настоящей же заметке автор только переименует выводы этих работ.

1. Высоковольтная распределительная сеть должна, как правило, выполняться конструктивно замкнутой, но эксплуатироваться разомкнутой, с отключением от руки или от сетевых автоматов в случае аварии на одном из участков такой распределительной линии, соединяющей два или более различных фидерных пункта. Такой «замкто-разомкнутый» тип, обеспечивая надежность энергоснабжения и поддержание напряжения во всех трансформаторных пунктах, дает минимум расхода металла и оборудования, так как сечения проводов обычно определяются сверхтоками, а за-  
така весьма упрощается.

Наиболее эффективным является расположение трансформаторных пунктов по «равнобедренному треугольнику», причем ряды трансформаторных пунктов, совпадающие с основным направлением уличной сетки, отстоят друг от друга на одинаковых, равных расстояниях между трансформаторными пунктами в каждом ряду. Этот способ расположения трансформаторных пунктов, выявленный незначительный перерасход металла в низковольтной сети по сравнению с «шахматным» расположением, дает значительную экономию меди в высоковольтной сети.

Расстояния между трансформаторными пунктами могут определяться по формуле:

$$L = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^6 \cdot B \cdot \gamma_{d\min}}{n \cdot \sigma_p \cdot \delta}} [m] \quad (1)$$

где

$B$  — расходы по дефицитным материалам и оборудованию, не зависящие от мощности трансформаторных пунктов, на один трансформаторный пункт, включая участок высоковольтной распределительной сети, приведенные к килограммам проводникового материала низковольтной сети (меди);

$\gamma$  — характеристика низковольтной сети:

$$\gamma = \frac{U_\phi^2}{\rho \cdot p \cdot 10^6}$$

(для трехфазной сети напряжения 380/220 В с медными проводами  $\gamma \approx 60$ );

$\epsilon_d$  — допускаемая потеря напряжения низковольтной сети в %;

$n$  — число проводов (по сечению) в низковольтной сети, которое следует брать порядка 3,7—4,0;

$\sigma_p$  — плотность распределенной по площади района или города нагрузки, присоединенной к низковольтной сети в  $W/m^2$  или  $MW/km^2$ ;

$\delta$  — удельный вес проводникового материала низковольтной сети.

Из всех величин, входящих в эту формулу, некоторой условностью отличается величина  $B$ . Исходя из современного положения с материалами, мы полагаем необходимым включать в нее: а) вес проводов высоковольтной распределительной сети, если они сделаны из цветного металла, длиной порядка  $(1,25-1,50)L$ ; б) свинцовую оболочку кабеля высоковольтной распределительной сети, пересчитанную в соответствии с отношением цен в kg проводникового материала низковольтной сети; в) вес ошиновок и цветного металла коммутационной аппаратуры трансформаторного пункта; г) постоянную составляющую цены трансформатора, не зависящую от его мощности, пересчитанную по весу проводникового материала низковольтной сети. Таким образом величина  $B$  может колебаться в пределах 150—200 kg на трансформаторных пунктах для случая воздушного подвода высоковольтной распределительной сети на железных проводах и в пределах 500—1000 kg на трансформаторных пунктах для случая кабельного подвода высоковольтной распределительной сети с масляным выключателем в трансформаторных пунктах.

4. Ориентировочные (контрольные) количества материалов по району распределительной сети могут быть определены по формулам.

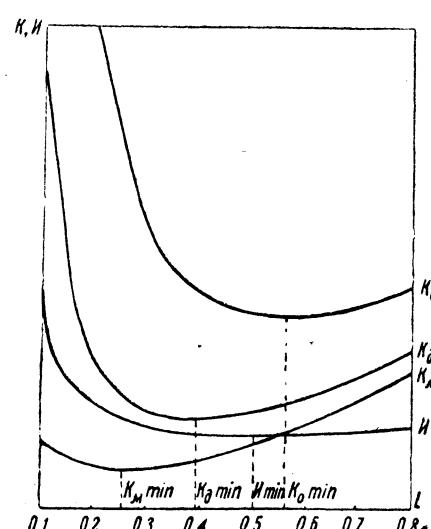


Рис. 1

Вес проводникового металла в низковольтной сети:

$$\Sigma G \approx \sqrt{\frac{B \cdot F \cdot P \cdot n \cdot \delta}{3 \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}} [t] \quad (2)$$

Число трансформаторных пунктов (мы рекомендуем всегда применять трехвводной трансформаторный пункт):

$$N \approx 1,05 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot P \cdot n \cdot \delta}{3 \cdot B \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}} \cdot 10^8 . \quad (3)$$

Средняя мощность трансформаторов:

$$P_{1cp} \approx 1,2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot B \cdot P \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}{F \cdot n \cdot \delta}} [\text{kVA}] . \quad (4)$$

Длина кабеля или линий высоковольтных распределительных сетей:

$$\Sigma L_b \approx (1,25 - 1,50) \cdot \sqrt{\frac{F^3 \cdot P \cdot n \cdot \delta \cdot 10^6}{3 \cdot B \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}} [\text{km}] . \quad (5)$$

При пользовании всеми этими формулами следует иметь в виду, что город должен быть разбит на районы с приближенно постоянными плотностями нагрузки, и перечисленные величины для каждого из них должны определяться по отдельности. При определении этих величин сразу осредненно для всего города или населенного пункта эти величины получатся заведомо несколько завышенными.

В этих формулах приняты обозначения:

$F$  — площадь города или его района в  $\text{km}^2$ ,  
 $P$  — мощность потребителей, присоединенных к низковольтной сети по городу или его району, в MW.

Для величин  $B$ ,  $n$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$  и  $\epsilon_d$  приняты те же обозначения, что и в формуле (1).

5. Конфигурация низковольтной сети для средних и малых населенных пунктов должна браться исключительно как разомкнутая, а при достаточной длине по монтажным условиям — переменного сечения. Замкнутая сеть обеспечивает большую надежность только в случае возможности ее выполнения по типу „сплошной сетки“, при большой плотности нагрузки и обычно в кабельном выполнении низковольтной сети. В противном случае замыкание сети фактически не дает повышения надежности эксплоатации, а лишь усложняет ее и вызывает, как показывают исследования, перерасход от 20 до 50% веса проводникового материала.

Полузамкнутый тип сети дает совершенноunnужную возможность переброски нагрузок с одного трансформаторного пункта на другой, в то время как эксплоатационная корректировка нагрузок низковольтной сети должна вестись путем смены трансформаторов и перевески проводов воздушной низковольтной сети. Рассечение сети между трансформаторными пунктами должно производиться „холостыми“ пролетами, затянутыми для механической прочности заземленным железным проводом, и в точках равноудаленных по проводам от обоих трансформаторных пунктов, между которыми производится рассечка. Таким образом ток в любую точку потребления должен переходить по наименьшему пути по низковольтной сети. Следует категорически отказаться от расщепок сети приближенных к одному из транс-

форматорных пунктов, по соображениям разгрузки или дрогрузки трансформаторов, так как подобная неправильная рассечка не дает ничего кроме вреда в отношении качества энергии или излишнего расхода проводникового материала.

Фиктивный недостаток разомкнутой сети в отношении возможных перебоев при дальнейшем развитии сети компенсируется тем, что по рекомендациям нами формулям низковольтная сеть получается чрезвычайно легкой с доминированием малых сечений проводов (6—35  $\text{mm}^2$ ), которые легко поддаются перевеске без значительных перебоев. Предположения же авторов, рекомендующих „магистральный“ тип низковольтной сети в отношении легкости дальнейшего развития сети на деле не всегда оправдываются, так как развитие может пойти не по направлениям принятых магистралей, а неточности первоначальных предположений о размещении потребителей вызывают сплошь и рядом необходимость перевески проводов.

6. Расчет сечений проводов низковольтной сети должен производиться на постоянное сечение лишь при длине линий менее 250 м при отсутствии ответвлений по поперечным улицам.

Во всех прочих случаях следует рекомендовать расчет сечений по принципу минимума проводникового материала. Автором настоящей заметки разработана методика практических расчетов низковольтной сети по этому принципу для многократно разветвленной сети с произвольным размещением нагрузок („Известия Средне-Азиатского индустриального института“ № 2, стр. 17—1936). При этом такой расчет при пользовании нормальной логарифмической линейкой требует не больше времени от расчетчика, чем счет низковольтной сети по другим методам.

7. При применении четырехпроводной трехфазной системы для низковольтной сети нельзя пренебрегать качеством нулевого провода. Исследование показывает, что при соблюдении данного уровня качества энергии отношение сечения нулевого провода к сечению фазовых проводов исходя из принципа минимума расхода проводникового материала, должно быть равно:

$$a = \frac{q_0}{q} = \sqrt{\frac{9\delta}{1 + 2\delta}},$$

где  $\delta$  — средневзвешенный коэффициентнеравномерности нагрузки системы:

$$\delta = I_o : \frac{1000 \cdot P}{U_\phi} .$$

Следует рекомендовать для концевых ветвей принимать в учет  $\delta = 15\%$  или  $a$  для основных питающих линий низковольтной сети  $\delta = 5\%$  или  $a = 0,64$ . Таким образом во всех случаях следует рекомендовать сечение нулевого провода большее половины сечения фазовых проводов. Рекомендацию авторов „Руководящих заний“ (§ 103) применять нулевой провод с производимостью в  $1/8$  от производимости фазовых проводов следует считать недоразумением.

8. Материалом проводов низковольтной сети следует принимать в основном медь, так как алюминий имеет отрицательные свойства в отношении устройства многократных ответвлений потребителям, так и в отношении возможной перевески проводов. Легкость получающей предлагаемому методу сети дает возмож-

массовой замены медных проводов с сечениями  $< 10 \text{ mm}^2$  железными проводами равной проводимости, что легко осуществляется по элементарному графику. Такая замена дает дополнительную экономию цветного металла, не учитываемую формулой (2). Однако эта замена почти всегда ведет к повышению капитальных затрат. Все предварительные расчеты сечений проводов низковольтной сети мы рекомендуем все же производить по меди.

Аналитические и практические исследования показывают, что предполагаемый нами метод проектирования распределительных сетей дает значительную (в 2–3 раза) экономию проводниковых материалов при относительно небольшом увели-

чении капитальных затрат (20–30%). Так, для Ташкента, Самарканда и Коканда наши исследования показывают, что наличие в низковольтной сети количества меди дает возможность увеличения ее пропускной способности в 2–5 раз при снижении потерь напряжения в низковольтной сети до 4%. В отношении потерь энергии предлагаемый нами метод имеет все преимущества, так как он и в низковольтной сети, и в высоковольтной распределительной сети дает снижение этих потерь, по сравнению с рекомендуемыми методами в „Руководящих указаниях“ (расстановка трансформаторных пунктов по минимуму капитальных затрат и „магистральный“ или полузамкнутый тип низковольтной сети).

## К вопросу применения железных проводов\*

О. Г. ВЕКСЕЛЬМАН

Харьков, Теплоэлектропроект

В настоящее время вопрос использования железных проводов для воздушных линий электропередач является актуальным.

Выявлению допустимой плотности тока для железных проводов должно предшествовать определение рекомендуемой плотности тока проводов из цветного металла, так как сечения проводов из воздушных линий передач, по условиям экономики, должны выбираться по единому методу.

Нами приняты в качестве исходных следующие положения.

1. Необходимо категорически отказаться от определения экономически наивыгоднейшего сечения провода по минимуму эксплуатационных расходов — по известной формуле Кельвина, так как значения отдельных составляющих, входящих в эту формулу, практически не могут быть правильно выбраны.

Стоимость энергии резко отличается в разных районах Союза и поэтому она не может быть положена в основу расчета, тем более что при исчислении необходимо знать стоимость энергии ближайшего ряда лет.

От учета изменения расчетной стоимости меда введением коэффициента, характеризующего степень дефицитности металла, следует отказаться, так как этот коэффициент вряд ли может быть основан в общем виде.

2. Определение сечения проводов из условий экономичности должно производиться по показателю экономии электроэнергии, приходящейся на дополнительно затрачиваемую единицу веса медных проводов.

Неправильно исходить только из необходимости экономить цветной металл, а следует одновременно руководствоваться и соображениями минимизации потерь энергии, и только лишь учет двух единственных реальных в наших условиях показателей может дать рациональное решение вопроса.

Потери мощности в линии, зависящие от нагрузки и числа часов максимальных потерь  $\tau_m$  (функции числа часов использования максимума  $T$ ), могут быть относительно достаточно точно определены.

Значение  $T$ , хотя и колеблется для линий электропередачи от 3000 до 6000 ч, но для предприятий того или иного характера и с известным числом смен работы может быть также определено с достаточной точностью для того же расчетного периода.

В области шкалы больших сечений изменение сечения провода мало отражается как на падении напряжения (индуктивного в основном по своему характеру), так и на уменьшении потерь энергии. В диапазоне мелких сечений проводов увеличение сечения приводит при относительно небольшом добавочном вложении металла к относительно значительным сокращениям потерь энергии.

Подсчеты показывают, что значительного абсолютного уменьшения потерь энергии можно достичь при относительных потерях примерно порядка до 25 MWh/t для медных и до 50 MWh/t для алюминиевых проводов. Абсолютные потери энергии при этих исходных данных достаточно велики, но все же они относительно незначительны по сравнению с величиной передаваемой энергии. Учитывая необходимость экономить цветные металлы, Украинское отделение Теплоэлектропроекта в последние годы запроектировало значительное число линий передач, сечение которых выбиралось по условиям экономичности, исходя примерно из вышеуказанных значений потери энергии.

Значение потерь энергии можно выразить через плотность тока, которую можно рассматривать в этом случае, как приемлемую плотность тока по условиям экономичности.

Уменьшение потерь энергии на 1 t дополнительного расхода металла, принимаемых равными порядка 25 и 50 MWh/t для медных и алюминиевых проводов,

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta G} = \frac{P_{\text{пр}}}{s \cdot s \gamma} = \frac{j^2 \rho \gamma}{s \cdot s \gamma},$$

где  $\Delta P$  — изменение потерь энергии,  $\Delta G$  — изменение веса проводов,  $j$  — плотность тока,  $\rho$  — удельное сопротивление проводов, равное 18,3 и 30,4  $\Omega \text{mm}^2/\text{км}$  для медных и алюминиевых проводов,  $\gamma$  — удельный вес материала провода (8,9 и 2,7 для меди и алюминия),  $\tau$  — число часов мак-

допустимой величины потери энергии 50 MWh на 1 т алюминия. При подсчетах за единицу веса принят вес 1 т алюминиевого провода. Вес железного провода приведен к эквивалентному весу алюминиевого провода по соотношению:

$$s_{\text{ж}} = \frac{\rho_{\text{ж}} \gamma_{\text{ж}}}{\rho_a \gamma_a} = \frac{143 \cdot 7,85}{80,4 \cdot 2,7} = 13,7 s_a.$$

В заключение следует оговорить, что наряду с рассмотренным здесь способом выбора материала и сечения проводов при данном напряжении и известной схеме сети должны быть рассмотрены, а в дальнейшем в той или иной мере также регламентированы, и возможности экономии металла за счет применения повышенного напряжения, соответствующих схем коммутации и т. д.

## Об экономии цветных металлов в моторных сетях

Ю. М. ФАЙНБЕРГ

Харьков, «Электромонтаж»

Таблица 1

Сравнительная таблица сопротивлений проводов и кабелей для распределительных сетей двигателей КПД

220 В постоянного тока

Тип двигателя	Провод ПРТО в трубе		Двужильный кабель	
	сечение mm <sup>2</sup>	сопротивл. 100 м в % к номин.	сечение mm <sup>2</sup>	сопротивл. 100 м в % к номин.
22/1002	2,5	7,95	2,5	7,95
30/1002	6	4,50	2,5	10,8
55/1003	10	3,57	2,5	14,30
75/1003	10	5,25	4	12,70
110/734	16	4,66	6	12,50
150/704	25	4,06	10	10,15
220/615	35	4,16	16	9,10
300/555	70	2,92	35	5,85
400/516	95	2,48	50	4,75
500/406	95	2,97	70	4,08
640/467	120	2,82	95	3,54
800/447	150	2,63	120	3,32
1000/428	240	2,02	180	2,60

печать на зажимах двигателя «допустимое» напряжение путем увеличения сечения проводов, повышением напряжения генераторов, либо комбинацией обеих мер.

Потребность прибегать к этим средствам, очевидно, должна будет возрасти в будущем, при выпуске двигателей по-новому, уже цитированному, стандарту, так как этот стандарт предусматривает, как допустимую, кратность пускового тока до 3,6, 3,2 и 3,0, соответственно, для серийных, компаундных и шунтовых двигателей.

Применяя мероприятия для ограничения падения напряжения в сети, одновременно с тем прибегают к включению пусковых сопротивлений в цепь якоря двигателя, поглощающих значительную долю напряжения. В связи с этим возникает мысль о целесообразности использования самих проводов в качестве элемента пускового сопротивления, остающегося, конечно, включенным и после окончания пуска двигателя. Это позволит не увеличивать сечение проводов против выбранного по плотности тока.

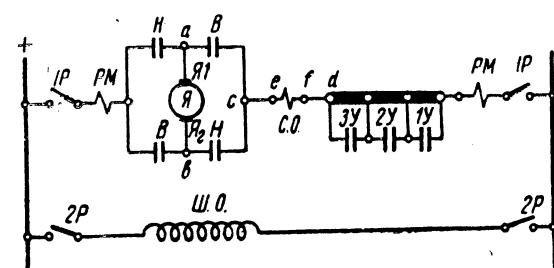


Рис. 1. Принципиальная схема включения реверсивного двигателя постоянного тока

$$(3,2 \div 7,95)\% \cdot 1,12 \cdot 2,5 = 19 \div 22,2\% \quad (a)$$

номинального напряжения сети<sup>1</sup>.

Длина проводов распределительной сети бывает значительно выше 100 м. В практике нередко полная длина юводов распределительной сети отдельного двигателя достигает 300 и более метров. В таких случаях падение напряжения при пуске двигателя в проводах распределительной сети, выбранных по плотности тока, могло бы достигнуть 27–66%. Эти величины кажутся проектировщику изумительными, противоречащими нормам, и он стремится обес-

<sup>1</sup>Коэффициент 1,12 учитывает увеличение сопротивления линий патрулей.

Таблица 4

## Сравнение режимов разгона компаундного двигателя для предельных значений пути

Пред. скор. двиг. в % от номин.	Пред. путь в оборотах	$M_c = 25\%$					$M_c = 100\%$					Пред. путь в оборотах	
		Время					Время						
		номер расчета		% знач. величин			номер расчета		% знач. величин				
		sec		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
70	6,21	0,934	99,95	100,9	97	96,7	88,9	1,833	99,2	90,5	98,0	93,63	12,44
86—88	11,6	1,255	101,8	108,12	99,7	100	94,86	2,235	100,5	100,3	—	—	18,34
100	13,31	1,373	98,4	100,6	97,2	100,6	92	2,735	—	—	—	—	26,84

Таблица 5

## Сравнение режимов разгона серийного двигателя для предельных значений пути

Пред. скор. двиг. в % от номин.	Пред. путь в оборотах	$M_c = 50\%$				$M_c = 100\%$				Пред. путь в оборотах					
		Время		Время											
		$r = 0$ (sec)	$r_c = 12,5\%$   $r_c = 25\%$	$r = 0$ (sec)	$r_c = 12,5\%$   $r_c = 25\%$										
		(% знач.)		(% знач.)											
70	2,74	0,576	—	98,6	1,007	—	100,5	—	5,16						
75	3,43	0,646	100	—	1,277	100	—	—	7,54						
84—85	4,08	0,711	95	—	1,372	97	—	—	8,61						
100	6,23	0,894	107	—	1,802	—	—	—	13,64						

успев закончить процесс запуска. В таких случаях решающим является условие прохождения рабочим органом механизма в заданный отрезок времени определенного пути.

Результаты расчетов по этому критерию даны в табл. 4 и 5.

Как видно из таблиц, при сопротивлении распределительной сети около 12,5%, оба рассматриваемых двигателя достигают 70—75% номинальной скорости быстрее, чем в случае  $r_c = 0$ , однако проходя при этом меньший путь в оборотах. Но заданный путь «идеального» случая ( $r_c = 0$ ) двигатели могут пройти не только без потерь, но для некоторых вариантов даже и с выигрышем времени.

При  $r_c = 25\%$  компаундный двигатель достигает скорости 75% за меньшее время, проходя относительно меньший путь. При  $M_c = 100\%$  этот двигатель при ничтожном изменении пускового сопротивления может достичь скорости 75% практически за время идеального случая. Серийный двигатель достигает 68—70% скорости при этом же сопротивлении сети за несколько большее время (106—122%), сделав, однако, при этом больше оборотов (113—160%).

Заданный путь оба двигателя при  $M_c = 100\%$  и  $r_c = 25\%$  проходят также, во всяком случае, без потерь во времени.

Практически те же выводы соответственно для компаундных и серийных двигателей могут быть сделаны для разгона в среднем до 85% оборотов.

При наличии постоянно включенного омического сопротивления последовательно с якорем и  $M_c = 100\%$  двигатели не могут, конечно, достичь номинальной скорости.

Таким образом требование проекта стандарта о поддержании напряжения на зажимах якорей крановых подъемных и металлургических двигателей для повторно-кратковременного режима работы не ниже 90% номинального не является обоснованным, во всяком случае в той формулировке, которая принятая в проекте стандарта.

Действительно, при наличии нормального напряжения на обмотках возбуждения двигателей требование о поддержании определенной величины напряжения на якоре разумно лишь в той мере, в какой оно обосновано влиянием на величину мощности двигателя иных условий вентиляции при изменившейся скорости двигателя. Однако выбор двигателя для повторно-кратковременного режима нашими стандартами не связывается условиями в отношении эксплоатационной скорости двигателя, и, естественно, ограничения в отношении допустимого уменьшения напряжения на якоре лишены технически обоснованных мотивов.

При изложенном подходе к расчету распределительной сети возможно достичь весьма значительной экономии цветных металлов, так как переход к следующему сечению, против выбранного по плотности тока, дает увеличение проводникового материала: в зоне малых сечений ( $2,5 \div 25 \text{ mm}^2$ ) на 170—155%, средних ( $35 \div 95 \text{ mm}^2$ ) на 143—135% и зоне больших сечений ( $120 \div 240 \text{ mm}^2$ ) на 129—123%.

Экономия металла может быть получена не только в распределительной, но, понятно, и в питательной сети, так как можно с некоторыми ограничениями допустить в этой сети большее падение напряжения.

Необходимо специально подчеркнуть следующее обстоятельство.

Увеличение сопротивления распределительной сети двигателей повторно-кратковременного режима, которую можно рассматривать как элемент пускового сопротивления, не вызывает практически повышения потери электроэнергии. Но всякое повышение сопротивления питательной сети, возникающее при любых мероприятиях по экономии цветных металлов, неизбежно связано с увеличением потерь электроэнергии.

Для выявления экономически целесообразного предела этих мероприятий важно иметь правильный критерий, определяемый общими интересами народного хозяйства.

# НОВОЕ В ГАЗОСВЕТНОЙ ТЕХНИКЕ

## Основные соотношения для контура газосветной лампы

Р. Г. ИЗВЕКОВ

Московский электроламповый завод

Газоразрядные лампы и приборы начинают занимать прочное положение в светотехнике и прикладных областях, где используются как свойства радиации, так и особенности самого разряда. В связи с этими приборами возник новый раздел теоретической электротехники, который можно назвать электротехникой газового разряда. К кругу вопросов, охватываемых этим разделом, относится и настоящая статья, в которой дан анализ схем с газовым разрядом и экспериментальная проверка. Основные опыты производились с ртутными лампами высокого давления — типа Игар—с самокалающимися электродами.

**Общие характеристики схемы.** Как известно, падающая вольтамперная характеристика разряда требует для его стабилизации включения некоторого баластного сопротивления (прибора включения). Для переменного тока наибольший интерес представляют схемы с индуктивным баластным прибором включения (рис. 1).

Сопоставление падающей вольтамперной характеристики разряда и возрастающей — прибора включения — показывает, что при заданных напряжениях  $U_c$  сети и  $U_L$  лампы сила тока в цепи, а следовательно, и мощность зависят от характеристики баластного сопротивления.

Естественным эксплоатационным требованием является максимальная стабильность мощности ламп при наличии определенных производственных допусков по их параметрам и некоторых колебаний напряжения в питающей сети.

Зная вольтамперную характеристику  $f_1(U_6, I)$  прибора включения и называя производную  $\frac{dU_6}{dI}$  крутизной характеристики, предыдущие условия можно выразить следующим образом,

Сохранение постоянной мощности ламп для некоторого диапазона их напряжения требует падающей крутизны вольтамперной характеристики прибора включения. Закон изменения крутизны может быть определен, если известна зависимость  $f_2(U_c, U_6, U_L)$  для напряжений, действующих в контуре.

Стремление снизить изменение мощности лампы в связи с колебаниями напряжения сети приводит к требованию максимально возрастающей крутизны характеристики прибора включения. Как видно, эти два условия взаимно противоречивы. Кроме этого, для ряда ламп с парами металлов существенную роль для их разгорания играет начальная мощность при включении, что

диктует новое условие для работы контура. Обычно в этих условиях начальное напряжение на лампах мало и пусковая сила тока близка к току к. з. Отсюда определяется третье требование к характеристике прибора включения, которое часто не согласуется с одним из первых двух условий, а иногда и с обоими вместе. Все это указывает на необходимость определения оптимальных параметров схемы и наилучших условий эксплуатации газоразрядных ламп. Для решения этой задачи необходимо знать основные электротехнические связи, имеющие место в контуре.

**Элементарные электрические процессы в основной схеме.** Для определения связи между эффективными электрическими величинами, действующими в схеме газосветной лампы, необходимо рассмотреть элементарные процессы, происходящие в цепи при переменном токе.

Для получения наиболее ясной картины протекания разряда на переменном токе, а также возможности некоторых обобщений, рассмотрим осциллограммы ламп, включенных при помощи омических и индуктивных сопротивлений. На рис. 2 представлена весьма характеристическая осциллограмма для ртутной лампы сверхвысокого давления типа СВД-Ш, включенной последовательно с омическим сопротивлением. Кривые напряжений  $U_c$  — сети,  $U_L$  — лампы и  $U_R$  — баластного сопротивления на этой и дальнейших осциллограммах записаны в одном масштабе; кривые тока  $i$  смешены на  $180^\circ$ .

Рассматривая процесс за время полупериода от точки перегиба кривой  $U_L$ , можно отметить, что увеличению напряжения на лампе сопутствует весьма медленное возрастание тока. Это ток самостоятельного разряда, обусловленный осадкой ионизации. В точке перегиба кривой  $i$  соответствующей потенциалу зажигания дугового разряда, имеет место повышение силы тока. Пренебрегая весьма ничтожным током несамостоятельного разряда, мы вправе сказать, что ток дугового разряда запаздывает по отношению к напряжению на лампе на некоторый угол  $\varphi_z$ , соответствующий потенциальному зажигания разряда. Потенциал зажигания дугового разряда

$$U_z = U_{cm} \sin \varphi_z,$$

где  $U_{cm}$  — амплитуда сетевого напряжения.

Заметно отличная картина наблюдается включении лампы с индуктивным баластным сопротивлением. На рис. 3 представлены осциллограммы для ртутной лампы высокого давления (Игар-2) при различных ее напряжениях, включенной последовательно со стандартным ламп дросселем ДБ 0,5/0,22 броневого и опытным дросселем  $D$  с незамкнутым сердечником.

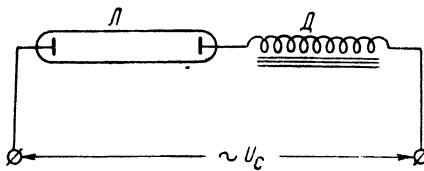


Рис. 1. Основная схема включения газосветной лампы  $L$  с индуктивным баластным сопротивлением  $D$

баластном сопротивлении

$$U_6^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (u_c - u_\lambda)^2 d\omega t = U_c^2 + U_\lambda^2 + \frac{2}{\pi} \int_0^\pi U_{cm} \sin(\omega t + \varphi) \sum_{k=1}^{k=\infty} U_{akm} \sin(k\omega t + \psi_k) d\omega t = U_c^2 + U_\lambda^2 - U_{cm} U_{alm} \cos(\varphi - \varphi_1). \quad (5)$$

Применяя известные соотношения для несинусоидальных величин, получим:

$$U_6^2 = U_c^2 + U_\lambda^2 - 2 \cdot U_c U_\lambda \frac{\cos(\varphi - \varphi_1)}{\sqrt{1 + k_{du_\lambda}^2}}, \quad (6)$$

где  $k_{du_\lambda}$  — коэффициент искажения кривой напряжения на лампе.

Обозначая:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + k_{du_\lambda}^2}} = p \quad (7)$$

и

$$p \cos(\varphi - \varphi_1) = \cos(\varphi - \varphi),$$

выражение (6) можно переписать в следующем виде:

$$U_6^2 = U_c^2 + U_\lambda^2 - 2 \cdot U_c U_\lambda \cos(\varphi - \varphi). \quad (8)$$

Последнюю формулу можно геометрически интерпретировать как соотношение для треугольника  $Oab$  со сторонами  $U_c$ ,  $U_\lambda$  и  $U_6$  (рис. 4).

Как показывают вычисления и будет видно из дальнейшего, введение коэффициента  $p$  в качестве поправки к аргументу косинуса, сохраняя точность аналитического соотношения (8), не приводит к сколь-нибудь значительным практическим искажениям при графическом анализе диаграмм.

Обозначим приведенное активное сопротивление дросселя (с учетом потерь в железе)  $r$ , тогда (рис. 4)  $\frac{r}{\omega L} = \tan \delta$ . Пользуясь рис. 4 и теоремой синусов, определяем:

$$\varphi = \arccos \left[ \frac{U_\lambda}{U_c} \cos(\varphi + \delta) \right] - \delta. \quad (9)$$

Подставляя найденное значение угла  $\varphi$  в формулу (8), применяя теорему сложения и делая преобразования, получим:

$$U_6 = \sqrt{U_c^2 - U_\lambda^2 \cos^2(\varphi + \delta)} - U_\lambda \sin(\varphi + \delta). \quad (10)$$

Расширяя значение поправки  $\delta$ , можно выражение (10) рассматривать как общую и основную формулу, определяющую напряжение на баласте при любом соотношении реактивного и активного сопротивлений.

В формуле (10) присутствует еще угол  $\varphi$ , для определения которого необходимо рассмотреть его компоненты. Согласно условиям (3) и (7),

$$\varphi = \alpha_1 + \beta_1 - \varphi_0$$

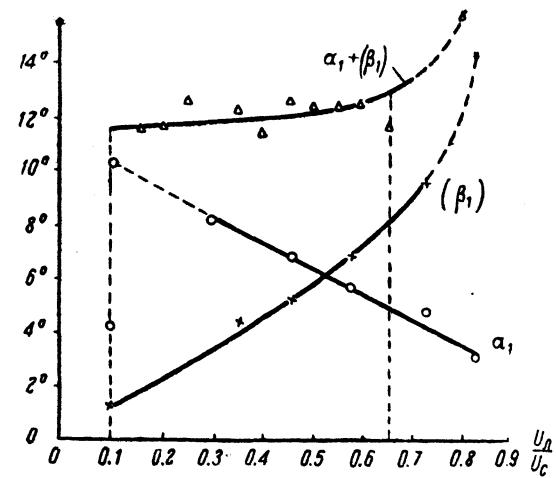


Рис. 5. Изменение углов  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  и их суммы в зависимости от отношения  $\frac{U_\lambda}{U_c}$  для схемы лампы Игар-2 с дросселем

и

$$\varphi_0 = \varphi - \varphi_1 - \arccos [p \cos(\varphi - \varphi_1)]. \quad (11)$$

Укажем методические приемы исследования составляющих угла  $\varphi$ .

Упрощаем кривую напряжения  $U_\lambda$ , приняв ее за трапецию, у которой большая из параллельных сторон равна потенциальному  $U_z$  зажигания и другая потенциальному  $U_x$  потухания.

Выражение для угла  $\alpha_1$  сдвига основной синусоиды будет:

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{2}{L} \left[ 1 - \frac{2}{U_z + U_x} \right]. \quad (12)$$

Осциллографы показывают, что с повышением напряжения на лампе отношение  $\frac{U_z}{U_x}$  уменьшается. Как нетрудно видеть из выражения (12), при уменьшении  $\frac{U_z}{U_x}$  значение  $\alpha_1$  также уменьшается.

Количественное изменение угла  $\alpha_1$  для схемы лампы Игар-2 с дросселем было определено путем разложения в ряды Фурье различных кривых напряжений  $U_\lambda$ , взятых из осциллографа. Экспериментальные точки в большом интервале располагаются по прямой (рис. 5), показывающей линейное уменьшение угла  $\alpha_1$  с возрастанием напряжения на лампе.

Если для упрощения принять кривую тока треугольной формы, то сдвиг фазы  $\beta_1$  основной волны определяется из выражения:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{2\Theta - \pi \sin \Theta}{\pi \cos \Theta}, \quad (13)$$

где  $\Theta$  — угол смещения амплитуды от середины полупериода.

При малых смещениях  $\Theta \approx \sin \Theta$  и

$$\operatorname{tg} \beta_1 \approx -0.363 \operatorname{tg} \Theta. \quad (14)$$

При малых значениях напряжения на лампе кривые тока имеют почти симметричную форму и, следовательно, угол  $\Theta$  близок к нулю. По мере возрастания напряжения  $U_\lambda$  угол  $\Theta$  увеличивается. Выражение (14) показывает, что угол  $\beta_1$  остается все время отрицательным и по абсолютной величине растет по мере увеличения напряжения на лампе.

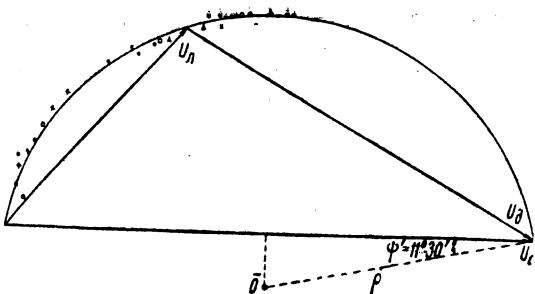


Рис. 6. Диаграмма и экспериментальные точки для различных типов ртутных ламп с индуктивным баластным сопротивлением

Для разбираемой схемы лампы Игар-2 с дросселем значения угла  $\beta_1$  определены при помощи гармонического анализа кривых тока и показаны на рис. 5.

Угол  $\phi_0$ , вычисленный по значениям  $\cos(\varphi - \phi_1)$  и  $\cos(\varphi - \phi)$  обычно мал и, в первом приближении, можно пренебречь. Для схем с дроссельными катушками порядок  $\phi_0$  и  $\delta$  близок, поэтому можно считать

$$\phi + \delta \approx \psi_1.$$

Как видно из рис. 5; угол  $\psi_1$ , равный сумме абсолютных значений углов  $\alpha$  и  $\beta$ , в широком диапазоне изменений  $\frac{U_l}{U_c}$  очень мало меняется. Условия стабильного режима дуги не позволяют выбирать отношение  $\frac{U_l}{U_c}$  больше 0,65, и поэтому можно считать угол  $\psi_1$  постоянным. Это подкрепляется еще вычислениями угла  $\phi_1$ , по эффективным значениям напряжений контура.

Если считать  $\phi$  и  $\phi + \delta$  постоянными при всех изменениях напряжения на лампе, то и углы  $\angle Oba$  и  $\angle Oba_1$  (рис. 4) также постоянны, следовательно, точка  $b$  треугольников движется по окружности.

Радиус  $\rho$  окружности диаграммы, как нетрудно видеть из геометрического построения, в общем виде будет:

$$\rho = \frac{U_c}{2 \cdot \cos(\psi + \delta)} = \frac{U_c}{2 \cdot \cos(\psi + \arctg \frac{r}{\omega L})}. \quad (15)$$

Угол  $\psi' = \psi + \delta$  назовем углом диаграммы.

В системе прямоугольных координат, в которых вектор  $U_c$  принимается за ось абсцисс, а положительные значения ординат идут в направлении, обратном вектору тока, координаты центра  $O$  окружности диаграммы будут:

$$\left[ \frac{U_c}{2}, \frac{U_c}{2} \operatorname{tg}(\psi + \delta) \right].$$

О том, в какой мере приведенный анализ и выделенные из него диаграммы отвечают экспериментальным измерениям, можно судить по диаграмме рис. 6, на которой нанесены точки, полученные из измерений различных типов ртутных ламп (Игар-1—2—3—4, СВД-80, 125 и др.).

Приведенные выше данные позволяют считать диаграммы, построенные по уравнению (8), аналогами векторных диаграмм для контура с газосветной лампой. Эта аналогия усиливается еще тем обстоятельством, что вычисление  $\cos \psi$  по углу  $\psi$ , взятому из диаграммы, равно действительному коэффициенту мощности, определяемому по измеренным эффективным значениям мощности, напряжения и силы тока.

С точки зрения примененного метода анализа представляет интерес рассмотрение углов между векторами.

Вычисленные  $\cos \bar{\psi}$  и  $\cos \bar{\xi}$  по углам  $\bar{\psi}$  и  $\bar{\xi}$ , взятым из осциллографа, заметно отличаются от значений, вычисленных по эффективным величинам, согласно формулам:

$$\cos \bar{\psi} = \frac{P_c}{U_c I} \text{ и } \cos \bar{\xi} = \cos \left( \frac{\pi}{2} - \delta \right) = \frac{P_d}{U_d I}.$$

В практике нас интересуют действующие углы диаграммы, которые позволяют вычислять эффективные электрические величины. Условимся углы  $\psi$ ,  $\xi$  и  $\bar{\psi}$  называть эффективными углами в отличие от  $\bar{\psi}$ ,  $\bar{\xi}$  и  $\bar{\phi}$ , получаемых из осциллографа.

Из основных положений, принятых в анализе, следует, что

$$\psi = \bar{\psi} + \beta_1; \quad \xi = \bar{\xi} + \beta_1 + \gamma_1, \quad (16)$$

где  $\gamma_1$  — сдвиг основной волны напряжения на дросселе.

Определение эффективных углов по формулам (16) хорошо согласуется с экспериментом, в то время как ошибка для углов  $\bar{\xi}$  и  $\bar{\psi}$  доходит, соответственно, до 29 и 46% при значении  $\frac{U_d}{U_c} = 0,83$ .

Когда лампа включена последовательно с активным сопротивлением ( $\delta = 90^\circ$ ,  $\psi = \beta_1$ ), напряжение на омическом сопротивлении

$$U_R = \sqrt{U_c^2 - U_d^2 \sin^2 \psi} - U_d \cos \psi. \quad (17)$$

Достаточное для практики совпадение расчета, вытекающего из анализа, с экспериментальными данными, позволяет для любого соотношения активного и реактивного сопротивлений в приборе включения лампы построить для положительного угла  $\phi$  обобщенную диаграмму. Способ ее построения ясен из изложенного.

**Анализ работы контура газосветной лампы.** Для выяснения условий работы основного контура газосветной лампы необходимо знать действующие напряжения на его элементах, мощность их, силу тока в цепи, характеристику баластного сопротивления и влияние этого сопротивления на электрический режим, а также производные параметры-коэффициенты мощности схемы и лампы.

В предшествующем разделе была выведена основная зависимость между действующими в схеме напряжениями. Подвернем эту зависимость дальнейшему анализу и рассмотрим другие электрические параметры схемы.

Уравнение (10) при  $U_c = \text{const}$  можно рассматривать как функцию  $U_b = f(U_d)$ . Дважды дифференцируя его по  $U_d$ , можно найти, что максимум напряжения на баласте будет при условии  $U_d = -U_c \operatorname{tg} \psi'$  и имеет место только при отрицательном угле  $\psi'$ , иначе говоря, для схемы с индуктивным баластом. Максимум напряжения будет

$\frac{U_c}{\cos \psi'} = 2\rho$ . Падающая вольтамперная характеристика дугового разряда, как уже указывалось, обуславливает тот факт, что сила тока ограничивается только баластным сопротивлением.

При включении дросселя с газосветной лампой напряжение на нем искажено. Оно может быть выражено рядом:

$$u_d = U_{d1m} \sin \omega t + U_{d3m} \sin (3\omega t + \gamma_3) + \dots \quad (18)$$

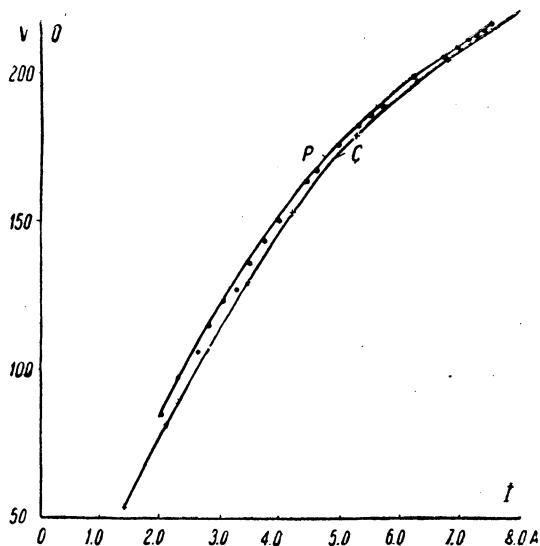


Рис. 7. Собственная  $C$  и рабочая  $P$  вольтамперные характеристики дросселя ДБ 0,5/0,22 броневого типа для номинального напряжения  $U_c = 220$  В

Реактивное сопротивление дросселя при работе его с лампой

$$x_L = \frac{U_d}{I_d} = \omega L \frac{\sqrt{U_{d_1}^2 + U_{d_3}^2 + U_{d_5}^2 + \dots}}{\sqrt{U_{d_1}^2 + \frac{1}{9} U_{d_3}^2 + \frac{1}{25} U_{d_5}^2 + \dots}} > \omega L, \quad (19)$$

т. е. сопротивление дросселя при его работе с лампой больше того значения, которое соответствует синусоидальному напряжению.

Определяя значение  $x_L$  при различных напряжениях и токе, можно построить вольтамперную характеристику дросселя (рабочую характеристику) при включении его с газосветной лампой.

На рис. 7 показаны рабочая и собственная характеристики дросселя ДБ 0,5/0,22 броневого типа для ламп Игар-2.

Полное сопротивление прибора включения, состоящего из дросселя или омического сопротивления, с достаточной для практики точностью, может быть выражено простым ниже следующим уравнением:

$$Z = Z_0 + nI, \quad (20)$$

где  $Z_0$  — некоторое „нулевое сопротивление“,  $n$  — коэффициент, находимый опытным путем, и  $I$  — ток контура.

Для индуктивного баласта  $n < 0$ , для неизменного омического сопротивления  $n = 0$  и для такого баласта, например, как лампы накаливания, сопротивление которого сильно зависит от температуры, —  $n > 0$ .

От выражения (20) легко перейти к уравнению рабочей вольтамперной характеристики:

$$U_d = Z_0 I + nI^2. \quad (21)$$

Надо иметь в виду, что нулевое сопротивление  $Z_0$  имеет физический смысл только при чисто омическом постоянном баласте, когда  $Z = Z_0 = R$ . В других случаях наличие  $Z_0$  и  $n$  ограничивают пределы анализа математических выражений, в которые они входят.

Решая уравнение (22) относительно  $I$  и учиты-

вая физический смысл выражения, получим

$$I = \frac{\sqrt{Z_0^2 + 4nU_d} - Z_0}{2n}. \quad (22)$$

Подставив в (22) значение  $U_d$  по формуле (10) можно исследовать изменение тока контура в зависимости от напряжения на лампе.

На основании предыдущего можно написать выражение для мощности  $P_l$  лампы в следующем виде:

$$P_l = k_l U_l I = \frac{k_l U_l}{Z} \left[ \sqrt{U_c^2 - U_l^2 \cos \psi} - U_l \sin \psi \right], \quad (23)$$

где  $k_l$  — коэффициент мощности лампы.

Дифференцируя (23), найдем, что при  $Z = \text{const}$  и  $U_c = \text{const}$  лампа имеет максимум мощности который достигается при напряжении на лампе

$$U_l = \frac{U_c}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \sin(\psi + \delta)}}. \quad (24)$$

Вводя параметры прибора включения и исключая  $I$  из выражения мощности, получим:

$$P_l = \frac{k_l U_l}{2n} \left[ \sqrt{Z_0^2 + 4n(VU_c^2 - U_l^2 \cos \psi - U_l \sin \psi)} - Z_0 \right]. \quad (25)$$

На рис. 8 представлена кривая, построенная по уравнению (25), и нанесены экспериментальные точки для схемы лампы Игар-2 с броневым дросселем.

Для определения влияния колебаний напряжения сети на мощность лампы при заданном ее напряжении  $U_l$ , дифференцируем формулу (25), почленно делим на выражение мощности и после некоторых преобразований приходим к следующему результату:

$$\frac{\partial P_l}{P_l} = \lambda \frac{\partial U_c}{U_c}, \quad (26)$$

где

$$\lambda = \frac{1 + \sqrt{Z_0^2 + 4nU_6}}{1 + \frac{U_6^2 - U_l^2}{U_c^2}}. \quad (27)$$

При прямолинейной характеристике прибора включения выражение (27) упрощается:

$$\lambda = \frac{2}{1 + \frac{U_6^2 - U_l^2}{U_c^2}}. \quad (28)$$



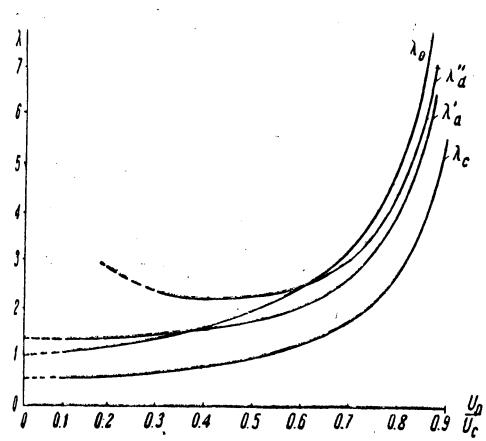


Рис. 9. Кривые изменения коэффициентов  $\lambda_0$ ,  $\lambda_4$  и  $\lambda_c$  в зависимости от отношения  $\frac{U_l}{U_c}$ .  $\lambda_0$  — для схемы с постоянным омическим сопротивлением ( $n=0$ );  $\lambda'_4$  и  $\lambda''_c$  для схем с дросселями Д и ДБ ( $n<0$ ) и  $\lambda_c$  — для схемы с лампами накаливания ( $n>0$ ).

Практически уравнение (26) можно трактовать как зависимость процентного изменения мощности лампы в зависимости от процентного отклонения напряжения сети

$$\frac{\Delta P_l}{P_l} = \lambda \frac{\Delta U_c}{U_c}.$$

На рис. 9 показаны кривые  $\lambda$  для различных схем включения. Кривые наглядно показывают, что чем больше крутизна вольтамперной характеристики прибора включения, тем меньше колебания мощности лампы при одном и том же изменении напряжения сети. Кроме этого, кривые дают возможность выбора наиболее целесообразного для эксплуатации отношения  $\frac{U_l}{U_c}$ .

В таблице приведены некоторые данные экспериментальной проверки формулы.

#### Изменение мощности ламп Игар-2 при использовании различных приборов включения в зависимости от колебаний напряжения сети

Измерения						Расчет			
$\frac{U_l}{U_c}$	напряжение сети		мощность лампы		$\Delta P$	$\lambda = \frac{\Delta P}{\Delta U}$			
	V	%	$\Delta U_c$	$U_l$	$P_l$				
0,5	228	95	-5	113,5	450	90	-10	2	1,9
0,7	240	100	-	112,3	500	100	-	-	1,8
0,44	252	105	+5	111,5	440	110	+10	2	1,75

Лампа Игар-2 с омическим сопротивлением	$\lambda_0$
0,5   228   95   -5   113,5   450   90   -10   2	1,9
0,7   240   100   -   112,3   500   100   -   -	1,8
0,44   252   105   +5   111,5   440   110   +10   2	1,75

Лампа Игар-2 с дросселем (ДБ) броневого типа	$\lambda''_d$
0,65   190   95   -5   132   350   87,5   -12,5   2,6	2,7
0,65   200   100   -   130   400   100   -   -	2,65
0,65   210   105   +5   129   455   113,5   +13,5   2,7	2,6

Лампа Игар-2 с баластом-лампами накаливания	$\lambda_c$
0,62   209   95   -5   125   465   92   -8   1,6	1,4
0,68   220   100   -   127,5   505   100   -   -	1,25
0,65   231   105   +5   127,5   540   107   +7   1,4	1,15

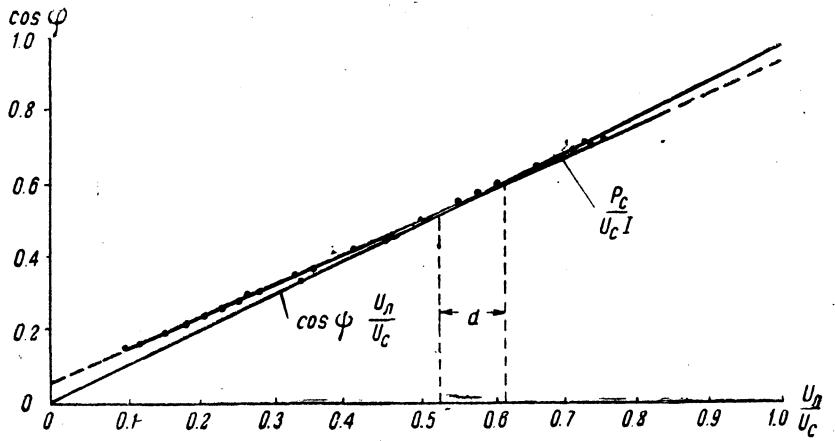


Рис. 10. Изменения коэффициента мощности схемы лампы Игар-2 с броневым дросселем ДБ в зависимости от  $\frac{U_l}{U_c}$

Уравнение (10) позволяет определить вольтамперную характеристику такого дросселя, который обеспечит постоянство мощности ламп независимо от напряжения. Крутизна такого дросселя должна отвечать следующему условию:

$$\frac{dU_d}{dI} = \frac{U_d(U_d + U_d \sin \psi_1)}{I(U_d + U_d \sin \psi_1)}. \quad (29)$$

Практически можно говорить лишь о небольшом участке вольтамперной кривой, крутизна которой удовлетворяет формуле (29). Экспериментально нетрудно построить дроссель, обеспечивающий постоянство мощности лампы с точностью до 3—4% при разбросе напряжения на лампах в пределах 20—30 V (при питании от сети 220 V).

Из формулы (8) можно получить общее выражение для коэффициента мощности схемы<sup>1</sup>. В практически ценном частном случае, когда  $\delta=0$  (рис. 4),  $\cos \varphi = \frac{U_l \cos \psi}{U_c}$ .

Пригодность формулы для случая с дросселями, потери которых обычно невелики, подтверждается экспериментальными данными, показанными на рис. 10, где одновременно построена прямая, отображающая рекомендуемую формулу. В наиболее интересном для анализа пределе  $d$  допусков напряжения (на рис. 10 показаны допуски для ламп типа Игар) расчетная кривая и экспериментальные данные практически совпадают.

Искажение кривых напряжения на лампе и силы тока приводит к тому, что произведение кажущейся мощности лампы не равно мощности, измеренной ваттметром. Отсюда рождается понятие коэффициента мощности лампы, обозначаемого иногда в виде косинуса некоторого угла.

Определение коэффициента мощности позволяет написать следующее выражение:

$$k_l = \sqrt{\frac{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi u_l i d\omega t}{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi u_l^2 d\omega t \cdot \frac{1}{\pi} \int_0^\pi i^2 d\omega t}}. \quad (30)$$

<sup>1</sup> Строго говоря, коэффициент мощности схемы из-за несинусоидальности кривых нельзя выразить тригонометрической функцией, однако использование выражения  $\cos \varphi$  представляет удобство для различных расчетов и не ведет к сколько-нибудь значительным ошибкам.

Подставляя (13) в (8), после элементарных преобразований, получаем:

$$R_x = \frac{R_1}{R_{a_3}} [R_{a_2} - A(R_{a_2} - R''_{a_2})], \quad (14)$$

где

$$A = \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}, \quad (15)$$

$$\Delta_1 = [(\alpha_I - \beta_I) + (\alpha_{II} - \beta_{II}) M_1], \quad (16)$$

$$\Delta_2 = -[(\alpha'_I - \beta'_I) M_2 + (\alpha'_{II} - \beta'_{II}) M_3], \quad (17)$$

$$M_1 = \frac{N_{II}}{N_I}; \quad M_2 = \frac{N'_I}{N_I} \quad \text{и} \quad M_3 = \frac{N''_{II}}{N_I}. \quad (18)$$

С целью упрощения формул (14)–(18) воспользуемся известным критерием ничтожных погрешностей [7]. Предварительно заменим сокращенные обозначения формул (14)–(18) путем подстановки в них (3), (4), (11), (12) и (1). Далее пусть  $|dR_2|$ ,  $|dR_3|$  и  $|dR'|$  представляют модули абсолютных погрешностей  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R'$ , входящих в формулу (14). Соответственно  $|dR_2|_{\mu}$ ,  $|dR_3|_{\mu}$  и  $|dR'|_{\mu}$  модули абсолютных погрешностей  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R'$ , входящих в формулы (18). В таком случае, если сделать

$$\left. \begin{aligned} r'_3 &\leq 0,4 |dR_2|, \quad r'_4 \leq 0,4 |dR_3|, \quad r'_7 \leq 0,4 |dR'|, \\ R_1 + r'_4 &\leq 0,4 |dR_3|_{\mu}, \quad r'_5 \leq 0,4 |dR'_3|_{\mu} \geq r'_6, \\ R_x + (R_2 - R''_{a_2}) + r'_3 &\leq 0,4 |dR_2|_{\mu} \geq r'_2 + r'_1. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

то, основываясь на критерии ничтожных погрешностей, можно пренебречь величинами:  $r'_3$ ,  $r'_4$  и  $r'_7$  в формуле (14) и  $r'_1$ ,  $r'_2$ ,  $r'_3$ ,  $r'_4$ ,  $r'_5$ ,  $r'_6$ ,  $R_1$ ,  $R_x$  и  $(R_2 - R''_{a_2})$  в формулах (18), без заметного увеличения погрешности измерения  $R_x$ . В результате получается формула определения  $R_x$ , удобная для практического применения, а именно:

$$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3} \left[ 1 - A \frac{R_2}{R_2 + R'} \right], \quad (20)$$

где, в свою очередь:

$$A = \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}, \quad (21)$$

$$\Delta_1 = [(\alpha_I - \beta_I) + (\alpha_{II} - \beta_{II}) M], \quad (22)$$

$$\Delta_2 = -[(\alpha'_I - \beta'_I) + (\alpha'_{II} - \beta'_{II}) M], \quad (23)$$

$$M = \frac{R_2 [R_g (R_3 + R_2 + r_2) + R_3 (R_2 + r_2)]}{R_3 [R_g (R_3 + R_2 + r_2) + R_2 (R_3 + r_2)]}. \quad (24)$$

*Случай 2.* Совершенно аналогично получаем:

$$II \left\{ R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3} \cdot \frac{1}{\left[ 1 - A \frac{R_3}{R_3 + R''} \right]}, \quad (25) \right.$$

где  $A$  соответствует (21)–(24).

Легко показать, что требование перемены знака функции  $\alpha$  эквивалентно требованию наличия у  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  [см. (22) и (23)] противоположных знаков, так что на практике величина  $R'$ , или  $R''$  должна быть подобрана такой, чтобы удовлетворилось это последнее условие.

Пусть заданная величина вероятной погрешности результата есть  $\frac{dR_x}{R_x}$ . Пользуясь законом накопления средних погрешностей, получаем требуемые значения погрешностей отдельных параметров, входящих в формулы I и II:

$$\left| \frac{dR_1}{R_1} \right| \leq 0,3 \left| \frac{dR_x}{R_x} \right|, \quad (26)$$

$$\left| \frac{dR'}{R'} \right| \leq 0,3 \frac{m_1}{A} \cdot \left| \frac{dR_x}{R_x} \right| \geq \left| \frac{dR''}{R''} \right|. \quad (27)$$

$$N_I = \frac{R_{a_3}}{R_{a_3} + R_{a_2} + r_{a_2}} \cdot \frac{k}{I_0} [R_{g_I} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R''_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_x + R''_{a_2}) (r_{a_1} + r_{a_2} + R_1 + R_{a_3})], \quad (3)$$

$$N_{II} = \frac{R_{a_2}}{R_{a_3} + R_{a_2} + r_{a_2}} \cdot \frac{k}{I_0} [R_{g_{II}} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_x + R_{a_2}) (r_{a_1} + r_{a_2} + R_1 + R_{a_3})]. \quad (4)$$

$C_1$  – некоторое выражение, учитывающее влияние термопар. Для устранения неопределенного выражения  $C_1$ , учитывающего влияние термотоков, меняем направление тока  $I_0$ , тогда:

$$R_1 R_{a_2} - R_x R_{a_3} = -\beta_I N_I - \beta_{II} N_{II} - C_1. \quad (5)$$

Среднее арифметическое (2) и (5) будет иметь вид:

$$R_1 R_{a_2} - R_x R_{a_3} = a_1, \quad (6)$$

$$a_1 = 0,5 [(\alpha_I - \beta_I) N_I + (\alpha_{II} - \beta_{II}) N_{II}] \quad (7)$$

же не содержит неопределенного выражения  $C_1$ .

Легко показать, что путем регулировки плеча  $R_{a_3}$  или  $R_{a_2}$  можно найти такие их значения, при которых правая часть выражения (6) оказывается равной нулю.

Обозначим соответствующие этому случаю значения плеч через  $R'_2$  или  $R'_3$ . В таком случае очевидно:

$$R'_x = \frac{R_1 R'_2}{R_{a_3}} \quad \text{или} \quad R_x = \frac{R_1 R_{a_2}}{R'_3}. \quad (8)$$

Таким образом задача сводится к нахождению значений плеч  $R'_2$  или  $R'_3$ . Непосредственно, экспериментальным путем (регулировкой), найти требуемое значение плеча весьма рудно. Приходится прибегнуть к следующему косвенному ути.

Математически задача сводится к нахождению значения аргумента по заданному нулевому значению функции. Это же задача, известная в теории интерполяции [6] под названием обратного интерполирования. Решение этой задачи возможно, если известны значения функции для значений аргументов, лежащих по обе стороны от искомого. Одно из требуемых значений дается формулой (6). Для получения второго значения функции включаем интерполяционное сопротивление  $R'$  или  $R''$  такой величины, которое меняет знак функции  $a$ .

В зависимости от соотношения между  $R_{a_2}$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_{a_3}$  могут встретиться два случая.

*Случай 1.* Для перемены знака  $a$  должно быть  $R' \neq \infty$  и  $R'' = \infty$ . Повторяя перечисленные выше операции, т. е. аналогично выражению (6), получаем требуемое второе значение функции:

$$R_1 R''_{a_2} - R_x R_{a_3} = -a_2, \quad (9)$$

$$a_2 = -0,5 [(\alpha'_I - \beta'_I) N'_I + (\alpha'_{II} - \beta'_{II}) N'_{II}], \quad (10)$$

$$N'_I = \frac{R_{a_3}}{R_{a_3} + R''_{a_2} + r_{a_2}} \times$$

$$\times \frac{k}{I_0} [R_{g_I} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R''_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_x + R''_{a_2}) (r_{a_1} + r_{a_2} + R_1 + R_{a_3})], \quad (11)$$

$$N'_{II} = \frac{R''_{a_2}}{R_{a_3} + R''_{a_2} + r_{a_2}} \times$$

$$\times \frac{k}{I_0} [R_{g_{II}} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R''_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_1 + R_{a_3}) (R_x + r_{a_1} + r_{a_2} + R''_{a_2})]. \quad (12)$$

Его позволяет воспользоваться интерполяционной формулой Гравнажа, которая дает:

$$R'_2 = \left[ R_{a_2} - \frac{a_1}{a_1 + a_2} (R_{a_2} - R''_{a_2}) \right]. \quad (13)$$

проводов отложение односторонней изморози на проводах контактной сети и юзязи и на семафорных тягах. Такого же характера изморозь наблюдалась и на промышленных оттяжках из стального троса. Изморозь держалась на тросах крепко, удары рукой по оттяжке не могли сбить. Аналогичного строения изморозь наблюдалась и в контактной подвеске и на усиливающем проводе. При прохождении электровоза изморозь с контактного провода сбрасывалась несла, и, повидимому, совсем не была задета лыжей пантографа.

Отдельные случаи пляски проводов тяжело отражаются движением поездов. Повторные случаи пляски проводов ведут к авариям сети.

**Анализ явления пляски проводов.** Многочисленные наблюдения показывают на большое многообразие явления пляски проводов.

Частота качаний контактной подвески совпадает в общем ее собственным периодом колебаний.

В табл. 1 приведены данные измерений собственного периода колебаний полукомпенсированной подвески, состоящей из стального несущего троса сечением 70  $\text{mm}^2$  и контактного провода сечением 100  $\text{mm}^2$ .

Число собственных колебаний контактной подвески для различных пролетов, при одной полуволне в пролете.

Таблица 1

Длина пролета $m$	81	75	70,15	50,24
измеренное число колебаний в минуту . . . . .	39,2	40,8	44,4	58,2
численное число колебаний в минуту . . . . .	38,9	42	45	63

Данные табл. 1 показывают, что при пляске проводов мы имеем дело с резонансным явлением. Амплитуды колебания тягают значительных величин тогда, когда несколько единиц пролетов обладают одинаковой собственной частотой, что может иметь место либо при одинаковой их длине и линейной нагрузке, либо при разной длине и неодинаковой линейной нагрузке.

Более благоприятствует возникновению пляски проводов одностороннее отложение гололеда, причем безразлично с наветренной или с подветренной стороны. Этот вывод подтверждается и опытами, описанными в статье А. Е. Davison [3].

Эти опыты недостаточно убедительно объясняют причину возникновения пляски проводов в отсутствие гололеда ее усиления после сбояния гололеда (что наблюдалось). Которая показывает, что скорость распространения попечной волны вдоль провода определяется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{T}{m}} = \sqrt{\frac{Tg}{p}} \quad (1)$$

$T$  — тяжение в проводе;  $m$  — масса 1 пог. единицы пролета;  $g$  — ускорение силы тяжести.

другой стороны

$$v = 2\lambda f, \quad (2)$$

$f$  — частота колебаний;  $\lambda$  — длина полуволны.

Пляске проводов во многих случаях в пролете длиной складывается одна полуволна. Применив формулы (1) и положив  $2\lambda = 2L$ , находим

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Tg}{p}}. \quad (3)$$

Экспериментальная проверка показывает, что при разборке пляски проводов можно с полной уверенностью виться для вывода некоторых заключений формулами (1) и (3). Так, например, в табл. 1 приведены вычисленные формулы (3) частоты колебаний, величины которых хорошо совпадают с измеренными.

Результат рассмотрения явления пляски проводов можно к следующему общему заключению.

возникновения и поддержания пляски проводов, неизменное периодически возникающих сил, причем изменения этих сил определяются периодом собственных колебаний провода. Доказывается это тем обстоятельством, что при всех прочих равных условиях, возбуждаю-

щих пляску проводов, резонансные колебания имеют место одновременно в пролетах различной длины, собственные частоты колебаний провода в которых заведомо разнятся.

**Мероприятия по борьбе с пляской проводов.** В условиях линий передачи борьба с пляской проводов может быть ограничена повышением расстояния между проводами и увеличением механической прочности. В условиях же контактной сети эти меры не решают основного вопроса, а именно, создания надежного токоснимания.

Мероприятия по борьбе с пляской контактной сети могут быть классифицированы следующим образом:

1. Мероприятия, направленные к устранению явления пляски. Удаление гололеда с проводов. Линейные работники указывают, что после обивки гололеда с контактного провода и частично с несущего троса в большинстве случаев пляска прекращалась. Способ удаления гололеда — удары деревянными палками по проводам. Более эффективным является способ оплавления гололеда электрическим током. Опыты, проведенные авторами, показали возможность нагревания сети до достаточной температуры токами к. з. Короткое замыкание сети при этих опытах осуществлялось на одной тяговой подстанции, питание «закороченного» участка производилось с соседней подстанции.

Стальной несущий трос токами к. з. почти не нагревается. Поэтому ожидать оплавления гололеда с него нет оснований. Но, надо полагать, одно лишь изменение условий нагрузки, которое произойдет при сбое гололеда с контактного провода, будет достаточно, чтобы приостановить пляску контактной подвески. Это предположение подтверждается и линейными работниками.

**Древесные насаждения.** Древесные насаждения вдоль пути на открытых участках должны значительно изменить ветровые условия. Отмеченные на некоторых дорогах факты временного прекращения пляски над проходящим подвижным составом показывают, что сооружение преград для ветра может иметь существенное влияние на пляску проводов.

2. Мероприятия, ослабляющие интенсивность пляски. Переразбивка пролетов контактной сети (устранение прилегания друг к другу пролетов равной длины). Этим способом можно вывести из резонанса колебания проводов в двух соседних пролетах, что сразу ведет к уменьшению амплитуд в обоих пролетах.

Переразбивка пролетов контактной сети проведена частично на одной из наших дорог. Эффективность этого мероприятия недостаточна: в случае переразбивки пролетов пляска все же имеет место.

Аналогичным мероприятием является и установка фиксирующих поперечников, с обязательным условием, чтобы они не делили пролета на равные части. Установка подобных фиксирующих поперечников была проведена на небольшом участке дорог СССР. Аналогичный способ применен в одном случае длинных пролетов и германскими государственными железными дорогами [1]. Надо ожидать, что фиксирующие поперечники, вследствие введения неизбежной эластичности в закреплении троса и контактного провода, будут менее эффективны, чем переразбивка пролетов.

**Увеличение массы проводов в пролете, путем подвешивания на них грузов.** Это мероприятие аналогично описанному выше и имеет целью уничтожить резонанс соседних пролетов. Развешивая трубы через пролет, можно нарушить вредный резонанс. Случай успокоения пляски на проводах линий передачи путем подвешивания грузов на вершинах волн указывает ирландский инженер Р. В. Sothman [4].

Это мероприятие приблизительно равноценно переразбивке пролетов и вместе с тем должно стоить значительно дешевле.

При подвеске грузов, как следует из расчетов, можно изменить частоты колебаний двух соседних пролетов на меньшую величину, чем при изменении длины пролетов.

3. Мероприятия, защищающие провода от повреждения во время пляски. Для предохранения несущих тросов и усиливающих проводов от изломов в моменты пляски можно установить на участках проводов, где наблюдается пляска демпфера пассивного действия.

Одновременно на всех участках, подверженных пляске, где усиливающий провод крепится на штыревых изоляторах, следует заменить штыревые изоляторы древесными.

В заключение надо подчеркнуть, что явление пляски проводов требует дальнейшей научной разработки для выяснения механизма возникновения колебаний и эффективности различных защитных мероприятий.

## Литература

- W. Reiche, Massnahmen zur Verhütung von Schwingungen in Fahrleitungskettenwerk mit grossen Spannweite. El. Bahnen, стр. 80, № 3, 1935.

2. П. К. Полоневич, Пляска проводов. Электрические станции, стр. 38, № 12, 1937.
3. A. E. Davis on, Dancing conductors. J. AIEE, стр. 538, т. 49, № 7, 1930.
4. W. K. Archbold, Dancing cables affect service. El. World, т. 93, стр. 199, № 4, 1929.
5. Th. Vargneu, Notes on the vibration of transmissionline conductors. J. AIEE V. 45, стр. 953, № 10, 1926.
6. H. Lebouteux, Contribution à l'étude des vibrations dans les conducteurs aériens et description d'un dispositif amortisseur. Rev. Gen. d'Electr., т. 30, стр. 241, № 7, 1931.
7. E. W. W. Double, W. D. Tuck. Vibration of overhead line conductors. J. IEE V. 86, стр. 129, № 518, 1940.

## Определение потерь напряжения в контактной сети с учетом проводимости грунта

К. Г. МАРКВАРДТ

Московский энергетический институт им. Молотова

Главная особенность и трудность электрического расчета контактной сети заключается в необходимости учитывать соединение рельсов с землей и, следовательно, уменьшение общего падения напряжения от подстанции до нагрузки. В контактной сети переменного тока, т. е. в том случае, когда приходится при определении падений и потери напряжений учитывать явление взаимоиндукции, необходимо знать токи, протекающие в проводах и рельсах, а следовательно, приходится здесь учитывать и распределение тока между рельсами и землей.

При решении же указанной задачи необходимо заранее условиться о схеме расположения нагрузок на участке между подстанциями и за их пределами, так как в зависимости от этого расположения мы будем приходить к тому или иному частному случаю.

При выборе расчетной схемы следует иметь в виду, что в эксплуатации могут иметь место самые разнообразные расположения нагрузок, что вносит некоторую неопределенность при выводе расчетных формул. Однако можно получить большую определенность расчета, если учитывать, что почти во всех случаях тяговая сеть рассчитывается для часов наиболее интенсивного движения на участке.

Учитывая к тому же, что в большинстве случаев электрифицируются участки с густым движением, можно притти к выводу, что для определения потери и падения напряжения (среднего или мгновенного) в рельсовой цепи следует принять схему, предполагающую загрузку рассматриваемого и соседних участков рядом нагрузок.

В этом случае эффект уменьшения падений напряжения за счет протекания токов по земле снижается, так как утечка тока рассматриваемого участка с участков, лежащих за пределами рассматриваемого, или уменьшается, или, при симметричном загружении участков, вовсе перестает иметь место.

Таким образом при постоянном токе можно получить уверенность в том, что если в действительности утечка с соседних участков будет иметь место, то расчет даст некоторый запас, так как расчетное падение напряжения получится не сколько более высоким (при прочих равных условиях).

При переменном же токе некоторую неопределенность вносят то обстоятельство, что с уменьшением тока в рельсах, с одной стороны, уменьшается падение напряжения в рельсах, а с другой — увеличивается э. д. с. индукции в контактном проводе, увеличивающая общее падение напряжения в нем.

Но не подлежит сомнению, что увеличение проводимости рельсового пути за счет утечки тока в грунт с участков, лежащих за пределами рассматриваемого, поведет к уменьшению активной составляющей потери напряжения.

Это легко видеть из того, что такое отведение тока с крайних участков равносильно тому, как если бы к рельсам был бы присоединен дополнительный параллельный провод. Не может вызвать сомнений, как указано выше, и то, что наибольшие значения падений и потери напряжения как мгновенных, так и средних будут иметь место в часы наибольшего интенсивного движения, т. е. при наибольшей загрузке всех участков.

Таким образом, на основе изложенного, можно притти к выводу о необходимости при расчетах рельсовой цепи учитывать наличие нагрузок на всех участках.

Но осуществление такого расчета для ряда сосредоточенных нагрузок на участке связано с большими трудностями.

Кроме того, при исчислении различных средних значений времени, очевидно, поправку, учитывающую протекание тока по земле, можно вывести для некоторой средней — эквивалентной схемы нагрузок.

Сложность точного расчета определяется, главным образом тем, что трудно учесть, как изменится эффект от утечки для какой-либо нагрузки на участке при появлении на участке новой нагрузки. Тем более усложняется эта задача, если учитывать еще и изменение нагрузки на смежных участках.

Для упрощения вывода расчетных формул представляется возможным, при определении падения напряжения на рассматриваемом участке для какой-либо нагрузки, остальные нагрузки на участке заменить равномерно распределенной нагрузкой.

Некоторым подтверждением допустимости такой замены может являться сходность эпюры падений напряжения равномерно распределенной нагрузки с эпюрой от сосредоточенных нагрузок, если число их не менее трех.

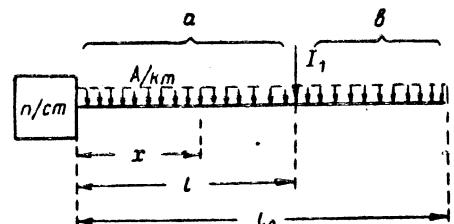


Рис. 1

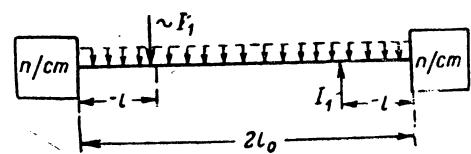


Рис. 2

С другой стороны, возможно различие в интенсивности нагрузок на смежных участках, при различной их длине. Учет этого явления также внесет значительные усложнения в формулы. Однако и здесь возможно значительное упрощение, если принять к расчету равные расстояния между подстанциями, при одинаковой интенсивности нагрузки всех участках. Оправданием такому допущению может служить то соображение, что на магистральных дорогах, движение на смежных участках имеет, примерно, одинаковую интенсивность, расстояние между подстанциями стремится иметь примерно одинаковыми. На участках же, где интенсивность движения различна, обычно на участке с большей интенсивностью расстояние между подстанциями меньше наоборот.

Таким образом, за счет большой интенсивности нагрузки должен перетекать в рельсы соседних участков, а за меньшую длину участка ток должен перетекать с участка большой длины, т. е. одно обстоятельство компенсирует другое. И если не имеет места полная компенсация, то во всяком случае отклонения от принятого нами предположения весьма незначительны.

На основании всех изложенных соображений остановим рассмотрение следующих схем:

1. Одностороннее питание (рис. 1). Здесь на участке сольного питания длиной  $l_0$ , имеющем равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $i$  ( $A/km$ ), перемещается средноточечная нагрузка  $I_1$  ( $A$ ).

2. Двустороннее питание однопутного (рис. 2) или двупутного (рис. 3) участка с симметрично расположеннымными грузами.

Легко видеть, что схемы рис. 2 и 3 сводятся к схеме с большим или меньшим сопротивлением рельса 1 и 2. Точно так же очевидно, что при рассмотрении любо метрического по обоим путям движения поездов можно два поезда, остальные отнести к равномерно распределенной нагрузке, и тем самым опять-таки свести задачу к рис. 1.

Итак, выбрав схему рис. 1, составим общие уравнения для определения потери и падения напряжения до  $I_1$ , а также средние потерю и падение напряжения за ход поезда по участку  $l_0$ .

Особенно интересно установить влияние величин мерно распределенной нагрузки на эти поправки грузки  $I_1$ .

В соответствии с обозначениями на рис. 1 примем равномерно распределенную нагрузку,  $I_1$  — сопротивление нагрузки.

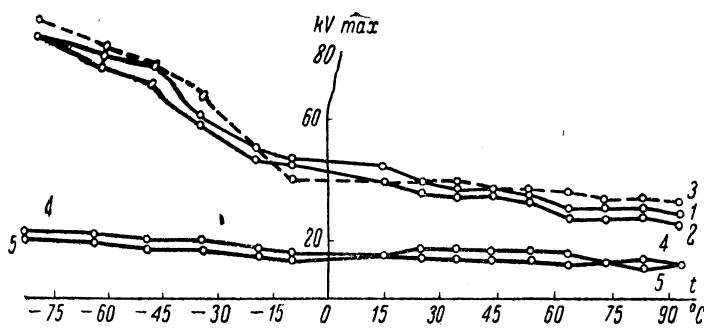


Рис. 1. Импульсное пробивное напряжение бумажной изоляции в зависимости от температуры.  
Кривая 1 — прессшпан А, толщиной 0,8 мм; 2 — прессшпан В, толщиной 0,58 мм; 3 — пергамент; 4 — кабельная бумага КН-17; 5 — лакоткань желтая

служившая одним электродом. Другим электродом служил графитированный участок плоского образца со стороны, противоположной лунке. Толщина образцов в наиболее тонком месте дна лунки бралась равной 1 мм при испытании на пробой импульсом и 0,5 мм при пробое переменным напряжением 50 Hz.

При пробое бумаги прессшпана и лакоткани импульсным напряжением употреблялись электроды: нижний — стандартный, плоский, диаметром 25 мм с закругленными краями и верхний — полусферический, диаметром 25 мм. Нагрев масла в банке производился с помощью электропечи, помещенной в масло в стеклянной трубочке. Этим исключалось непосредственное соприкосновение масла с обмоткой электропечи.

Пробой производился в трансформаторном масле, предварительно просушенном в течение 4—5 ч при температуре до 95°C под вакуумом.

При испытаниях прессшпана А переменным напряжением в электрическом поле «полусфера — плоскости», пробить прессшпан не удалось, вследствие больших поверхностных разрядов, имевших место в этом случае. Поэтому он пробивался в электрическом поле «острие — плоскости», причем для уменьшения поверхностных разрядов острье окружалось экраном из стеклянной трубки.

Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2.

Из рис. 1 и 2 видно, что при понижении температуры ниже нуля, до практического интересной наименьшей температуры минус 60°C, пробивное напряжение исследуемых видов трансформаторной изоляции растет. Пробивное напряжение прессшпана А в случае напряжения 50 Hz в этом интервале температур увеличивается по сравнению с пробивным напряжением при 15°C на 15%, для прессшпана В на 40, для пергамента на 9, бумаги и лакоткани на 10%. При импульсе увеличение пробивных напряжений при понижении температуры еще больше.

Как известно, при тепловой форме пробоя логарифм величины пробивного напряжения линейно зависит от температуры диэлектрика, уменьшаясь при повышении температуры. Величина пробивного напряжения при электрическом пробое не зависит от температуры.

Исследование зависимости логарифма пробивного напряжения от температуры для пробоя пергамента при напряжении 50 Hz показывает, что до температуры 55°C пробой носит электрический характер, при более высоких температурах пробой становится тепловым.

Для прессшпана А пробой становится тепловым при тем-

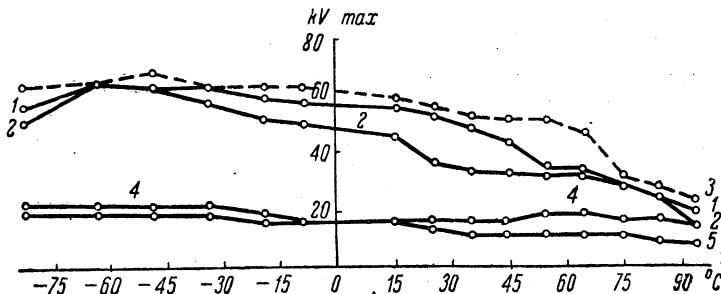


Рис. 2. 50-периодное пробивное напряжение бумажной изоляции.

1 — прессшпан А, толщиной 0,8 мм; 2 — прессшпан В, толщиной 0,58 мм; 4 — лакоткань желтая

пературах выше 20°C, для прессшпана В при температуре выше 55°C. Для исследованных двух сортов бумаги во диапазоне температур — от плюс 95° до минус 85°C — не наружено температурной зависимости пробивного напряжения. Зависимость логарифма пробивного напряжения от температуры при пробое импульсом для прессшпана А получилась также характерной для теплового пробоя. Эта форма пробои при употребляющихся нами импульсах с длиной хвоста по рядка 10<sup>-4</sup> сек возможна, но пробой переменным напряжением в этой области температур показал для прессшпана А электрическую форму пробоя, поэтому мы не можем объяснить полученную зависимость как результат теплового пробоя. Обращает внимание то обстоятельство, что характер получившейся зависимости логарифма пробивного напряжения в зависимости от температуры одинаков для всех трех различных материалов — прессшпана А, прессшпана В и пергамента, хотя прессшпан пробивался в условиях резко неоднородного поля а пергамент в поле, близком к однородному. Полученные прямые имеют одинаковый наклон и выражаются одной и той же формулой.

Сопоставляя температурную зависимость логарифма пробивного напряжения для пергамента, прессшпана А и прессшпана В, полученную в наших опытах, с аналогичной зависимостью для трансформаторных масел, по данным А. А. Воробьева и Н. А. Приходько [1], мы получаем наложение соответствующих точек. Это обстоятельство указывает, что при пробое на импульсах при низких температурах указанных выше материалов в трансформаторном масле пробой наступает вследствие пробоя масла.

Таким образом, полученные результаты показывают, что пробивное напряжение бумажной изоляции в трансформаторном масле, в практически интересном интервале низких температур, возрастает при понижении температуры. Отсюда можно сделать вывод, что эксплуатация высоковольтных аппаратов при низких температурах, с точки зрения электрической прочности их бумажной изоляции, вполне возможна.

Тема данной работы была предложена заведующим высоковольтной лаборатории СФТИ проф. д-ром А. А. Воробьевым и проводилась при его руководстве и консультации.

#### Литература

1. А. А. Воробьев и Н. А. Приходько. Журнал технической физики 15, 9, 1939.
2. В. Ф. Божко. Труды СФТИ, в печати.
3. А. Ф. Вальгер и др. Физика диэлектриков ГПЛ, стр. 502, 1932.
4. Труды 3-й Всесоюзной конференции по изолирующим материалам, стр. 125, 1934.

#### Электрические разряды на поверхности диэлектриков

М. И. МАНТРОВ

Завод «Динамо» им. Кирова

В технике высоких напряжений электрические разряды поверхности диэлектриков — весьма часто наблюдаемое явление. Однако поверхностные разряды едва ли не наименее слабо изученная область физики электроизоляционных материалов. В самом деле, напряжение короны, скользящих разрядов и поверхностного пробоя в технике высоких напряжений определяется обычно эмпирическим путем. Рассчита скользящих разрядов нам известны две эмпирические формулы: одна принадлежит Теллеру:

$$U_{ck} = C_1 \sqrt{d},$$

где  $d$  — толщина диэлектрика, а  $C_1$  — некоторая постоянная зависящая от знака заряда электрода, вокруг которого разуется скользящий разряд.

Другая эмпирическая формула дана Ротом:

$$U_{ck} = C_2 \sqrt{\frac{d}{\epsilon}},$$

где  $d$  и  $\epsilon$  — толщина изоляции и ее диэлектрическая постоянность,  $C_2$  — некоторая универсальная постоянная.

В этой работе дается теоретический расчет напряжения поверхностных разрядов, результаты которого подтверждены экспериментальными данными. В процессе изложения выясняется, что формулы (1) и (2) являются лишь частными случаями более общих закономерностей явлений поверхностных разрядов.

Расчет напряжений электрических разрядов на поверхности диэлектриков. В практике часто встречается

Из уравнения (17) или (18), принимая во внимание (8), (10) и (13), получим для напряженности поля

$$\dot{E} = -\frac{d\dot{U}}{dx} = \dot{U}_0 \gamma \frac{\cosh \gamma(l-x)}{\sinh \gamma l}, \quad (19)$$

а у края электрода ( $x=0$ )

$$\dot{E}_0 = \dot{U}_0 \gamma \coth \gamma l. \quad (20)$$

Из (20) для напряжения на электроде  $P$  получим:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{E}_0}{\gamma} \operatorname{th} \gamma l. \quad (21)$$

Если для данной формы электродов корона или скользящие разряды возникают на поверхности изоляции при вполне определенных значениях  $\dot{E}_0$  ( $\dot{E}_0 = \text{const}$ ), то формула (21) бу-

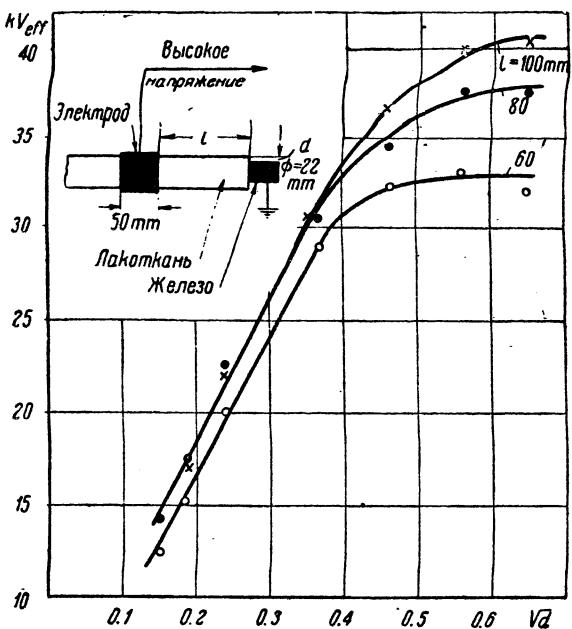


Рис. 4. Напряжение перекрытия (переменный ток) на шелковой лакоткани, толщиною 0,115 мм

дет представлять зависимость напряжения короны или скользящих разрядов от размеров изоляции ( $d$  и  $l$ ), ее электрических характеристик ( $\epsilon_v, \epsilon_m, \rho_v, \rho_m, \rho_s$ ) и частоты  $\omega$ .

Напряжение на электроде при полном поверхностном пробое определяется из (18) при  $x=0$ :

$$U_s = i_s Z \operatorname{th} \gamma l. \quad (22)$$

В этом случае моменту пробоя должно соответствовать условие  $i_s = \text{const}$ .

**Поверхностные разряды при постоянном токе.** При  $\omega=0$

$$Z_s = \frac{\rho_s \rho_m}{\rho_s + \rho_m}, \quad (23)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{\rho_s \rho_m}{(\rho_s + \rho_m) \rho_v d}}, \quad (24)$$

$$Z = \sqrt{\frac{\rho_s \rho_m \rho_v d}{\rho_s + \rho_m}}. \quad (25)$$

Предположим, что  $\rho_m \gg \rho_s$ , это, например, соответствует испытаниям на поверхностный пробой в нормальных условиях воздушной среды. Тогда можно положить

$$Z_s = \rho_s, \quad (26)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_v d}}, \quad (27)$$

$$Z = \sqrt{\rho_s \rho_v d}. \quad (28)$$

и формулы (21) и (22) примут, соответственно, вид:

$$U_{k, ck} = E_0 \sqrt{\frac{\rho_v d}{\rho_s}} \operatorname{th} \left( \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_v d}} \cdot l \right) \quad (29)$$

и

$$U_s = I_s \sqrt{\rho_s \rho_v d} \operatorname{th} \left( \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_v d}} \cdot l \right). \quad (30)$$

Формула (29) дает величину напряжения короны и скользящего разряда, а формула (30) — напряжение при полном поверхностном пробое.

Из формулы (29) следует, что напряжение короны и скользящего разряда с увеличением  $\rho_v$  или  $d$  или с уменьшением  $\rho_s$  возрастает и стремится к некоторой постоянной величине.

Эмпирическая формула Типлер (1), как видно, является частным случаем формулы (29), когда  $\operatorname{th} \gamma l = 1$ .

Напряжение поверхностного пробоя, определяемое по формуле (30), увеличивается с ростом  $\rho_v$  или  $d$ , стремясь к некоторой постоянной величине, и быстро уменьшается с уменьшением  $\rho_s$ . Теоретическая кривая зависимости  $U_s$  от толщины изоляции дана на рис. 2. Подобными этой будет зависимость  $U_s$  от  $\rho_v$  изоляции.

Не представляет затруднений применение формул (2) и (22) к случаю поверхностных разрядов на твердых диэлектриках, находящихся в каких-либо изолирующих жидкостях.

**Поверхностные разряды при переменном токе.** Ограничимся простейшим случаем, когда  $\rho_s, \rho_v, \rho_m$  достаточно велики, так что режим поверхностных разрядов определяется главным образом, емкостными процессами. В этом случае как показывают вычисления,

$$\gamma = \sqrt{\frac{\epsilon_v}{K \cdot \epsilon_m d}} \quad (31)$$

и формулы (21) и (22) оказываются эквивалентными. Поэтому для всех видов поверхностных разрядов при переменном токе в рассматриваемом случае будем иметь одну и ту же формулу, а именно,

$$U_{k, ck, s} = E_0 \sqrt{\frac{K \epsilon_m d}{\epsilon_v}} \operatorname{th} \left( \sqrt{\frac{\epsilon_v}{K \epsilon_m d}} \cdot l \right). \quad (32)$$

Из формулы (32) следует, что напряжение поверхностных разрядов повышается или с уменьшением диэлектрической проницаемости изоляции  $\epsilon_v$  или с ростом толщины изоляции или, наконец, с ростом диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon_m$ , стремясь в каждом отдельном случае к некоторой постоянной величине. Вид этих зависимостей подобен представленному на рис. 2.

Из формулы (32) следует также, что эмпирическая формула (2), указанная Ротом, является частным случаем формулы (32), когда  $\epsilon_m = 1$  и  $\operatorname{th} \gamma l = 1$ .

Формула (32) применима во всех случаях, когда  $\rho_s > 10^{18} \Omega$ ,  $\rho_v > 10^{18} \Omega$  и  $\rho_m > 10^{18} \Omega$ . В противном случае, сопротивление изоляции начинает влиять на распределение поля, в существенной зависимости от величины которого оказывается и напряжение поверхностных разрядов.

Формулы (21), (22) и (32) многократно проверялись нами на очень большом числе изоляционных материалов, как-то лакоткани, стекле, слюде, слюдяной изоляции, на различных лаковых покрытиях и т. п. Во всех случаях получено удовлетворительное согласие теоретических и опытных данных.

На рис. 3 и 4 приводятся экспериментальные зависимости напряжения поверхностного пробоя от толщины изоляции, полученные при испытании на постоянном и переменном напряжении и лакоткани — на переменном напряжении. Сравнение рис. 2, 3 и 4 вполне подтверждает допустимость предпосылок, сделанных нами в теоретических расчетах при выводе формул (21), (22) и (32).

Общие формулы (21) и (22) применимы во всех случаях, где встречаются с эквивалентными электрическими схемами, подобными представленной на рис. 1, б. Это имеет место, например, в расчетах полей высоковольтных вводов; при испытании изоляционных материалов на пробой; во всех случаях возникновения скользящих разрядов внутри изоляции, как это, например, наблюдается при пробое изоляции высоковольтных кабелей. Поэтому мы надеемся, что высказанные в этой заметке теоретические соображения получат плодотворное применение не только в объяснении и расчетах напряжений поверхностных разрядов, но также и в других областях электротехники.

# Анализ режима холостого хода трансформатора с подвижной короткозамкнутой обмоткой

А. М. БАМДАС и Б. В. БЕЛЯЕВ

Московский горный институт им. Сталина

Трансформатор для плавного регулирования напряжения под нагрузкой помощью подвижной короткозамкнутой обмотки, предложенный Е. Норрис (E. T. Norris), привлекает к себе все большее внимание в Советском Союзе. Ряд заводов и научно-исследовательских институтов конструирует эти регуляторы<sup>1</sup>.

Интерес к регулятору системы Е. Норриса вполне обоснован. Мы считаем, что трансформатор с подвижной обмоткой обладает несомненными преимуществами по сравнению с другими регулировочными трансформаторами и весьма целесообразен для плавного регулирования напряжения в различных устройствах и установках средней и малой мощности. Регулятор с успехом может применяться и для автоматического регулирования напряжения, например для его стабилизации.

Можно указать большое число статей, посвященных регулятору. Однако статьи почти не содержат исходного материала или проектирования, и ряд вопросов освещен совершенно не достаточно, а частично и неправильно; наметка пути расчета регулятора опубликована в нашей статье [2].

В данной статье мы осветим вопросы, связанные с режимом при холостом ходе. Кроме того, в статье приводятся описания новой конструкции регулятора.

**Влияние положения подвижной обмотки на ток холостого хода.** В статьях о регуляторе указывается, что при холостом ходе и равенстве чисел витков в обеих встречно-включенных частях первичной обмотки  $w_a$  и  $w_b$  (рис. 1) ток в подвижной обмотке равен нулю при любом ее положении. Это утверждение делает непонятным изменение величин напряжений на половинах первичной обмотки при передвижении подвижной, так как если эта обмотка совершенно не обтекается током, то, очевидно, ее передвижение не может оказывать действие.

Наши наблюдения над разными регуляторами показали, что при холостом ходе ток протекает в подвижной обмотке и резко меняется по величине и фазе в зависимости от ее положения. Объясним это явление.

Рассмотрим сперва явления при симметричном положении подвижной обмотки относительно обеих неподвижных половин первичной обмотки (рис. 2, а). Магнитодвижущие силы обеих половин обмотки равны между собой, что следует из равенства чисел витков и схемы их соединения. Вследствие встречного включения обмоток  $w_a$  и  $w_b$  их магнитные по-

<sup>1</sup> Отметим те, в проектной работе которых авторы принимали участие: Московский рентгеновский завод, Московский трансформаторный завод, научно-исследовательские структуры: связи НКС, метрологии, киностроительства. Регулятор служит темой дипломного проектирования в рядеузов.

токи направлены в разные стороны в стали сердечника и замыкаются попарно окна. Благодаря сцеплению витков подвижной обмотки с равными и встречно направленными магнитными потоками обмоток  $w_a$  и  $w_b$ , наводимая в ней результатирующая э. д. с. равна нулю. Это имеет место единственно при строго симметричном положении подвижной обмотки. Рассмотрим теперь явления при несимметричном положении подвижной обмотки относительно частей первичной (рис. 2, в).

Магнитодвижущие силы обеих половин первичной обмотки одинаковы, но числа их потокосцеплений с подвижной обмоткой разные, так как различны сопротивления путей для магнитных потоков. Вследствие неравенства потокосцеплений, результатирующая э. д. с. в подвижной обмотке не равна нулю, и по обмотке протекает ток.

Разность чисел потокосцеплений подвижной обмотки с неподвижными зависит от величины сдвига этой обмотки относительно ее симметричного положения. Соответственно изменяется ток подвижной обмотки; его величина пропорциональна сдвигу обмотки и — наибольшая при ее крайних положениях. При переходе подвижной обмотки через ее среднее, симметричное положение меняется на  $180^\circ$  сдвиг фаз между током в ней и первичным напряжением<sup>2</sup>. В соответствии с положением подвижной обмотки меняются величины напряжений на обмотках  $w_a$  и  $w_b$  и, следовательно, вторичное напряжение регулятора. Меняется также и величина тока холостого хода в первичной обмотке. Наименьшее его значение должно быть, очевидно, при среднем положении подвижной обмотки, наибольшее — при крайних.

На рис. 3 приведены графики полученных экспериментальным путем зависимостей величин тока в подвижной обмотке и тока холостого хода от величины сдвига обмотки.

**Вторичное напряжение регулятора.** Для любой схемы соединений обмоток вторичное напряжение имеет два предельных значения:  $U_{2\max}$  и  $U_{2\min}$  — соответственно двум крайним положениям подвижной обмотки. Для вычисления предельных значений нужно знать, какая часть первичного напряжения  $U_1$  приходится на одну из половин первичной обмотки при наибольшем сближении с подвижной обмоткой, т. е.

$$\text{величину } s = \frac{U_{a\min}}{U_1}.$$

Эта величина определяет, как мы показали ранее [2], все расчетные параметры схем. Найдем  $U_{2\max}$  и  $U_{2\min}$  для простейшей схемы регулятора (рис. 1). При данной схеме соединений вторичное напряжение всегда равно напряжению на обмотке  $w_a$ . При крайних положениях подвижной обмотки имеем:

$$U_{2\max} = U_1(1 - s);$$

$$U_{2\min} = U_1 s.$$

<sup>2</sup> Опрокидывание фазы тока холостого хода в подвижной обмотке объясняет наблюдаемое неравенство величин тока в ней при одинаковой нагрузке регулятора и различных ее положениях. Особенно резкое отличие величин токов происходит, как это легко объяснить, при индуктивной нагрузке.

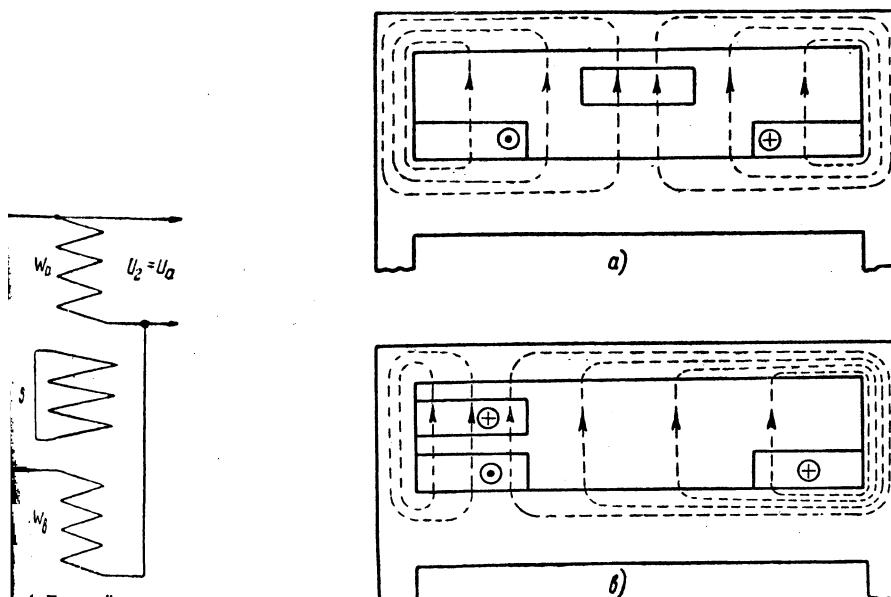


Рис. 1. Простейшая схема соединений обмоток регулятора с подвижной короткозамкнутой обмоткой

Рис. 2. Потокосцепления подвижной обмотки в случае симметричного (а) и несимметричного (б) расположения ее

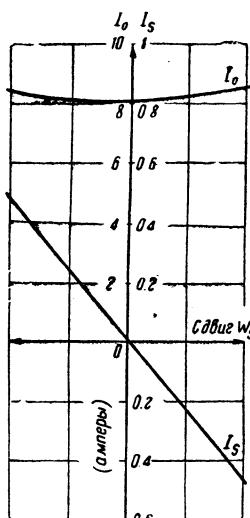


Рис. 3. Токи в первичной обмотке и подвижной в зависимости от сдвига подвижной обмотки от ее симметричного положения

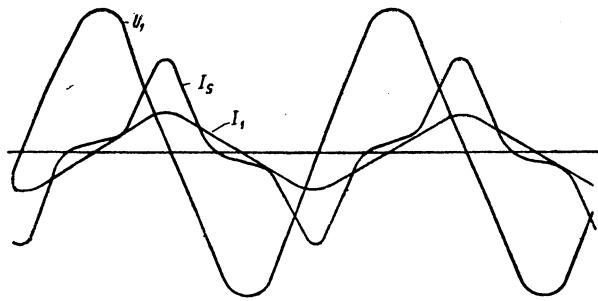


Рис. 4. Осциллографмы токов и напряжения для крайних положений подвижной обмотки

Для других схем предельные значения вторичного напряжения определяются способом соединений<sup>3</sup> и числами витков отдельных частей обмоток.

Величина  $s$  для обычных регуляторов больше нуля; она примерно равна 0,1. Принимая это значение, легко заключить, что при схеме рис. 1 можно регулировать величину вторичного напряжения лишь в пределах от 10 до 90% величины первичного напряжения. Итак, регулятор с данной схемой может служить только для понижения напряжения.

Регуляторы с другими схемами соединений также имеют ограниченные области применения. Нам представляется весьма важным отметить, что возможна такая конструкция регулятора, при которой величина  $s$  может быть равна нулю или отрицательной. В последнем случае напряжение на одной половине первичной обмотки обратно по фазе напряжению на другой. При осуществлении регулятора с  $s \leq 0$  расширяется область применения отдельных схем соединений. Например, регулятор со схемой рис. 1 может служить при этом для получения  $U_2$ , меняющегося от нуля до  $U_2$ , равного или большего  $U_1$ .

При концентричном расположении неподвижных и подвижных обмоток с равной высотой величина  $s$  — отрицательна, если высота сердечника такова, что подвижная обмотка в крайнем положении несколько заходит за соответствующую половину первичной обмотки<sup>4</sup>.

Форма кривой вторичного напряжения и формы кривых токов при холостом ходе. Форма кривой вторичного напряжения определяется формами кривых магнитных потоков, пронизывающих половины первичной обмотки и наводящих в них соответствующие э. д. с. Кривые потоков меняют свою форму в зависимости от положения подвижной обмотки, так как при этом меняется индукция в отдельных частях магнитопровода. Рассмотрим два случая — крайнее положение подвижной обмотки и среднее. Индукцию в стали будем считать взятой в обычных пределах 10 000—14 500 Г. При крайнем положении подвижной обмотки, потоки и напряжение на отдельных половинах первичной обмотки — совершенно различные по формам кривые. На половине обмотки, к которой приближена подвижная, наблюдается небольшое по величине напряжение с сильно искаженной по форме кривой, — резко выражены третья и пятая гармоники. Наоборот, на другой половине — напряжение велико — близко к  $U_1$  и форма его кривой приближается к синусоидальной. При среднем положении подвижной обмотки напряжения обычно синусоидальны на обеих половинах первичной обмотки.

Перейдем к интересному вопросу о форме тока холостого хода в первичной обмотке и в короткозамкнутой подвижной обмотке. Формы кривых обоих токов определяются положением подвижной обмотки. Первичный ток холостого хода при ее среднем положении обычно практически синусоидальный.

<sup>3</sup> В нашей работе [2] определены  $U_2$  для всех основных схем соединений регулятора.

<sup>4</sup> Величина  $S$  может быть также отрицательна при неодинаковых размерах обмоток.

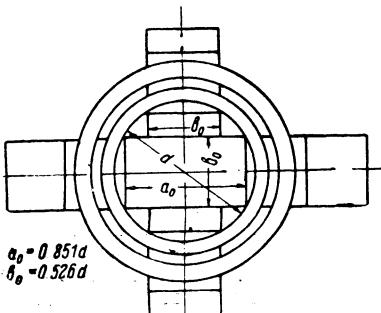


Рис. 5. Магнитопровод регулятора напряжения с подвижной короткозамкнутой обмоткой (вариант с прямоугольными обмотками)

Это происходит оттого, что магнитные потоки в регуляторе идут поперек окна и трансформаторная сталь мало насыщена. Вследствие сказанного, синусоидальная м. д. с., требуемая для воздушного пути, несравненно больше, чем линейно-искаженная для стали. При крайних положениях подвижной обмотки первичный ток холостого хода несколько искажен, так как сталь насыщается. Искажение велико и в этом случае, вследствие относительно большого м. д. с. для воздушного пути.

В подвижной обмотке, при ее крайних положениях, проходит несинусоидальный ток, так как ее пронизывает несинусоидальный поток и, следовательно, наводит в ней несинусоидальную э. д. с.<sup>5</sup>

На рис. 4 приведена осциллографма токов холостого хода в подвижной обмотке для одного крайнего положения. На осциллографме, снятой для другого крайнего положения подвижной обмотки, ток  $I_s$  сдвинут по фазе на 180°.

Величина тока холостого хода. Вследствие малого насыщения стали магнитопровода, можно с достаточной для практики точностью принять величину тока холостого хода, приложенного к намагничиванию воздушного пути потока, при введении эмпирического коэффициента, учитывающего наличие стали, достигаем точности, мало уступающей соотв-

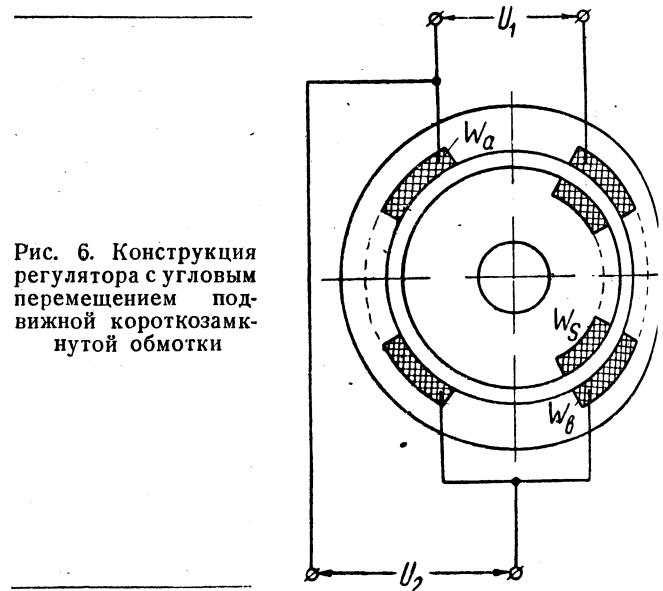


Рис. 6. Конструкция регулятора с угловым перемещением подвижной короткозамкнутой обмотки

ствующей точности в подсчетах тока холостого хода современных трансформаторов. При выводе формулы, определяющей величину тока холостого хода, мы предполагаем, что  $w_a = w_b = w$  и пренебрегаем потерей напряжения этой обмотке. Магнитный поток одной из двух групп обмоток

$$\Phi_a = \frac{10^8 \cdot U_1}{4,44 \cdot fw_a} (1 - s),$$

где  $s$  — часть приложенного напряжения, приходящаяся на вторую группу первичной обмотки, поток которой

$$\Phi_b = \frac{10^8 \cdot U_1}{4,44 \cdot fw_b} s.$$

Полный поток равен сумме этих потоков

$$\Phi_0 = \Phi_a + \Phi_b = \frac{10^8 \cdot U_1}{4,44 \cdot fw}.$$

Магнитодвижущая сила обеих групп будет  $0,4\pi \cdot 2w$ , проводимость общему потоку, идущему поперек одного окна  $\frac{Lb}{l}$ , где  $L$  — высота и  $l$  — ширина окна, а  $b$  — толщина пакета магнитопровода.

Откуда получаем

$$I = 0,9 \frac{IU_1 \cdot 10^7}{Lbw^2}.$$

Вводя эмпирический коэффициент  $k = 1,1$ , учитывающий вышеуказанные допущения, мы получаем окончательно:

$$I = \frac{IU_1 \cdot 10^7}{Lbw^2}.$$

<sup>5</sup> Мы считаем, что величина  $s$  положительна.

**Искрогашение при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора (схема d, рис. 1).** Схема d, предложенная автором, представляет комбинацию двух рассмотренных выше схем.

В первый момент размыкания, пока конденсатор не заряжен, ток в купроксном выпрямителе

$$i_b = \frac{u}{r_m} - \frac{u + \Delta u}{R'},$$

где

$$R' = \frac{R \cdot \frac{R_c}{k}}{R + \frac{R_c}{k}}.$$

Сопротивление  $R_c$  выбирается очень малой величины, и ток купроксного выпрямителя в первый момент размыкания мал или вообще отсутствует. В этом случае искрогасителем является конденсатор. По мере заряда конденсатора сопротивление  $R'$  и ток в купроксном выпрямителе увеличиваются. Функцию искрогасителя теперь уже начинает выполнять купроксный выпрямитель.

Выше показано, что напряжение на контактах после размыкания цепи при наличии купроксного выпрямителя устанавливается, согласно (4), примерно равным напряжению питания  $u$ . Это позволяет применить сопротивление  $R_c$  очень малой величины, чем устраняется основной недостаток рассмотренного выше метода искрогашения при помощи одного только конденсатора.

Так как при наличии купроксного выпрямителя напряжение на контактах после размыкания не зависит от величины добавочного сопротивления  $R$ , то такая схема искрогашения позволяет применять одноступенчатый регулятор напряжения в машинах с очень широким пределом регулирования (с очень большим значением добавочного сопротивления  $R$ ).

Искрогашение при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора, таким образом, является исключительно эффективным. Габариты купроксного выпрямителя настолько малы, что не могут служить препятствием для применения такой схемы искрогашения.

**Включение сопротивления параллельно индуктивности** (схема фирмы Бош). Фирма Бош для целей искрогашения включает параллельно индуктивность сопротивления  $r$ . Анализ такой схемы произвел Spreadbury [5]. Сравнивая его выводы с только что сделанными для схемы искрогашения при помощи купроксного выпрямителя, можно сказать, что выводы эти одинаковы. Для схемы Бош

$$i_R = \frac{u + i_m r}{R + r},$$

$$u_k = \frac{R(u + i_m r)}{R + r}.$$

При  $r = R$

$$u_k = \frac{u + u \cdot \frac{R}{r_m}}{2} \approx 3u.$$

Так как сопротивление  $r$  выбирать очень малым нельзя, то напряжение на контактах при размыкании цепи в этом случае снижается незначительно. Если учесть, что разываемый контактами ток при этом несколько увеличивается, то эффект искрогашения в схеме Бош получается незначительным.

При испытаниях регулятора напряжения к авиационной динамомашине ( $u = 27$  V,  $r_m = 14 \Omega$  и  $R = 70 \Omega$ ) оказалось, что на вольфрамовых контактах в схеме искрогашения с одним активным сопротивлением, включенным параллельно контактам, искрение начиналось в зависимости от степени окисления поверхности контактов, при токах  $1,0 - 1,4$  A.

Если, помимо этого, включить конденсатор емкостью  $c = 2 \mu F$  и сопротивление  $R_c = 60 \Omega$  (согласно условию Krüger), то предельный разрываемый ток увеличивается примерно на 10%. Схема искрогашения с одним только купроксным выпрямителем показала незначительный эффект искрогашения.

Исключительно эффективно действовала схема искрогашения при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора. Для машины на напряжение  $u = 27$  V,  $r_m = 7 \Omega$  (две обмотки соединены параллельно) применили регулятор с вольфрамовыми контактами и искрогаситель с данными  $c = 2 \mu F$

и  $R_c = 3 \Omega$ . Этим регулятором удавалось разрывать ток до  $2,8$  A без всяких искр при различных значениях добавочного сопротивления  $R$  (от  $60$  до  $200 \Omega$ ). Тем самым была доказана возможность, используя схему искрогашения при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора, строить авиационные генераторы большой мощности и с широким пределом регулирования.

## Литература

1. Krüger. Изменение формы сильноточных серебряных контактов аппаратов связи при включении постоянного тока. Verlag R. Oldenbourg.

2. Holm, Gildenpfennig, Störmeg. Статьи в журналах Wiss. Veroff. aus den Siemens Werken № 1, 1935 № 2, 1937, ETZ, 19, 1935, Zeitschr. f. techn. Physik, № 11, 1938.

3. Усов, Лазаренко и Заславская. Исследование переноса и коррозии металла под действием электрических разрядов на разрывных контактах. Брошюра 1938.

4. H. Fink. Исследования возникновения контактной дуги. Wiss. Veroff. aus den Siemens Werken, Bd. XVII, N. 3, 1938.

5. F. Spreadbury. Метод гашения искр на контакте регулятора напряжения. The Electrician, стр. 3, № 3110, 1938.

6. W. Bürstyn. „Электрические контакты“. Berlin. Verl. J. Springer 1937.

## Защита радиоприема от помех, распространяющихся по троллейбусной линии

С. А. ЛЮТОВ  
Ленинград

Троллейбусные линии, обладая достаточно малым затуханием  $\gamma$ , служат хорошим переносчиком помех, создаваемых как троллейбусами, так и другими, расположенными вблизи линии источниками помех. В результате прием радиопередач слушателями, живущими близи троллейбусной линии, становится невозможным.

Применение на троллейбусной линии защиты от помех путем блокировки линии конденсаторами на землю позволяет сильно ограничить распространение помех по линии, а также увеличить общий коэффициент эффективности защиты троллейбуса.

Блокировка троллейбусной линии производится через промежутки, равные обычно расстоянию между соседними стобами или подвесками.

Из эквивалентной схемы защиты рис. 1, a видно, что троллейбусная линия, защищенная блокировкой, представляет собой многозвенный фильтр. При рациональном подборе параметров его, путем использования последовательного резонанса в цепях блокировок, можно достичь значительного уменьшения расстояния распространения помех по троллейбусным проводам и ослабление помех, создаваемых электрооборудование троллейбуса.

Воздействие троллейбусной линии на антенну приемника определяется, в основном, лишь несимметричной составляющей помехи, защита от которой выполняется конденсатором  $C_2$ .

Эквивалентную схему защиты по несимметричной составляющей наиболее удобно для расчета представить в виде схемы b рис. 1.

В этой схеме мы принебрегли сопротивлением цепи симметричной блокировки троллейбусных проводов между собой конденсатором  $C_1$ , так как практически для радиовещательного диапазона оно мало по сравнению с сопротивлением троллейбусных проводов между блокировками.

Кроме того, индуктивность обоих троллейбусных проводов ввиду их полной тождественности представлена в виде эквивалентной индуктивности  $L_1 = \frac{L' + M}{2}$ .

Сопротивление  $R_3$  является сопротивлением заземления цепей блокировки с конденсаторами  $C_2$ .

Для исключения возможности появления в защищаемом диапазоне частот вредных резонансов, емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и индуктивности  $L_1$ ,  $L_2$  выбирают такими, чтобы характер сопротивления цепей блокировок в защищаемом диапазоне не был емкостным.

При выполнении этого условия резонансы как симметричной

1 Коэффициент затухания 300 м линии  $\beta = (1,42 - 1,48) \cdot 10^{-3}$

цевых решеток. Они расположены так, что одна из сеток фильтра отражает то, что пропустила другая. Таким путем легко устраниТЬ как очень длинные, так и очень короткие волны [5].

Сочетание нескольких плоских фильтров, поставленных в последовательном порядке, дает многократный фильтр, выделяющий более узкую полосу из спектра излучателя.

В последнее время разработана теория действия массового излучателя в предположении, что частицы вибрационной смеси имеют правильную форму шариков, расположенных в смеси, для простоты, по кубической системе; в центре кубика смеси имеется один шарик. Каждая пара шаров образует малый вибратор Герца. Теория приводит к определенным закономерностям, касающимся зависимости энергии, запасенной в вибраторах, от концентрации, размера частиц и других факторов. Сравнение результатов теории согласуется с экспериментальными данными А. П. Калугиной [6].

Н. А. Соколовым изучена длинноволновая часть спектра массового излучателя. Для вибрационной смеси были взяты частицы разного размера — от 0,32 до 0,04 см. Детекторами служили резонансные термоэлементы с антennами разной длины. Измеренные по методу интерференции длины волн оказались лежащими в диапазоне от  $\lambda = 18,2$  до  $\lambda = 0,15$  см.

**Стикография.** В области исследования сантиметровых и более длинных волн следует отметить введение лабораторий в ультрафаунтехнику метода, подобного фотографии [7].

Лабораторией изобретена «чувствительная электрохимическая пластина» и такая же бумага. Этот метод, названный стикографией, позволяет получить при помощи электрических волн тени и изображения, образованные скоплением точек. В частности, впервые получено на бумаге изображение герцевского вибратора при помощи излучаемых им волн. Изображение представляет собой дифракционную картину, подобную изображению звезды в астрономической трубе (А. М. Морозова [8]).

В связи с проблемой стикографии были поставлены задачи изучения электростатики стикографического когерера (В. К. Аркадьев), распределения тока около когерера, лежащего на бумаге (В. А. Кизель [9] и Ф. Ф. Панасенков [10]) и статистика пробоя когереров (З. Г. Чернявская [11]).

Рецептура раствора для пропитывания бумаги имеет весьма важное значение; этому посвящено исследование З. А. Иофа [12, 13]. Механизм работы по когерерам изучен в работах Д. И. Пенера [14, 15]. Им, в частности, исследовалась зависимость пробоя от способа изготовления опилок и их количества в когерере, а также общий вопрос о металлическом контакте.

В настоящее время В. К. Аркадьевым и Д. И. Пенером разработан новый метод фиксации сантиметровых волн на плоскости, основанный на применении фотографической пластиинки. Этот способ (искровая стикография) основан на получении большого количества мельчайших искр между металлическими частицами, насыщенными на пластиинку. Такое свечение может наблюдаться при хорошем затемнении и глазом.

**Электромагнитные процессы в металлах.** По разделу распространения электромагнитного поля в металлах решено много отдельных вопросов.

Они распадаются на две группы: а) теория скин-эффекта и ее применение для вычисления из данных опыта магнитных характеристик вещества, его консервативной и консумтивной проницаемости и б) теория зависимости этих проницаемостей от частоты магнитного поля, которая представляет собой частный случай общей теории пассивных спектров.

Изучению скин-эффекта, имеющего большое значение для процесса намагничивания сердечников трансформаторов, дросселей, электромагнитов, посвящен ряд работ лаборатории.

Обычно при математическом исследовании скин-эффекта исходят из предположения, что магнитная проницаемость материала  $\mu$  не зависит от поля. Подобное упрощение теории справедливо для слабых магнитных полей, а также для некоторых специальных сплавов (например пермаллов), имеющих постоянную проницаемость в интервале магнитных полей в несколько эрстед. Однако в большинстве случаев проницаемость далеко непостоянна, и это предположение не позволяет правильно отобразить явления скин-эффекта в средних и сильных полях.

В. К. Аркадьев [16] развил теорию скин-эффекта в предположении, что магнитная индукция  $B$  постоянна, т. е. что индукция в железе движется круговым фронтом. Эта теория приводит к выводам, имеющим практическое значение. Так, в частности, само возникновение теории связано с изучением условий намагничивания рельсов при их контроле путевыми дефектоскопами НКПС.

В работах В. К. Аркадьева [17] и Тихонова [18] рассмотрены процессы заполнения пластиинки магнитной индукции при непериодическом появлении и исчезновении поля.

К числу проблем, связанных с явлением скин-эффекта, относится исследование характеристик железных проводов в переменном токе. Ввиду практической важности этого вопроса мы остановимся на нем несколько подробнее.

Измерение сопротивления ферромагнитных проводов (железных, стальных) осложняется тем, что, в отличие от немагнитных проводников (меди, алюминий), их сопротивление зависит не только от частоты тока, но и от величины тока (при одинаковой частоте и температуре провода).

Полное сопротивление переменному току  $Z$  определяется величиной магнитной проницаемости. Естественно, что все факторы, влияющие на магнитную проницаемость и на потери, будут влиять и на сопротивление  $Z$ . Сильный скин-эффект в железном проводе, а следовательно, и высокое сопротивление, таким образом, связано с большой проницаемостью железа. Для ослабления скин-эффекта необходимо создать, следовательно, в проводе препятствие к образованию потоков магнитной индукции.

Железная труба с продольным разрезом и железный трис в котором промежутки, ослабляющие магнитную индукцию состоят из окалины и воздуха между отдельными жилами триса, показывают меньшую разницу в сопротивлениях при постоянном и переменном токам даже при большом диаметре общего сечения (10—15 mm). Относительная дороговизна триса затрудняет применение его в электротехнике. В. Аркадьев предложил конструкцию железного провода и шины, имеющие сечение в форме гармоники [20]. Испытание таких конструкций показало почти полное совпадение сопротивлений постоянному и переменному токам.

Исследованием явления, родственного указанным выше занимался Б. А. Садиков [21]. Он показал сильную зависимость сопротивления железного провода от внешнего напряжения: с увеличением напряжения сопротивление провода резко падает.

В ближайшее время предполагается провести аналогичное исследование для проволок из никеля, обладающего, как известно, по сравнению со всеми другими чистыми металлами, наибольшим коэффициентом магнитострикции. Теоретические исследования по расчету сопротивления переменному току железного провода были проведены А. А. Ермоловым [22] и И. В. Антиком [23]. Ею было показано, что если известны гнезда петель гистерезиса при аксиальном и циркулярном намагничивании, то по указанным выше средним значениям  $\mu_{med}$  и  $\rho_{med}$  можно построить хорошо согласующиеся с опытом теоретические кривые  $Z$ ,  $Rw$  и  $X$ .

В лаборатории положено начало особой отрасли учения о магнетизме, именно магнитной спектроскопии. Она возникла из изучения процессов намагничивания, обусловленных свойствами самого вещества ферромагнетика. В 1926—1927 гг. эти явления, называемые магнетодинамическими, стวились в связь с явлением Баркгаузена, что привело к открытию звучания железа при перемагничивании [24].

В последующие годы получила развитие теория магнитных спектров В. К. Аркадьева [25], которая дает возможность получить теоретические формулы для проницаемости вещества и его магнитной проводимости  $\rho = \frac{\rho'}{2T}$  в зависимости от частоты.

Выходы этой теории были проверены и подтверждены О. И. Велецкой на экспериментальных данных других авторов, а потом и на собственных измерениях [26] мягких магнитных материалов (пермаллоя), выполненных частично совместно с В. М. Гойтайниковым [27].

Наличие резкой зависимости проницаемости магнитных материалов от частоты в области слабых полей должно иметь практическое значение. При расчетах дросселей трансформаторов, — там где требуется независимость индуктивности или магнитного потока от частоты, — необходимо знать, учитывать магнитный спектр материала сердечников [28].

Явления магнитной вязкости должны проявляться не только в периодических процессах, но и в апериодических процессах намагничивания. По этому вопросу следует указать (кроме указанных работ А. Н. Тихонова) на работу К. Волковой, которая дала математический анализ динамических кривых размагничивания и установила роль побочного фактора искры размыкания.

В своих экспериментальных работах Р. В. Телеснин [29] исключил искру размыкания и получил очень сильное замедление процесса изменения намагниченности на спинке гистерезисной петли, где дифференциальная проницаемость очень велика.

Пользуясь маятником Гельмгольца, допускающим измение очень коротких промежутков времени, до  $10^{-6}$  sec, он

ушили кривые намагничивания, размагничивания и перемагничивания железных проволок и лент толщиной до нескольких микронов. Из его измерений следует, что для наиболее тонких объектов время изменения намагнченности во много раз выше (700) больше вычисленного по формуле Введенского, что указывает на невозможность объяснения хода процессов иками Фуко, и тем с полной очевидностью выявляется влияние магнитной вязкости.

Кроме указанных здесь работ лаборатории им. Максвелла, которых многие представляют собой вновь созданные типы и новые открытия, ей принадлежат также заслуги в области создания новых кадров советских ученых. В лаборатории начали свою научную деятельность ряд молодых физиков Союза, из числа которых назовем профессоров Московского университета Б. А. Введенского, В. А. Корчагина, С. Акулова и Е. И. Кондорского. Лабораторией выпущены научных руководств и сборников научных трудов, членко приведенных в списке литературы.

### Литература

1. А. А. Глаголева-Аркадьев, Ж. Т. Ф. 757, 6, 1936.
2. А. А. Глаголева-Аркадьев, Успехи физических наук 522, 16, 1936.
3. А. А. Глаголева-Аркадьев, „Сорена“ № 9, 1936.
4. А. А. Глаголева-Аркадьев, Доклады АН, III, р. 415, № 6, 1934.
5. А. А. Глаголева-Аркадьев, Известия ОТН АН ССР № 10, 1938.
6. А. П. Калугина, Ж. Э. Т. Ф., т. 9, стр. 362, № 3, 1939.
7. В. К. Аркадьев, Доклады АН, т. 3, стр. 412, № 6, 1944.
8. В. К. Аркадьев и А. М. Морозова, Доклады АН, 277, 1, 1936.
9. В. А. Кизель, Ж. Э. Т. Ф., стр. 502, т. 2, 1937.
10. Ф. Ф. Панасенков, Ж. Э. Т. Ф., стр. 457, № 5, 1936.
11. В. К. Аркадьев и Э. Г. Чернявская, Ж. Э. Т. Ф., стр. 107, т. 7, 1937.
12. З. А. Иофа, Ж. Т. Ф., т. 8, стр. 915, № 10, 1938.
13. З. А. Иофа, Ж. Т. Ф., т. 8, стр. 1040, № 11, 1938.
14. Д. И. Пенер, Ж. Т. Ф., стр. 2227, т. 7, 1937.
15. Д. И. Пенер, Ж. Т. Ф., т. 9, стр. 445, № 5, 1939.
16. В. К. Аркадьев, Практические проблемы электромагнетизма, стр. 19—42, изд. АН, 1939.
17. В. К. Аркадьев, Доклады АН, 35, 16, 1937.
18. А. Н. Тихонов, Проблемы электротехнического металла, 117. Изд. ОТН АН, М.—Л., 1938.
19. Е. И. Кондорский, Вестник электротехники, стр. 79, № 5, 1930.
20. Е. П. Островский и Б. А. Садиков, Железные провода. Энергоиздат, 1932.
21. Б. А. Садиков, Вестник электротехники, стр. 79, № 5, 1930.
22. А. А. Ермолаев, Сборник „Современные проблемы электромагнетизма“, посвященный 10-летию лаборатории электромагнетизма им. Максвелла, ГТТИ, 1931.
23. И. В. Антик, Arch. f. Elektr., т. 25, стр. 125, № 2, 1931.
24. В. К. Аркадьев, Электричество № 8, 1927.
25. В. К. Аркадьев, Электромагнитные процессы в металлах, т. 2, ГТТИ, 1936.
26. О. И. Велецкая, Ж. Э. Т. Ф., т. 6, стр. 445, № 5, 1936.
27. О. И. Велецкая и В. М. Гойтаников, Сборник „Практические проблемы электромагнетизма“, стр. 73—79, изд. АН ССР, 1939.
28. В. К. Аркадьев, Электричество № 3, 1939.
29. Р. В. Телесини, Ж. Э. Т. Ф., т. 7, № 4, 1937.

## ИСТОРИИ НАУКИ

### Исследования Эпинуса в области электромагнетизма

(1724—1802)

**М. И. РАДОВСКИЙ**

Ленинградский электротехнический институт  
инженеров сигналлизации и связи

Исследования Эпинуса относятся к 50-м годам XVIII в., когда учение об электричестве, за полтора века существования, уже насчитывало ряд достижений.

При опубликовании Эпинусом сочинений об электричестве наука уже обладала достаточным количеством сведений по вопросам электростатики. Экспериментально было доказано, что в очень многих телах можно возбудить электрические заряды. В литературе раздавались все чаще и увереннее голоса, деление веществ природы на «электрические» и «неэлектрические», как предполагал Гильберт (10—1603) и многие из его последователей, не соответствует объективной действительности. Были есть и тщательно изучались взаимодействия электризованных тел, электрическая проводимость, электрическое влияние, электростатическая индукция, лейденская банка. Всеобщее вниманиевлекали изыскания в области атмосферного электричества, основа которых была заложена Венином Франклином. В России этими вопросами успешно занимался М. В. Ломоносов, который в ряде случаев совершиенно самостоятельношел к тем же выводам, что и Франклин. К концу 50-х годов XVIII в. электрическая машина (электрический генератор) прочно вошла в лабораторную практику экспериментов.

Ученый мир напряженно искал ответа на целый ряд вопросов, выдвинутых теоретической частью учения об электричестве. Со временем Дюфэ (30-е годы XVIII в.) наука уже знала о двух состояниях наэлектризованного тела. Как говорил Дюфэ, в природе существуют два рода электричества: стеклянное и смоляное. Выводы Дюфэ, сделанные им на основе экспериментальных данных и опубликованные в 1733 г., представляют истоки дуалистической теории электричества. Франклин, труды которого относятся к концу 40-х и началу 50-х годов XVIII в., высказал противоположную точку зрения, лежащую в основе унитарной теории. По мнению Франклина в природе существует только одно «электрическое начало». Наэлектризованные тела отличаются степенью их наэлектризованности: в одних телах — избыток электричества, в других — недостаток; одни заряжены положительно (+), другие же отрицательно (-).

Таким образом в 50-х годах XVIII в. уже существовали две основные теории электричества: унитарная и дуалистическая, которые с переменным успехом боролись на протяжении почти 2 веков.

Эпинус был последователем Франклина. Он придерживался унитарной теории и значительно ее разработал попутно с занятиями по основному вопросу, который его интересовал в продолжение многих лет,

известъ хочетъ, тотъ долженъ нарушить равновесие переменить въ теле натуральное количество жидкой материи. Сие можно сделать двоякимъ образомъ: и умножая ону въ теле, или уменьшая. Посему въ рода Електрической силы быть должно, кото-ре для разделения не худо названы быть могутъ положительной и отрицательной. Сии наименования якъ, знающий употребление словъ у математиковъ, хвалитъ. Словомъ, положительной Електрической силы пристойно будетъ означать ту, которая производится въ теле, когда количество материи сверхъ турального умножается, а отрицательной — когда уменьшения количества материи Електрическая ла происходит».

Придерживаясь изложенныхъ здесь взглядовъ, Эпинус сделалъ необычайно смелый для своего времени агъ темъ, что решился связать электрические и магнитные явления и утверждалъ, что причина этихъ явлений природы — одна и та же.

Сочинения Эпинуса доказываютъ, что именно онъ первый въ научной литературѣ серьезно разработалъ вопросъ о родствѣ электричества и магнетизма. Необходимо также подчеркнуть, что во времена Эпинуса вопросъ этотъ приобрелъ характеръ актуальной стественно-научной проблемы. Авторъ указываетъ, то «больше нежели за десять, какъ помнится, летъ бурдоская Академія наукъ предлагала съ награждениемъ задачу, есть ли какое сходство между Електрическою и магнитною силою и въ чемъ оно состоитъ».

Накопленные данные заставили физиковъ все болѣе задумываться надъ вопросомъ о связи между электрическими и магнитными явлениями. Эпинус подчеркиваетъ: «Многократно примечено, что молния, касающаяся до магнитной стрелки или до компаса, не только великую въ немъ перемену произвела, но временемъ и совсѣмъ перемещала полюсы магнитной стрелки». Иными словами, предметъ исследования Эпинуса «сходство Електрической силы съ магнитною» — представлялъ тогда насущную задачу науки.

Какъ известно, указанная проблема была окончательно разрешена болѣе чѣмъ черезъ полвека послѣ того, какъ Эпинус опубликовалъ свои труды, и случилось это тогда, когда появилось и развернулось въ антиозную область физики учение объ электрическомъ токѣ; тогда, когда удалось «превратить электричество въ магнетизмъ» и наоборотъ. Тогда-то и возкло учение объ электромагнетизме, началомъ кото-ро считаютъ тотъ знаменитый въ истории естествознания периодъ, когда осуществлялись труды Эрстеда, Араго, Ампера, Стерджена и Фарадея. Последний такъ и ставилъ передъ собой задачу: «превратить магнетизмъ въ электричество».

Но все это относится уже къ 20-мъ годамъ XIX в., въ первой же половинѣ XVIII в. въ науке безразумно господствовало мнѣніе Гильберта о томъ, что между электрическими и магнитными явлениями никакой связи, что это совершенно независимые отъ друга явления природы. Гильберт даже циально подчеркиваетъ различие между ними. Гильберт занимался изучениемъ электрическихъ явлений, исходя изъ вопросовъ магнетизма. Вспомнимъ, что трактатъ называется «О магните, магнитныхъ телахъ и самомъ большомъ магните «Земле» (1600).

Своевремя подходъ Гильберта имелъ свое благо-действие. Путемъ резкого разделения электрическихъ и магнитныхъ явлений исследователь при-ложилъ созданию особого учения объ электричествѣ.

Какъ известно, Гильбертъ первый ввелъ въ научный обиходъ новое понятіе «электрической силы», «электричества». Последователи Гильберта, разрабатывая открытую имъ область знаний, въ течение полутора вековъ оставались верными воззрѣніямъ основателя учения объ электричествѣ и изучали электрические явленія независимо отъ магнитныхъ. И только въ сре-динѣ XVIII в. подъ влияниемъ новыхъ открытий и наблюденій ученые, вначалѣ правда смутно, стали догадываться, что такой подходъ неоснователенъ. Эпинус пишетъ: «должно признаться, что те, которые по сие время о сходствѣ сихъ силъ (электрическихъ и магнитныхъ) рассуждали, больше догадывались, чѣжели оное совершенно познавали», и тутъ же замечаетъ: «однако же не подлежитъ порицать того, кто показываетъ, съ которой стороны ведущей къ понятію натуры путь искать должно, хотя оного точно показать не можетъ».

Продолжительное время Эпинус оставался въ положеніи такихъ исследователей. Предпринятые имъ изысканія очень долго не увенчивались эффективными результатами. Онъ пишетъ, что «искалъ истиннаго пути къ познанію сихъ таинствъ натуры, что наконецъ утруждившись принужденъ былъ отставать отъ дальнѣйшего исследования». Изъ этого затрудненія его вывело ознакомленіе со свойствами турмалина, которые онъ началъ внимательно изучать. Бросались въ глаза электрические свойства этого камня, особенно то, что одновременно на немъ обнаружились оба известные уже тогда заряда.

«Напоследокъ, — пишетъ онъ, — попался мнѣ некото-рый Електрическую силу имеющій камень, который сверхъ другихъ удивительныхъ свойствъ, потому мнѣ примечанія достоинъ показался, что действиями своимъ весьма сходствовалъ съ магнитомъ. При семъ случаѣ возобновлялись во мнѣ прежние мои рассуждѣнія; началъ я сравнивать обоихъ силъ явленія и, великий въ деле семъ получа светъ, уверенъ былъ, что уже не совсѣмъ безизвестно, какимъ образомъ действуетъ натура, когда магнитные явленія производитъ».

Наличие двухъ противоположныхъ зарядовъ въ одномъ и томъ же теле невольно наталкивало на мысль о «сходствѣ Електрической силы съ магнитною»: два различныхъ электрическихъ заряда соответствовали двумъ противоположнымъ магнитнымъ полюсамъ.

Эпинус заметилъ сходство еще въ следующемъ: «Всемъ известно, — пишетъ онъ, — что магнитъ удивительно щедростью особливо значенъ, и что магнитную силу железнымъ теламъ сообщаетъ безъ всякого ущерба силъ своихъ, ибо магнитъ, хотя безчисленному множеству железныхъ кусковъ свою сообщаетъ силу, однако-ж никогда не примечено, что онъ сколько-нибудь силы своей потерялъ». Точно такимъ же свойствомъ отличаются и наэлектризованные тела. Явление электрического влияния было известно задолго до Эпинуса и внимательно изучалось многими исследователями.

Изысканія Эпинуса не ограничивались однами наблюденіями. Онъ произвелъ большое количество опытовъ. Экспериментальные исследования привели его къ выводу, что «законы по которымъ Електрическое притяжение и отгонение производится, весьма сходствуютъ съ законами, въ магнитѣ видимыми; а однаковые причины разныхъ явлений производить не могутъ».

Эпинус приводитъ рядъ фактовъ, позволяющихъ говорить не только о «некоемъ союзе и исходствѣ магнитной силы», но и о сокровенномъ обеихъ силъ точномъ

подобии». Он указывает на опыт Франклина, которому удалось «произведенную в лейденском сосуде молнию продолжать по железным прутьям», и, который увидел, что они от того получают нарочито великую магнитную силу».

Твердо убежденный в единстве электрических и магнитных сил Эпинус перенес теорию Франклина о природе и причинах электрических явлений также и на магнитные. Таким образом в конце 50-х годов

XVIII в. был сделан серьезный шаг к тому, чтобы перекинуть мост между такими силами природы как электричество и магнетизм.

Естественно-научное значение такого открытия может быть оценено лишь при сравнении с практическими результатами, вызванными к жизни ученым об электромагнетизме. Это — современная электротехника, возникшая после того, как Фарадею удалось «превратить магнетизм в электричество».

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

### Применение символического метода комплексных чисел при изложении теории переменных токов

С. Н. ШИПКОВ

Куйбышевский индустриальный институт

О рациональности применения символического метода комплексных чисел с самого начала изложения теории переменных токов автор этой заметки высказывался еще в 1936 г. в своей работе «Принципы изложения электротехники»<sup>1</sup>.

В русских учебниках по теории переменных токов авторы (К. А. Круг, П. Л. Калантаров, И. Л. Каганов и др.) вводят в обиход символический метод лишь после некоторого предварительного ознакомления с этой теорией без помощи символического метода. Такой традиционный порядок изложения оказывает известное влияние на методику преподавания предмета во втузах.

Использование символического метода начинается в учебниках теории переменных токов обычно с некоторой специальной главы — «Символический метод». По расположению в учебниках и характеру материала этой главы все авторы оформляют ее примерно одинаково. После изложения некоторых сведений из теории комплексов показывается применение комплексов к ранее изложенной части теории переменных токов. Таким образом начальные сведения по теории переменных токов трактуются при помощи символического метода в порядке некоторого возврата к ним, а не в процессе систематического изложения. Затем, в той же главе показывается применение символического метода к теории и решению ряда задач (схемы Гуммеля и Бушера, мостики Шерингта и Уитстона, метод суперпозиции, метод Гельмгольца и Тевенена, четырехполюсник, взаимная индуктивность и др.). Этот иллюстративный материал неоднороден и труден сам по себе. Для целей ознакомления с символическим методом он менее пригоден, чем сравнительно легкая и однородная начальная часть теории переменных токов.

Символический метод имеет свои особые права в электротехнике. Будучи одной из удобных форм математического описания физических процессов и одновременно средством удобным, надежным и точным в инженерных расчетах, он должен выступать с этими своими преимуществами с самого начала изложения теории переменных токов.

Ознакомление с основными положениями переменных токов сопровождается широким применением уравнения электрического равновесия.

В дифференциально-интегральной форме это уравнение имеет вид:

$$u = iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt, \quad (1)$$

В символической (комплексной) форме:

$$\dot{U} = iR + j\omega Li - j \frac{1}{\omega C} i. \quad (2)$$

Уравнение (1) более сложно для понимания. Логически понятное сложение трех физических величин часто неправильно ассоциируется у начинающих с простым сложением величин, так как производная  $\frac{di}{dt}$  и интеграл  $\int idt$  лишь косвенно обрисовывают истинный характер сложения величин

с учетом их фазовых сдвигов. Уравнение же (2) явно говорит о сдвиге фаз при распределении общего напряжения!

Одно уравнение (1) недостаточно ни для педагога ни для автора учебника. При разборе основных вопросов требуются многословные трактовки и оговорки, графические иллюстрации, выполнение которых сложно и длительно (например, вычерчивание синусоидальных волн), а также пространные тригонометрические преобразования и записи. Например, вместо уравнения (1) приходится применять громоздкое тригонометрическое уравнение (3):

$$u = I_m R \sin \omega t + \omega L I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) + \frac{1}{\omega C} I_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (3)$$

Простые же записи, вытекающие из уравнения (2), невозможны по незнанию с ними.

Далее в самом начале курса теории переменных токов встает вся специфика задач переменного тока. Своевременное изложение символического метода предохранило бы начинающих от характерных среди них ошибок, например арифметического сложения импедансов  $Z_1, Z_2, Z_3$  [вместо  $Z = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots) + j(X_1 + X_2 + X_3 + \dots)$ ], простого распределения сетевого напряжения  $U$  по участкам цепи [вместо распределения по соотношению  $\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 \dots$ ] и т. д.

Наконец, улучшилась бы и структура курса, так как отпадала бы надобность в специальной главе «Символический метод», содержание которой целесообразнее распределить по другим главам, причем действительно необходимые сведения из теории комплексов будут уместно излагаться в начале курса.

Все отмеченное безусловно совершенствует методическую часть курса теории переменных токов, но наши учебники еще не следуют по этому пути. Между тем некоторые иностранные учебники уже давно применяют символический метод в самом начале курса теории переменных токов<sup>2</sup>.

Противники раннего применения символического метода опасаются, что эта «преждевременность» внесет путаницу в неустановившиеся знания начинающих. Это — не так. Конечно, уже и операции с векторными диаграммами, вводимыми с самого начала курса, представляют некоторое отвлечение, а именно, геометризацию физики процессов. Одновременное же применение с самого начала еще и символического метода, это дальнейшее отвлечение, так как вводится алгебраизация геометризированной физики. Здесь есть некоторый более далекий отход от физики изучаемых объектов явлений. Но при правильной методике обучения опасность здесь нет. Все согласны с тем, что геометризация, вносимая векторными диаграммами, быстро осваивается и успешно действует изучению физических процессов. Отсюда вполне последователь и уместен следующий естественный шаг вперед — сам собой напрашивающийся перевод геометризации на согласный с нею язык комплексных выражений.

Личным преподавательским опытом автор этой заметки удостоверился в том, что применение символического метода с самого начала изложения теории переменных токов не вызывает никаких осложнений, если оно правильно организовано.

Организационно-методические мероприятия не сложны сводятся к следующей последовательности: 1) контакт с кафедрой математики в отношении своевременного и возможного, приспособленного к электротехнике прохождения теории комплексов; 2) краткое напоминание сведений о теории комплексов в начале чтения теории переменных

<sup>1</sup> Работа представлялась в квалификационную комиссию НКТП при утверждении в звании доцента.

<sup>2</sup> Например, учебник M. Malti, Electric circuit analysis, изд. John Wiley & Sons, New-York, 1930.

марксистского философского материализма, развитые Лениным в его гениальной книге «Материализм и эмпириокритицизм»; во второй половине производится анализ некоторых главных представлений новейшей физики, в частности, критикуются идеалистические установки по вопросу об исчезновении материи, разбирается как не соответствующее материалистическому мировоззрению отрицание принципа причинности и закона сохранения энергии и разоблачается имеющая иногда место в теоретической физике подмена концепций материи концепциями пространства.

Рассмотрение статей сборника с несомненностью показывает, что акад. В. Ф. Миткевич является материалистом.

Однако, не вдаваясь здесь в разбор философских воззрений акад. В. Ф. Миткевича, сошлемся на большую статью на эту тему А. А. Максимова, написанную по выходе 2-го издания рассматриваемой книги и напечатанную в журнале «Под знаменем марксизма» за 1937 г., № 7, а также на ряд критических заметок, помещенных во втором номере того же журнала за 1938 г. в статье «К дискуссии по физике».

Во всех этих статьях, наряду с указанием на материалистические взгляды акад. В. Ф. Миткевича, на его стремление встать на позицию диалектического материализма, на основательное изучение им трудов основоположников марксизма-ленинизма, имеются указания на ошибочность и противоречивость отдельных развиваемых им положений. В частности, приводятся указания на ошибочность трактовки роли и влияния методов математического анализа на физическое мыш-

ление и, в связи с этим, вопроса о реальности математических представлений, на неправильное освещение вопроса случайности и необходимости, на несоответствие действительности общего вывода об отношении идеализма к современной физике и на ошибки в трактовке универсальной сущности — эфира.

Указания критики в той или другой мере были учтены акад. В. Ф. Миткевичем, и в настоящем третьем издании они нашли свое отражение в подстрочных примечаниях и новых, не вошедших во второе издание статьях.

Однако, независимо от того, что суждения по некоторым вопросам требуют еще дальнейшего уточнения и развития говоря о выступлениях и статьях акад. В. Ф. Миткевича, в обходимо сказать, что его борьба за материалистическое понимание физических явлений, «за искоренение идеалистических установок в области физического мышления», призвана к советским физикам «бороться в передовых рядах за диалектический материализм в науке и природе» и уверенность в том, «что современная волна идеализма в физической науке будет преодолена совместным усилием материалистически мыслящих представителей физики», являются фактами большой актуальности и требуют всемерной поддержки. В этом бесспорное положительное значение всех выступлений акад. В. Ф. Миткевича.

К. К. Попов  
Ленинград

## И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ. Молния. М.—Л. Академия наук СССР. 327 стр. 261 рис. 1940. 2000 экз. Цена 18 руб.<sup>1</sup>

За последнее десятилетие наука о молнии сделала огромные успехи, и хотя не все процессы, связанные с образованием и существованием этого явления, достаточно исследованы, однако, внешние характеристики и количественные параметры, его определяющие, выяснены в очень значительной степени. Можно смело сказать, что тайна, за которой скрывалась от человечества явление молнии, за последнее десятилетие разгадана, а тем самым нанесен смертельный удар и тому мистическому ужасу, который большинство людей испытывало (и, пожалуй, в некоторой мере еще испытывает) перед молнией.

В работе по изучению молний, давшей столь плодотворные результаты, активное и продуктивное участие принимал автор книги, что, естественно, накладывает на ее содержание определенный отпечаток.

Работая в области изучения молний более 10 лет, И. С. Стекольников собрал огромный экспериментально-теоретический и литературный материал и критически его переработал. Это позволило ему дать не простую сводку литературных данных (чем грешили некоторые из его более ранних работ), но систематическое изложение вопроса, освещенное с точки зрения выработанных автором оригинальных взглядов и обогащенное его собственным опытом. Он не только излагает взгляды различных ученых на затрагиваемые им вопросы, но в большинстве случаев сопровождает это изложение серьезной критикой и выдвигает ряд своих положений, стараясь всемерно их обосновать.

Ряд глав книги представляет несомненную ценность и большой интерес. Таковы гл. II «Аппаратура и методы измерения параметров молний», гл. IV «Результаты экспериментальных исследований молний», гл. VIII «Избирательная поражаемость земной поверхности молнией» и гл. X «Методы грозозащиты в прошлом и в свете современных представлений».

Материал, собранный в этих главах, в значительной степени представляет результаты работ и исследований автора и его сотрудников как в лабораторных условиях, так и в экспедициях, организованных Энергетическим институтом Академии наук СССР под руководством автора. Можно сказать, что в этих главах собран наиболее важный и ценный фактический материал, относящийся к вопросу об изучении молний. И хотя качество остальных глав уступает качеству вышеуказанных, все же следует признать книгу ценной и полезной.

К числу недостатков книги нужно отнести: не вполне систематичное, нередко небрежное изложение; недостаточность освещения некоторых вопросов, заслуживающих внимания; не-критическое изложение некоторых теорий, спорность отдель-

ных положений автора и, наконец, много мелких ошибок и опечаток.

Книга начинается с краткого введения, за которым следует глава I «Исторический обзор», занимающая 8 стр. Казалось бы, при наличии специальной главы, посвященной историческому обзору вопроса, не приходится ожидать добровольных исторических материалов в других главах. Однако это не так. Почти в каждой из последующих глав (исключая представляемые главы VI и VII) имеется свой исторический обзор. Стойкость изложения, безусловно, выигрывает, если бы был систематически проведен один из двух принципов: или сосредоточение всего исторического материала в одной главе, или же распределение его по всем главам с ликвидацией первой главы.

Остановимся на вопросах, недостаточно освещенных книге.

В главе III «Образование гроз» обойдена молчанием теория грозы R. Gunn. Между тем, эта теория является единственной, которая базируется не только на общих физических представлениях о вопросе, но и на некоторых количественных данных, дающих возможность хотя бы частично численной проверки теории, что придает ей особый интерес.

Говоря о механизме развития молний, автор не упоминает о теории канала молний, предложенной Ollendorf. Некоторые данные из работы Ollendorf автор приводит, но было бы полезно дать более полное и систематическое изложение этой теории.

Ценной стороной рассматриваемой книги в целом является большое количество приведенного в ней фактического материала. Но в § 1 гл. VIII автор изменяет себе и дал слишком мало описаний случаев избирательной поражаемости.

Вопрос об избирательной поражаемости деревьев автор касается лишь вскользь и для характеристики его приводит случайные цифры.

В главе IX очень поверхностно затронут вопрос о физическом действии токов молний.

В большинстве случаев автор очень внимательно относится к излагаемым им теориям и взглядам иностранных ученых, подвергает их заслуженной критике. В некоторых случаях, однако, эта критика не дана, хотя она и необходима. Так, например, на стр. 133—136 автор дает вывод уравнения Герца (кстати сказать, хорошо известный из учебников по теоретической электротехнике), которым пользовался в своих работах Нориндер (уравнение 11), но при этом автор не указывает, что пользование уравнением Герца в данном случае недопустимо, так как это уравнение есть уравнение для следовательно, оно имеет силу только при условии, когда двойная длина молнии значительно меньше расстояния молнии до рассматриваемой точки. В опытах Нориндера это условие обычно не выполнялось, а потому и выводы, ко-

<sup>1</sup> Рецензия представлена информационно-библиографическим сектором Гос. научной библиотеки.

делает Нориндер, пользуясь этим уравнением, неверны. И если бы и можно было с некоторым, хотя и было приближением воспользоваться этим уравнением, то только при условии, что разряд молнии происходит мгновенно. Но разряд молнии происходит с конечной скоростью, тем заметно меньшей, чем скорость света, что совершенно изменяет результаты, получаемые с помощью вышеуказанных уравнения Герца.

Задачу Нориндера следует решать, представляя молнию идея ряда последовательно включенных элементарных диполей и с учетом скорости распространения тока в канале. С помощью такого анализа автор мог бы убедиться о том, что указываемая им (стр. 146) наибольшая величина токи тока молнии, полученная в результате измерений с ками, несомненно, преуменьшена. Правда, автор тоже считает ее ненадежной, но по другим соображениям.

Таким же положением находятся приводимые автором (стр. 258) результаты выполненного Айгнером расчета наложения, индуцируемого электромагнитным полем тока молнии. Айгнер в своем расчете не учитывает конечной скорости распространения электромагнитного поля молнии и конечной скорости распространения тока в канале молнии. Поэтому полученные Айгнером величины индуцированных наложений сильно преувеличены.

В числе спорных положений, выдвигаемых автором, относящиеся к решению значениям лидерного процесса в вопросах грозозащиты (стр. 174). Правда, высказывания ора по вопросу о высоте ориентировки молнии в рассматриваемой книге осторожнее, чем в более ранних его работах, но, несомненно, что он считает эту высоту значительно ниже, чем высота облака. Это положение оченьочно и большое количество фотографий, сделанных на молниях автором и его сотрудниками (см., например, Труды И., вып. 36, 1940), свидетельствует скорее об обратном заявлении. Из этих фотографий следует, что подавляющее большинство разрядов направляется от модели облака прямо к молниеводам, в то время как только небольшое количество имеет первоначально вертикальное направление, с режимом его затем по направлению к молниеводам.

Из недостатков, общих всей книге, следует еще отметить странную смесь международных и русских обозначений единиц измерения. Так например, единицы длины и веса (см., кг) автор употребляет в русском написании, а электрические единицы ( $V$ ,  $N$ ,  $\Omega$ ) — в международном, причем только для кулонов сделано исключение — он пишется по-русски. Но и эта система строго не выдержана. В одном и том же обозначении применяются международные и русские символы. Такая путаница, конечно, недопустима, тем более, что ОСТ совершенно определено указывает на необходимость придерживаться международных обозначений.

Помимо указанных недостатков имеется значительное количество мелких замечаний по отдельным главам книги. В качестве примера приведем следующие.

Стр. 10. Ни Кулон, ни Лаплас, ни Гей-Люссак, ни Френель не могли делать докладов во Французской Академии в 1881 г., так как они все умерли значительно раньше этого года.

Стр. 72. В Советском Союзе принятая метрическая система единиц. Поэтому не следует пользоваться масштабными делениями, выраженными в дюймах (рис. 79).

Стр. 75. На рис. 83 неверны обозначения. Должно быть:  $a = 21,3$  (вместо  $a = 1,3$ ) и  $a = 22,5$  (вместо  $a = 2,5$ ).

Стр. 90. На рис. 100 не указаны переключатели  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ .

Стр. 240. Для обозначения одних и тех же величин применяются сначала буквы  $T$  и  $Q$ , потом  $\Delta T$  и  $\Delta Q$ , а затем снова появляется  $T$ .

К этим мелким замечаниям следует добавить более чем 30 опечаток, замеченных нами (сверху указанных в списке опечаток, приложенном к книге).

В заключение следует еще раз подтвердить ценность книги, которая лишь в некоторой мере снижается указанными мною дефектами.

А. М. Залесский  
Ленинградский индустриальный институт

## ОПФМЮЛЛЕР К. Введение в теоретическую электротехнику<sup>1</sup>. Kupfmüller, K. Einführung in die theoretische Elektrotechnik, 2 verb. u. erw. Aufl. J. Springer. 1939, 343 S., 358 Abb.

Рецензируемая книга, вышедшая вторым изданием, занимается многочисленных учебников по теоретической электротехнике на немецком языке особое место как по расположению материала, так и по методу изложения. Автор начинает изложение с цепей постоянного тока, а затем переходит к рассмотрению электрического поля и магнитного. Автор сначала останавливается на явлениях статического поля, а потом разбирает явления, имеющие место в магнитном изменении этих полей.

Следующая глава посвящена разветвленным цепям переменного тока, четырехполюсникам и цепным схемам. Там же излагается действие электронных ламп в качестве выпрямителей и усилителей. Далее дается теория длинных линий. Далее следуют глава отведена быстропеременным полям, а именно — уравнениям Максвелла в общем виде и электромагнитным волнам. В последней главе описаны нестационарные явления как в линейных системах, так и в системах переменными параметрами, зависящими от тока или напряжения.

Изложение материала отличается четкостью и ясностью. Большое внимание уделяется физической стороне явлений. Автор широко использует графоаналитический и, в частно-

сти, векторный метод изложения, однако, математические выводы играют лишь вспомогательную роль, благодаря чему книга читается необычайно легко. Все количественные соотношения основаны на практической системе электрических единиц с проведением разницы между понятиями магнитной индукции и напряженности магнитного поля не только в намагничиваемой среде, но и в вакууме, и аналогично с этим — между понятиями электрического смещения и напряженности электрического поля. Благодаря применению рационализированной практической системы электрических единиц, уравнения, относящиеся к объемным токам, электрическому и магнитному полю, приобретают одинородный вид и поэтому легко запоминаются. В конце отдельных параграфов приведены задачи с решениями, которые дают представление о порядке значений отдельных величин, с которыми приходится иметь дело на практике.

По общему направлению своего содержания книга скорее предназначена для лиц, изучающих технику проволочной связи; тем не менее она может служить весьма полезным пособием и при изучении техники сильных токов.

Было бы весьма целесообразно и полезно перевести эту книгу на русский язык.

К. А. Круг  
Академия наук СССР

<sup>1</sup> Рецензия представлена информационно-библиографическим сектором Гос. научной библиотеки.

Суммарная емкость водохранилищ (по энергии) в ближайшие годы достигнет 20% общей годовой выработки электроэнергии на всех гидростанциях.

В текущем году потребление энергии составит 10 000 mill. Wh (вдвое больше чем в 1933 г.), из которых на долю агрегатов станций приходится около 10%.

Широкие возможности регулирования на шведских гидростанциях позволяют им работать также и в качестве пиковых.

М. С. Добрин

### G. Barby. Новый мощный гидрогенератор гэс Харьялта. *VDI. Ztschr.* № 25, 1940.

Для гидростанции Харьялта, сооруженной на р. Кумо, состроены вертикальные генераторы зонтичного типа мощностью 42 MVA, 10,5 kV, 150 об/мин. Гэс Харьялта предназначена снабжать электроэнергией районы Западной Индии по линиям передачи, работающим при напряжении 70 и 120 kV. Генераторы могут развивать 20 MVA реактивной мощности при 10 kV и  $\cos\phi = 0$ . Гидрогенераторы работают в действие турбинами Каплана.

Статор сварной конструкции выполнен разъемным из трех частей и несет двухстержневую обмотку новой конструкции. Для приведения в действие маятника регулятора впервые применен особый электрический генератор с постоянными агитаторами, практически себя хорошо оправдавший.

Веса главных деталей гидрогенератора следующие: главного вала — 40 t; собранного ротора — 200 t; статора — 100 t; нижней поддерживающей крестовины — 35 t; всей машины — около 400 t.

Н. А. Карапулов

### H. Howald. Использование р. Теннесси. *Bull. ASE* № 12, 1940.

Администрация по использованию р. Теннесси (TVA), состоящая в непосредственном ведении правительства США, ведет обширные работы в области гидроэнергетики, водного транспорта, защиты от наводнений, мелиораций почв и т. д.

Гидроэлектростанции TVA по мысли авторов проекта должны служить своеобразным масштабом «Yardsticks» для выявления действительных показателей энергетической эффективности гэс.

Бассейн р. Теннесси достигает 108 тыс. км<sup>2</sup>, из которых около 40% покрыты лесами. Средний расход воды реки близ ее устья составляет 1450 м<sup>3</sup>/sec. Население составляет 2,25 млн. человек, причем только два города имеют население более 100 тыс. человек каждый. Промышленность развита слабо. По проекту, при полном развитии схемы, в бассейне р. Теннесси должно быть возведено всего 11 узлов сооружений.

Суммарная располагаемая мощность гэс TVA первой очереди составляет 700 MW, а при полном развитии — 1500 MW с выработкой энергии около 3600 MWh. Сооружение гидроэлектростанций осуществлено на новейшем техническом уровне. Так гэс Норрис, оборудованная двумя вертикальными агрегатами по 56 MVA при 125 об/мин, интересна как современная американская гэс, типичная для диапазона напоров 50—150 m. В соответствии с принятой системой регулирования, длительное время может работать только один из агрегатов. Поэтому каждый из них, во избежание больших железных потерь в трансформаторах и вследствие повышенной грозоопасности района, располагает отдельной группой трансформаторов. Выключатели имеются только на стороне повышенного напряжения — 154 kV: две группы трансформаторных масляных выключателей и одна группа линейных выключателей, установленных на отдельной открытой подстанции. Низконапорная гэс Уилер характерна открытым расположением агрегатов, обслуживаемых порталным краем.

Н. А. Карапулов

### 12 лет эксплуатации машин с водородным охлаждением. *Power* № 3, 1940.

Семь синхронных фазокомпенсаторов общей мощностью 161 000 kVA с водородным охлаждением проработали 12 лет 90% общего фонда времени. Время на простон и ремонт составило 4%, в том числе из неполадки, связанные с системой водородного охлаждения, — 1,2%.

Два турбогенератора — один 50 000 kVA и другой 66 667 kVA — с водородным охлаждением работают уже более 2 лет и до сих пор не ставились на ревизию.

Стоимость потребляемого водорода составляет не более 5% от экономии, получаемой за счет уменьшения вентиляционных потерь.

Система водородного охлаждения не вносит никаких сколько-нибудь заметных осложнений в обслуживание и обеспечение безопасности. В пяти случаях она применялась к машинам, установленным на открытом воздухе и бесперебойно работающим в среднем уже по 9 лет каждая в самых различных условиях погоды. Мощность синхронных фазокомпенсаторов при водородном охлаждении повышается на 25% по сравнению с мощностью при воздушном охлаждении. Применение водорода при повышенном давлении (до 1,2 kg/cm<sup>2</sup>) дает дальнейшее увеличение мощности на 20%. Кроме того, повышаются пиковые мощности, так как водород обладает свойством быстро отводить тепло от отдельных мест сильного перегрева обмоток.

Срок службы изоляции обмоток в водороде значительно повышается, так как они не подвергаются действию окисления и короны, имеющих место в воздушной среде. Все добавочные расходы на взрывобезопасное исполнение и водородную установку с избытком перекрываются за счет уменьшения габаритов (при той же мощности) и экономии на потерях.

Генеральная ревизия машин с водородным охлаждением требуется один раз в пять лет.

М. С. Добрин

### W. F. Skeats и W. Saylor. Выключатель большой мощности с водяным дутьем для центральных станций<sup>1</sup>. *El. Eng.* № 2, 1940.

Новый тип выключателя создан на базе старого шестцилиндрового выключателя GEC, типа H, путем внесения некоторых изменений для применения в нем воды вместо масла. Все размеры, общая конфигурация, цилиндры и механизм выключателя остались прежними. В выключателе добавлено чрезвычайно интересное приспособление для улучшения гашения путем удлинения дуги при малых токах и укорочения ее при больших. Приспособление состоит из пакета железных пластин, закрытого со всех сторон изолирующим материалом и представляющего собою перегородку, вставленную между неподвижным искровым контактом и камерой дутья.

Форма сердечника такова, что закрытый конец его имеет сравнительно малое магнитное сопротивление при малых токах.

Магнитное сопротивление открытого конца благодаря большому воздушному промежутку почти не зависит от силы тока в дуге. Благодаря такому устройству сердечника, дуга при малом токе устремляется к его закрытому концу, удлиняясь при этом вследствие соответствующей конфигурации неподвижного искрогасительного контакта, при больших же токах дуга быстро перемещается к открытому концу сердечника, переходит на металлическую планку и становится от этого весьма короткой.

Другой особенностью этого выключателя, отличающего его от масляного выключателя типа H, является то, что ци-

Таблица

Максимальный уровень воды		Минимальный уровень воды	
сила тока в А	длительность дуги в периодах	сила тока в А	длительность дуги в периодах
1 200	2,1	1 200	1,5
4 300	1,5	4 000	1,3
9 900	1,6	10 000	1,1
14 300	1,8	20 000	1,2
19 600	1,3	21 000	1,0
26 000	1,3	24 000	1,0

<sup>1</sup> В течение последнего времени в американской печати появилось много статей, заметок и объявлений различных фирм о выпущенных ими выключателях без масла. Из этого материала видно, что вопрос о замене масла в выключателях другой, безопасной гасящей средой является в настоящее время и в Америке достаточно злободневным. GEC выпустила уже 3 различных типа выключателей без масла — выключатель с сжатым воздухом, выключатель с магнитным дутьем и водяной выключатель. Вестингауз имеет, кроме своего старого дискового выключателя, также выключатель с сжатым воздухом. Выключатели с сжатым воздухом строятся также фирмой Allis-Chalmers. При м. реф.

линдры не имеют никаких отверстий и труб для выпуска паров и газов, так как процесс разложения и испарения воды под действием дуги является обратимым процессом, и пары и газы, образовавшиеся при отключении, снова превращаются в воду.

Весьма интересны в новом выключателе главные контакты линейного типа, рассчитанные на 600 и на 1200 А.

Все части, находящиеся внутри цилиндров, изготовлены из материалов, не изменяющихся под действием воды. В таблице указана продолжительность дуги при различных токах и при различных уровнях воды.

Водяные выключатели на 500 MVA уже больше года находятся в эксплуатации. Пробные экземпляры выключателей на 1000 и 1500 MVA дали при испытании удовлетворительные результаты.

Л. Б. Броуде

E. W. Bochne, L. J. Linde. Воздушный выключатель с магнитным дутьем для 5000 V. El. Eng. № 4, 1940 и GER № 9, 1939.

Для магнитного дутья в новом безмасляном выключателе применены 3 катушки, автоматически включающиеся по мере перемещения дуги по искровым контактам. Дуга выдувается в камеру из огнестойкого изоляционного материала, где она удлиняется, проходя по зигзагообразному просвету между выступами обеих половин камеры. При этом дуга сильно охлаждается от соприкосновения со стенками камеры и настолько денонизируется, что гаснет при прохождении тока через нуль. Выключатель может быть применен в цепях с любой скоростью и высотой восстанавливющегося напряжения, так как вследствие сильного охлаждения и удлинения дуги ее сопротивление значительно увеличивается, причем уменьшаются как сила тока, так и сдвиг фаз. Износ частей выключателя настолько незначителен, что выключатель может быть применен для частого отключения.

Разрывная мощность выключателя равна 100 MVA.

Л. Б. Броуде

Новые выключатели Вестингауза. El. Eng. № 1, 1940; El. Eng. № 8, 1939; El. Eng. № 4, 1940.

Диэлектрический выключатель Вестингауза является первым мощным сухим выключателем, однако, несмотря на это, он не получил до настоящего времени широкого распространения, так как не может быть изготовлен для напряжений выше 15 000 V и не может достичь американского предела мощности 1500 MVA: уже при половине этой мощности гасительное устройство получается очень дорогим и тяжелым.

Другим интересным типом выключателей Вестингауза является выключатель с сжатым воздухом. В марте текущего года в присутствии более 200 представителей потребителей и промышленности проходила демонстрация нового выключателя Вестингауза, работающего сжатым воздухом. Были произведены отключения, начиная от номинального тока в 2000 A до полной разрывной мощности в 1500 MVA при 13 200 V. Во всех случаях дуга разрывалась при первом же переходе тока через нуль. Восстанавливющееся напряжение не превосходило двойного номинального. В выключателе применено толперечное дутье, причем дуга выдувается в гасительную камеру с рядом изолирующих пластин.

Л. Б. Броуде

W. W. Lewis и C. M. Foust. Исследование молний на линиях электропередачи. El. Eng. № 4, 1940.

С помощью магниторегистраторов авторы исследовали токораспределение в опорах, заземленных тросах, проводниках и противовесах и определяли величины токов прямого удара молний.

На рис. 1 изображена кривая токов, протекающих в опорах и в канале молнии. Кривая построена по 734 разрядам, поразившим в течение четырех лет линии электропередач 66—230 kV. Токи в опорах находились сложением токов, протекавших в четырех ногах, без учета токов в перемычках и связях опор. Ток в канале молнии определялся простым суммированием токов в опорах. Поместив регистраторы на связях и перемычках опор, авторы обнаружили, что через эти элементы может протекать от 30 до 100% тока, идущего по ногам опоры, в зависимости от того, как был распо-

ложен противовес, присоединенный к основанию опоры. Чтобы проверить справедливость определения тока разряда суммированием, были установлены магниторегистраторы на молниеприемниках опор и тросах.

Меньший процент больших токов в молниеотводах и тросах авторы объясняют тем, что часть токов оказалась выше предельного тока регистрации, а данные, отнесенные к одному удару в действительности, могли относиться к разным разрядам. Из 736 ударов в линию 685, или 93%, были отрицательной полярности, а остальные положительной. При этом часть ударов ниже 5000 A магниторегистраторами не всегда улавливалась.

Среднее значение тока, приводимое авторами, — 150 000 A. Сравнение токов (разных полярностей), притекающих по

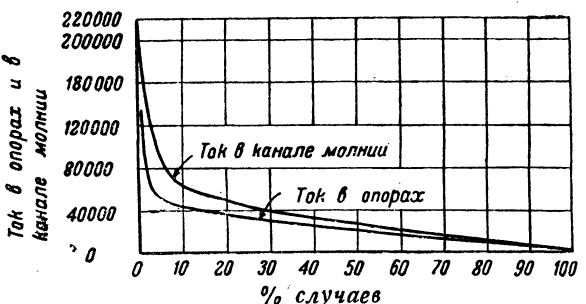


Рис. 1

молниеотводу или тросу и оттекающим от вершины опор показывает, что эти токи примерно одинаковы в 25% случаев (из 72 записей); притекающие токи превышают оттекающие в 50% случаев и оттекающие токи превышают притекающие в 25% всех случаев.

Анализируя полученные записи, авторы предполагают, что подобного рода расхождение данных может быть вызван 1) перекрытиями при близких ударах, 2) протеканием высоких токов в тех частях сооружений, где магниторегистраторы установлены не были, 3) недостаточно точной расшивкой записей колебательных волн тока, 4) неодновременностью протекания максимальных токов в различных частях сооружений.

Регистраторы, установленные по обоим концам троса, дают записи, согласующиеся в 70% всех случаев, с точностью  $\pm 10\%$ .

В оставшихся 30% были отклонения в ту или другую сторону. Закладывая в песчаную почву непрерывные (параллельные) и радиальные противовесы и комбинируя их соединения с опорами, а также, найдя прилом магниторегистраторов токораспределение в заземляющих устройствах (вместе с основаниями опор), авторы оценивали эффективно сопротивление противовеса. Подобного рода оценку легкоСоюзне произвести, зная, по измерению, сопротивление заземления основания опоры.

Каждое сопротивление одного непрерывного противовеса, в одном случае, авторами оценивается в  $50 \Omega$ , при сопротивлении заземления основания масти в  $69 \Omega$ .

Система четырех радиальных противовесов, по 15 m длиной, имеет кажущееся сопротивление  $47 \Omega$ . Система радиальных противовесов, состоящая из трех противовесов по 15 m и одного противовеса 75 m, обладала сопротивлением в  $39 \Omega$ , тогда как основание опоры имело  $91 \Omega$ . Через длинный противовес протекало  $68\%$  тока, идущего через всю систему противовесов, или  $72\%$  тока, идущего по ноге, к которой присоединялся длинный противовес.

Авторами подробно описывается токораспределение между различными комбинациями противовесов и основаниями опор.

Авторы приходят к выводу, что в случае поверхности толстого песчаного слоя, под которым лежит суглинок, эффективнее оказываются глубоко забываемые заземляющие стержни.

Эффективность непрерывных и радиальных противовесов в этих экспериментах оказалась одинаковой.

В. С. Комелько

Нормы для высоковольтных аппаратов переменного тока. VDE 0570. ETZ № 8, 1940.

Содержание публикуемых правил представляет проект изменений норм, действующих с 1 июля 1937 г.

Номинальные нормируемые напряжения — 1, 3, 6, 10, 20, 30, 45, 60, 110, 150, 220, 400 kV.

Максимальное рабочее напряжение в месте установки аппарата может превосходить номинальное напряжение не больше чем на 15%.

В местностях, где существует опасность загрязнения изоляции, изоляцию аппаратов наружной установки целесообразно выполнить со специальной формой юбок. Вместо этого можно установки выполнять внутренними, с принятием специальных мер против проникновения грязи, посредством оздания небольшого повышения давления.

Нормированные номинальные токи — 200, 400, 600, 1000, 2000, 4000, 6000 А. Наибольший рабочий ток не должен превышать номинальный дольше чем в течение 15 мин.

Для предохранителей нормируются номинальные токи 2, 4, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600 А. Каждый выключатель и разъединитель мощности должен выключать номинальный выключающий ток и любой меньший при  $\cos \varphi \leq 0,15$  при номинальном восстановившемся напряжении.

Нормируются следующие разрывные мощности 5, 15, 100, 200, 400, 600, 1000, 1500, 2500 MVA (5 и 15 — только для разъединителей мощности).

В проекте приведены нормированные электрические расстояния.

Испытательные и разрядные напряжения при 50 Hz приведены в таблице, причем графы 2 и 3 относятся к изоляции на корпус и между фазами.

Для аппаратов наружной установки напряжения испытательное и разрядное относятся к испытанию под дождем. У аппаратов, снабженных защитными промежутками, последние на время испытания снимаются.

Таблица

Класс напряжения kV	Испытательное	Разрядное	Испытательное	Разрядное
	напряжение всех аппаратов, kV <sub>eff</sub>	напряжения для отключающих промежутков разъединителей, разъединителей мощности и предохранителей		
1	10	11	15	17
3	27	30	30	33
6	33	36	40	44
10	42	46	53	58
20	64	70	86	95
30	76	95	119	131
(45)	119	131	169	186
60	152	167	218	240
110	262	288	383	421
150	350	385	515	567
220	504	555	746	821
400	900	990	—	—

До испытания при 50 Hz определяется импульсное разрядное напряжение по 50% методу (30 VDE 0450, XI, 1939) при обеих полярностях волны 1/50  $\mu$  sec в следующих положениях:

а) Для коммутационных аппаратов — во включенном положении относительно земли и между фазами, причем в одном случае заземляются крайние фазы, в другом — средняя; в отключенном положении между разомкнутыми концами одного и того же полюса.

б) Для опорных и проходных аппаратов при заземленном фланце. На аппаратах, снабженных искровыми промежутками, последние во время испытания снимаются.

Приводимый выше проект интересно сравнить с проектом ОСТ на разрядные и испытательные напряжения, 5-я редакция которого опубликована в журнале «Электричество» № 3, 1940 г.

При сравнении можно отметить следующие главнейшие особенности:

1. В Германии не нормируют сухое разрядное напряжение при 50 Hz, а довольствуются нормированием мокрого; по нашему мнению это мероприятие правильное.

2. В Германии разрядное напряжение между разомкнутыми контактами одного и того же полюса выключателя — такое же, как и для изоляции на корпус.

По нашему мнению рационально в окончательной редакции этого ОСТ нормировать одинаковые разрядные напряжения на корпус и между разомкнутыми полюсами. Это мероприятие даст большой экономический эффект для современных типов выключателей.

3. Расстояния между фазами для аппаратов, снабженных защитными промежутками, в Германии допускаются пони-

женными до величины защитного промежутка. Это также рационально, особенно если учесть, что вследствие электромагнитной связи при волне на одном проводе в соседнем индуктируется напряжение того же знака, равное около 20% от амплитуды основной волны, что соответственно на 20% уменьшает разность напряжения между фазами.

4. Величины импульсных разрядных напряжений для напряжений 20—110 kV значительно ниже, чем на 5-й редакции нашего ОСТ, а для напряжений 3—10, 150—220 kV примерно равны значениям 5-й редакции, причем в Германии нормируется лишь 50% разрядное напряжение.

Следует отметить также, что 50% разрядное напряжение несколько выше минимального по катодному осциллографу по 5-й редакции.

5. Величины мокроразрядных напряжений в Германии выше, чем по 5-й редакции ОСТ, правда, при нескольких иных условиях испытания.

Е. В. Калинин

### C. Flursheim. Новый масляный выключатель для сельского хозяйства. M.—V. Gaz. № 12, 1939.

Рассматривая требования к электрическим характеристикам сельскохозяйственных выключателей, автор приходит к выводу, что существующие нормы уровня изоляции (27 и 75 kV в течение одной минуты для 11 и 33 kV) недостаточны.

Большое внимание должно быть также уделено механической прочности конструкции выключателя, обычно помещаемого на опоре воздушной линии, что затрудняет надзор за ним. Выключатель следует монтировать на раме, не связанной с корпусом, и предусмотреть, чтобы толчки при повторных выключениях не отражались на выдергивании времени. Уменьшение числа ампервитков выключающей катушки следует достигать не за счет облегчения передвижения защелки, а за счет улучшения магнитной цепи катушки. Съем бака, осмотр и замена контактов должны быть максимально облегчены. Для серьезного ремонта необходимо обеспечить возможность замены всего выключающего устройства запасным.

Вновь выпущенный масляный выключатель для сельского хозяйства типа G. R. C. в основном удовлетворяет приведенным выше требованиям. Рама аппарата из листовой стали соединяется со съемной крышкой, к которой на двух болтах прикрепляется бак выключателя (рис. 1). Рама аппарата имеет сверху наклонные плоскости с укрепленными на

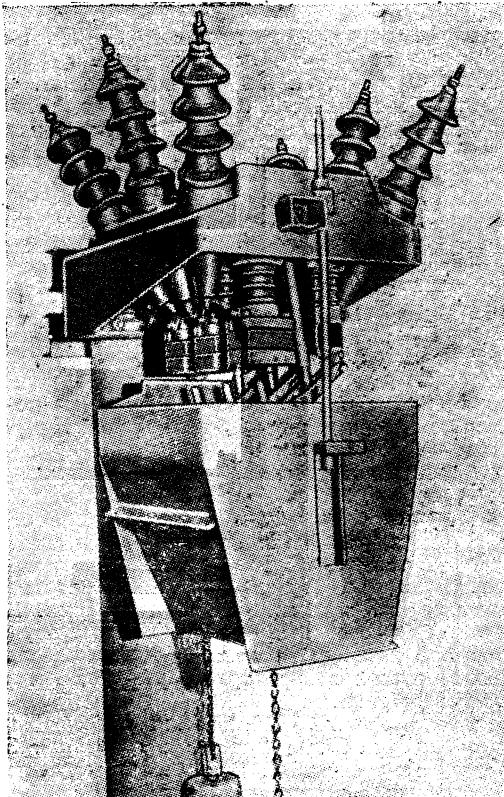


Рис. 1. Масляный выключатель для сельского хозяйства (с опущенным баком)

каждой из них тремя фарфоровыми бушингами либо кабельными муфтами. К основной раме прикреплена вспомогательная. На этой раме устанавливается весь механизм выключателя. Таким образом повреждения кожуха не передаются механизму. На вспомогательной раме установлены шесть фарфоровых опорных изоляторов. На трех из них помещены камеры, в которых происходит разрыв дуги, а на трех — расцепляющие катушки и шариры контактов.

При испытаниях выключатель осуществлял выключение на 11 kV при токе от 10 до 100% от номинального разрываемого в течение трех периодов: из этого времени половина составляет время горения дуги. При меньших токах время выключения удлиняется, что дает возможность запускать электродвигатели. Так например, при нагрузке в 130% от номинальной время выключения составляет 5 сек.

Выключатель выдерживает в течение минуты 50 kV. Импульсная прочность 140 kV при  $1/50$  положительной волны. Перекрытие происходит во внешних частях. Это весьма высокая величина для выключателя с малым объемом масла, составляющим 43,5 l.

Выключатель имеет ручное управление и автомат для повторного включения.

И. А. Будзко

### Шум трансформаторов. *The Electrician*, № 3227, 1940, *El. Review* № 3254, 1940, *The Electrician* № 3217, 1940.

В последнее время в английской периодической литературе уделяется значительное внимание проблеме уменьшения шума трансформаторов. Указывается на то, что проблема шума трансформаторов и его ограничения приобретает существенное значение в связи с развитием строительства открытых подстанций в населенных местах наряду с увеличением мощности трансформаторов.

Изучение шума началось еще в 1934 г. в Университетской лаборатории при поддержке Электрической исследовательской ассоциации (E. R. A.), а также проводилось отдельными фирмами.

Рядом исследователей установлено, что основной причиной возникновения шума является не вибрация от действия магнитных сил, как думали раньше, а магнетострикция. Шум исходит от вибрации, порожденной изменением длины и площади листов магнитопровода, возникающим при намагничивании. Поэтому наиболее эффективным средством уменьшения шума трансформаторов является создание стали с уменьшенной магнетострикцией. В этом направлении пока успехов не достигнуто. Исследования показали, что усиление прессовки магнитопровода не дает также заметного снижения шума.

В конце марта текущего года инженерами фирмы МетроВиккерс B. G. Churcher, A. I. King был представлен Институту инженеров электриков обширный доклад, содержащий исследования шума трансформаторов и результаты опытов по его снижению. Исследования установлено, что при практически синусоидальном токе вибрация магнитопровода происходит с двойной частотой по отношению к рабочей.

Установлена необходимость тщательного выполнения стыков магнитопроводов и равномерного распределения прессующих усилий достаточно жесткими плитами.

Для выяснения влияния стыков на шум трансформатора доктором Billig были проведены испытания трансформатора с кольцевым сердечником до полного его насыщения. При этом был слышен слабый шум. Это доказывает большое влияние стыков.

Обмотки и отводы не дают сколько-либо заметного шума.

Авторы исследовали более радикальные внутренние и внешние способы уменьшения шума.

Наиболее простым средством является уменьшение насыщения стали, однако, это непринимлемо по экономическим соображениям. Может быть получен эффект также от устройства между выемной частью и баком барьера, задерживающих прохождение звуковых волн. Наиболее целесообразно применение эластичных барьеров. Выемная часть должна быть установлена на неметаллических подставках. Недостатком применения барьеров является необходимость увеличения размеров бака. В качестве внешнего способа было исследовано применение стенок вокруг трансформатора, которое дает положительные результаты.

Над трансформаторами 75 000 kVA на подстанции Fulham были сооружены юррические будки без отверстий. Эта мера оказалась весьма эффективной. Все же авторы считают, что, если по общетехническим причинам нет необходимости в постройке здания, для ограничения шума целесообразнее применять барьеры и увеличение размеров бака. При постройке вокруг трансформаторов стенок охлаждающие элементы должны быть вынесены за стены.

В дискуссии по докладу приведены мероприятия по уменьшению шума трансформаторов, проводившиеся Центральным Электротехническим Советом (Central Electricity Board) и другими организациями: была применена обшивка бака стеклянной ватой, антивибрационные фундаменты и увеличение жесткости баков; первые два мероприятия были эффективными, последнее оказалось бесполезным.

В закрытых помещениях должно обращаться внимание на получение достаточной плотности и хорошей пригонки окон и дверей, так как при отсутствии этого теряется звукозащита.

Одно из выступлений в дискуссии по докладу Н. М. Ласпине называет пути получения стали с малой магнетострикцией. Указывается, что сплав железа и никеля с содержанием никеля в 81% не имеет магнетострикции. Железо, содержащее 4,45% кремния, имеет положительную магнетострикцию, тогда как при содержании кремния в 8% железо имеет отрицательную магнетострикцию. Повидимому, представляется возможным получить наиболее желательную характеристику для кремнистого железа. Отмечается также, что материал, имеющий магнетострикцию, имеет минимальные потери.

В заключение авторы указывают, что абсолютная величина магнетострикции не является единственным фактором в создании шума. Возможно, что имеются другие факторы, например, неравнство величины магнетострикции у отдельных листов, вызванное изменением проницаемости стали неравномерного нагрева листов.

Авторы отмечают, что в отношении трансформаторов мощностью меньше 1000 kVA не наблюдается жалоб на повышенный шум.

А. В. Корицкий

### О. К. Marti, Т. А. Taylor. Форма кривой тока и напряжения 30- и 60-фазных выпрямительных групп. *El. Eng.* стр., 218—226, № 4, 1940.

Как известно, работа выпрямителей вызывает искажение формы кривой тока и напряжения питающей их сети. Степень этого искажения является функцией мощности выпрямителей числа фаз их, импеданса, для гармонических частот питающей сети и нагрузки выпрямителя. Так как большинство выпрямительных трансформаторов имеют шестифазное соединение, при котором фазовые напряжения сдвигнуты на  $60^\circ$  по отношению друг к другу, то можно считать, что вторичной стороне трансформатора напряжение содержит 5- и 7-ю гармонические. Для увеличения числа фаз необходимо так изменить трансформаторные соединения, чтобы сдвиг фаз между напряжениями составлял менее  $60^\circ$ . Поменяв соединения элегазом, параллельной работы скольких шестифазных выпрямителей с соответствующим сдвигом фазовых напряжений и т. п., число фаз может быть увеличено, равно как и наиболее низкой порядок гармонической в питающей сети (см. таблицу), что уменьшает влияние их на искажение кривых.

Эквивалентное число фаз выпрям.	Угол сдвига между напряжениями, приложенными последовательно к горящим анодам	Низший порядок гармоник в сети переменного тока	Эквивалентное число фаз выпрям.	Угол сдвига между напряжениями, приложенными последовательно к горящим анодам	Низший порядок гармоник в сети переменного тока
6	60	5,7	30	12	29,31
12	30	11,13	36	10	35,37
18	20	17,19	48	7,5	47,49
24	15	23,25	60	6	59,61

Недавно американская алюминиевая компания установила для целей электролиза ряд выпрямителей общей мощностью 82 500 kW на заводах в Alcoa и Massena. Выпрямители Alcoa были установлены на двух станциях мощностью 27 500 kW. Каждая станция включает пять выпрямительных трансформаторов, имеющих каждый две двойных шестифазных обмотки для питания двух 12-анодных выпрямителей.

На всех трех станциях по четыре агрегата подсоединенны к шинам через фазорегулятор и один через реактор. Фазорегуляторы создают сдвиги на  $+12^\circ$  и  $-12^\circ$  для трансформаторов с первичным треугольником и на  $+6^\circ$  и  $-6^\circ$  для трансформаторов с первичной звездой. В результате напряжения приложенные к соответствующим анодам 5 агрегатов, от

ются сдвинутыми на  $12^\circ$ , что эквивалентно 30-фазной работе выпрямителя. Трехфазный же реактор включается агрегат, не получающий сдвига, во избежание появления возможных источников гармонических от небаланса, связанного со сдвигом напряжения, равным не точно  $30^\circ$ . поскольку на второй станции в Alcoa сдвиг на  $\pm 12^\circ$  создан для трансформаторов с первичным треугольником,  $\pm 6^\circ$  — для первичной звезды, сдвиг анодных напряжений орой станции по отношению к первой составляет  $6^\circ$ , что и параллельной работе станций эквивалентно 60-фазной работе.

Опыты, проведенные на модели 30-фазного выпрямителя, показали, что подобное соединение позволяет устранить в тающей сети все гармоники ниже 29-й.

Описываемый метод уменьшения искажений является более простым и экономичным, чем установка сглаживающих устройств из реактора и емкостей. Применение фазорегулятора позволяет легко получать 24, 36, 48 и т. п. фазные структуры.

В конце статьи приводится дискуссия, в которой принимают участие видные специалисты по ртутным выпрямителям.

М. Д. Трейвас

#### J.C. Read. Выпрямительное оборудование для рекуперативной работы. *El. Ry Traction*, стр. 40—52, № 86, 1940.

Необходимость увеличения пропускной способности некоторых горных участков Южно-Африканских железных дорог привела к их электрификации, которая была выполнена с системой постоянного тока 3000 В, получаемого от мотор-генераторных подстанций, допускающих рекуперацию энергии. При дальнейшем расширении электрификации были остроны подстанции с управляемыми выпрямителями, позволяющими при работе их инверторами возвращать энергию постоянного тока в систему переменного тока.

Для целей выпрямительно-инверторной работы применяется три схемы: 1) две отдельные трансформаторные обмотки с двумя отдельными преобразователями, работающие постоянно параллельно, — один как выпрямитель, а другой как инвертор; 2) один преобразователь (с трансформатором), нормально работающий выпрямителем с переключателями, реверсирующими во время рекуперации направление тока, и 3) нормально работающий параллельно с инвертором выпрямитель.

Значительный интерес представляет комбинированная схема. В ней каждый выпрямитель посредством переключателей может быть переведен на работу инвертором. Оба преобразователя оборудованы сеточной аппаратурой, обеспечивающей компаундную характеристику, при которой выпрямленное напряжение 3000 В колеблется в пределах  $\pm 25\%$ . Из описываемых подстанций две, не имеющие инверторных установок, полностью автоматизированы, другие же, включая, имеют по две выпрямительно-инверторных установки, но так как инверторные нагрузки их малы, то из двух инверторов работает лишь один; другой же остается отключенным. Предварительные опыты, проведенные на одной из подстанций, при которых управляемые выпрямители работали совместно с мотор-генераторами, показали, что выпрямители выдерживают гарантированные перегрузки с успехом выносят быстрые колебания нагрузок от 400 kW при работе выпрямителем до 2000 kW при работе инвертором. Общий измеренный при опытах к. п. д. составил 96% при полной нагрузке выпрямителя и 94% при тех же условиях работы инвертора. Коэффициент мощности в первом случае превосходит 0,91, в то время как во втором он был равен 0,58.

Частые грозы с молниями, наблюдавшиеся в районах электрифицированных железных дорог, часто повышают напряжение на анодах до 20—30 kV и служат причиной выключения преобразователей, причем последние более чувствительны к перенапряжениям при работе их выпрямителями, и инверторами.

В заключение автор приводит эксплуатационные данные по пяти подстанциям вновь электрифицированного участка в 1939 г.

М. Д. Трейвас

#### F. Prantl. Электровозы 1-D-1 норвежских железных дорог. *BBC-Mitt.* № 9, 1940.

На электрифицированном участке Trondheim — Göteborg находятся в эксплуатации 8 электровозов Norsk Elektro Brown Boveri. Общий вес каждого электровоза не превышает 84 т. Электровозы развивают максимальную скорость 110 km/h и предназначаются для ведения пассажирских паровых поездов.

Электровозы оборудованы однофазными серийными тяговыми двигателями на 16  $\frac{2}{3}$  Hz часовой мощностью 720 л. с. каждый.

Тяговые двигатели электровоза замечательны тем, что якорь их не имеет вала; подшипники качения смонтированы непосредственно на торцах якоря. Такая конструкция наряду с экономией в весе создает более стабильные условия работы для зубчатой передачи. Вес тягового двигателя норвежских электровозов составляет 3200 kg.

Ю. М. Галонен

#### A. Meyer, M. Pauli. Новые легковесные мотор-вагоны швейцарских железных дорог. *Schweiz. Bauz.* № 25, 1940.

В конце 1939 г. была электрифицирована одна из старейших рельсово-зубчатых железных дорог линии Bex — Gruyere — Villars — Chesières (основанной в 1902 г.).

Электрифицированный участок курортного значения протяжением всего 14 км узкоколейного (1 m) пути замечен тем, что предназначен для эксплуатации подвижного состава как на чисто рельсовом, так и на рельсово-зубчатом участке.

На рельсовых участках максимальные подъемы достигают 60‰, а на участке более гористого профиля (протяжением около 5 km), обслуживаемом зубчатой двойной рейкой, подъем достигает 200‰.

Новый электрифицированный участок начинается на станции Bex, расположенной на высоте 412 m над уровнем моря, и достигает максимальной высоты на станции Villars, расположенной на высоте 1256 m над уровнем моря.

Для этой линии в начале 1940 г. фирмой Schweizerische Lokomotiv und Maschinenfabrik Winterthur были построены мотор-вагоны с электрооборудованием Qerlikon.

Новые мотор-вагоны, получившие название «Красная стрела», имеют безрамную конструкцию несущего кузова и выполнены с широким применением электросварки. Емкость вагона рассчитана на 80 человек. Вес вагона (тара) составляет всего 19 t.

Новые мотор-вагоны предназначаются для следования одновагонным составом и имеют электрооборудование для питания от сети постоянного тока 650 V.

Максимальная скорость вагона при следовании по рельсовому пути 30 km/h, а при прохождении рельсово-зубчатого участка 18 km/h.

Ю. М. Галонен

#### H. Edstrom. Новый шведский дизельэлектрический речной трамвай. *ASEA Journal*, стр. 46—48, № 3, 1940.

Новый речной трамвай предназначен для эксплуатации в окрестностях Стокгольма.

Речной трамвай оборудован шестицилиндровым двигателем Atlas Diesel мощностью 45 л. с. Обороты дизеля регулируются в диапазоне от 700—1000 об/мин.

Дизель служит для привода генератора постоянного тока 27 kW, 110 V, 1000 об/мин. Компаундный генератор имеет 4 обмотки возбуждения: шунтовую обмотку, вспомогательную обмотку (питаемую от возбудителя), противокомпаундную серийную обмотку и пусковую обмотку (включаемую при развороте дизеля).

Этот же генератор используется как двигатель для разворота дизеля при пуске. Питание электродвигателя осуществляется в этом случае от аккумуляторной батареи.

Главный генератор питает электроэнергией двигатель мощностью 30 л. с. при 250 об/мин, приводящий в действие гребной винт речного трамвая. Двигатель имеет постороннее возбуждение, питаемое от напряжения 32 V. Для возбуждения обмоток двигателя и генератора служит вспомогательный генератор-возбудитель мощностью 2 kW при 32 V, расположенный на одной фундаментной плате с главным генератором. Этот же генератор служит для зарядки аккумуляторной батареи, для питания вентиляционной установки и цепи освещения.

Управление и обслуживание речного трамвая осуществляется одним человеком с помощью колонки управления с цепным приводом к реостату, регулирующему возбуждение поля генератора.

При длительных установках, с целью экономии горючего, обороты дизеля могут быть снижены до 700 об/мин, непосредственно из кабины управления.

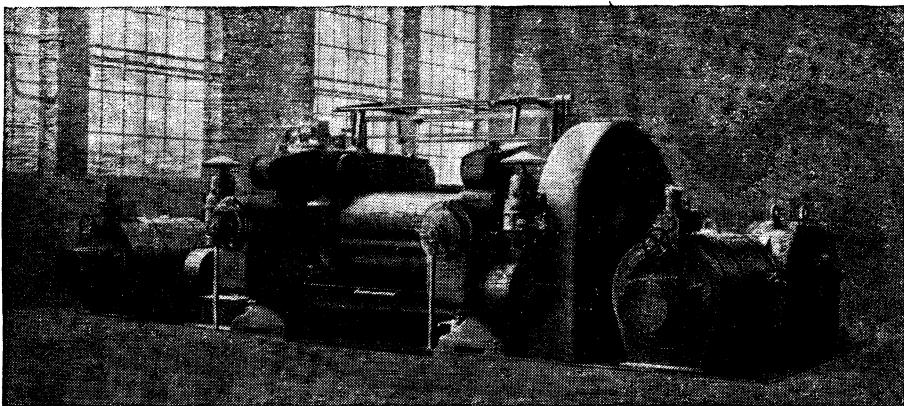
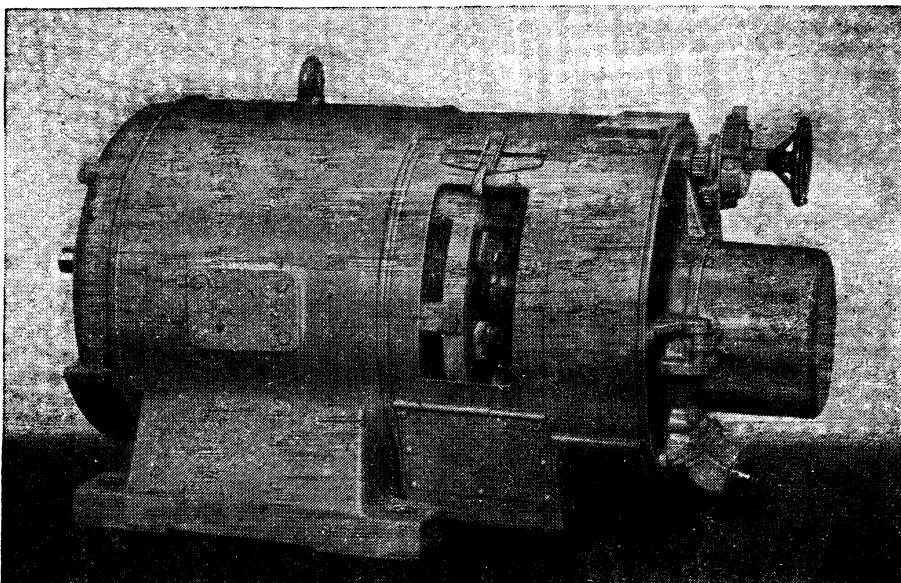
Эксплуатация речного трамвая с электроприводом в течение более года дала вполне удовлетворительные результаты.

Автор приходит к выводу о целесообразности переоборудования ряда катеров Стокгольмских пригородных водных линий в речной трамвай с дизельэлектрическим приводом.

Ю. М. Галонен

  
**SIEMENS**

# ТРЕХФАЗНЫЕ ШУНТОВЫЕ МОТОРЫ для привода машин и станков



Прокатный стан в резиновом производстве с приводом от двух шунтовых моторов по 90 кв, 1450-360 об/мин.

*Регулировка скорости:  
бесступенчатая и без потерь.*

*С запросами просим обращаться по адресу*

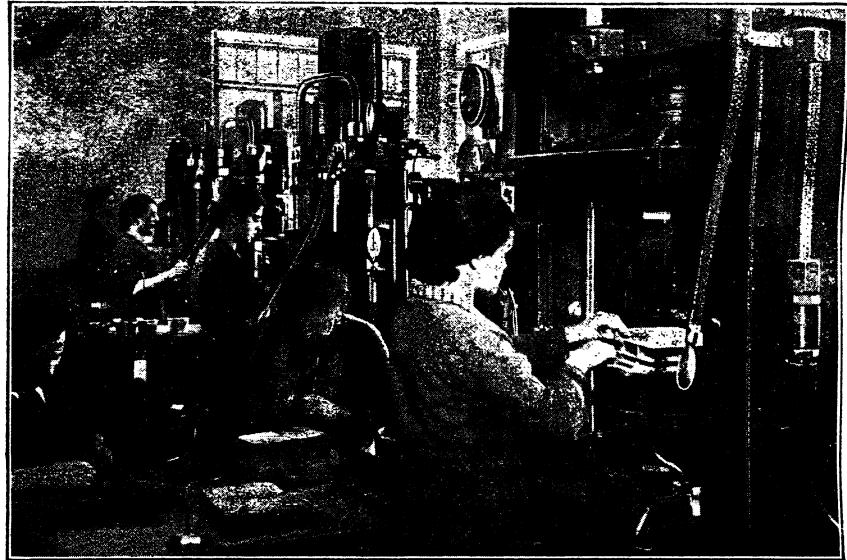
**SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST**  
BERLIN-SIEMENSSTADT

JVo 23



# БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРЕССЫ для пластических масс модель НРК

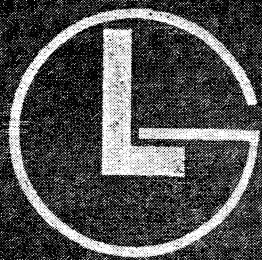
с патентованным индивидуальным гидравлическим приводом



Быстродействующие прессы НРК применяются в настоящее время во всех промышленных странах, причем во многих предприятиях установлены целые серии таких прессов. Их успех обусловлен не только их исключительной производительностью и надежностью в эксплоатации, вызванные их конструктивными особенностями, но и разносторонней возможностью их применения. Быстродействующие прессы НРК пригодны для прессования всевозможного сырья различными способами. Они допускают экономически-рациональное производство сложнейших деталей, даже из трудно поддающегося обработке сырья. Благодаря наличию специальных приспособлений, как-то:автоматического, легко регулируемого замедлителя хода пресса, гидравлического выбрасывателя и т. д.: работа этого пресса отвечает самым суровым требованиям. Быстродействующие прессы НРК удовлетворяют Вас при обработке всевозможного сырья различными способами, как производительностью, так и качеством выработанных изделий.

Требуйте посылку Вам нашего проспекта № 92

**HAHN & KOIB · STUTTGART**  
**ГАН и КОЛЬБ · ШТУТГАРТ**



Трехфазный мотор  
с контактными кольцами  
1500 kW, 740 об /мин, 5000 V  
для привода листового  
прокатного стана

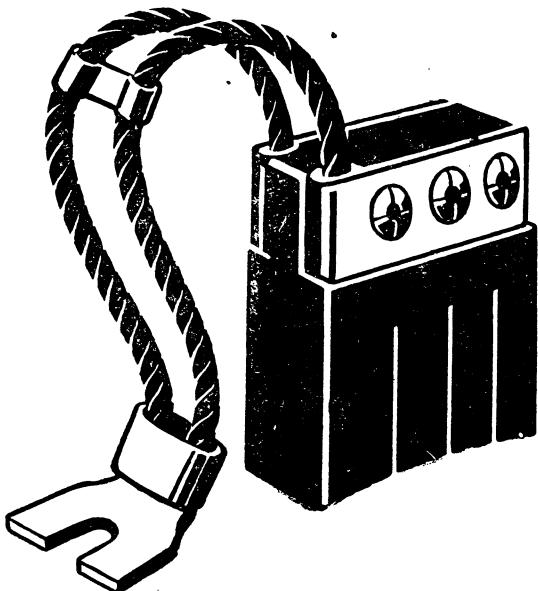
# ПРИВОДЫ ПРОСКАРНЫХ СТАНОВ

**GARBE, LAHMEYER & CO. AG.**  
**AACHEN**

Германия



RINGSDORFF



# УГОЛЬНЫЕ ЩЕТКИ

НАША ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОГРАММА ОХВАТЫВАЕТ ЩЕТКИ ИЗ ТВЕРДОГО, ГРАФИТНОГО, БРОНЗОВОГО И ОБЛАГОРОЖЕННОГО УГЛЯ РАЗЛИЧНЕЙШЕГО КАЧЕСТВА. МЫ ИМЕЕМ, БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ, ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТАВИТЬ НА ЛЮБУЮ МАШИНУ ПОДХОДЯЩИЕ К НЕЙ ЩЕТКИ.

6769

**RINGSDORFF-WERKE K.G. • МЕНЛЕМ-РХЕИН** (Германия)

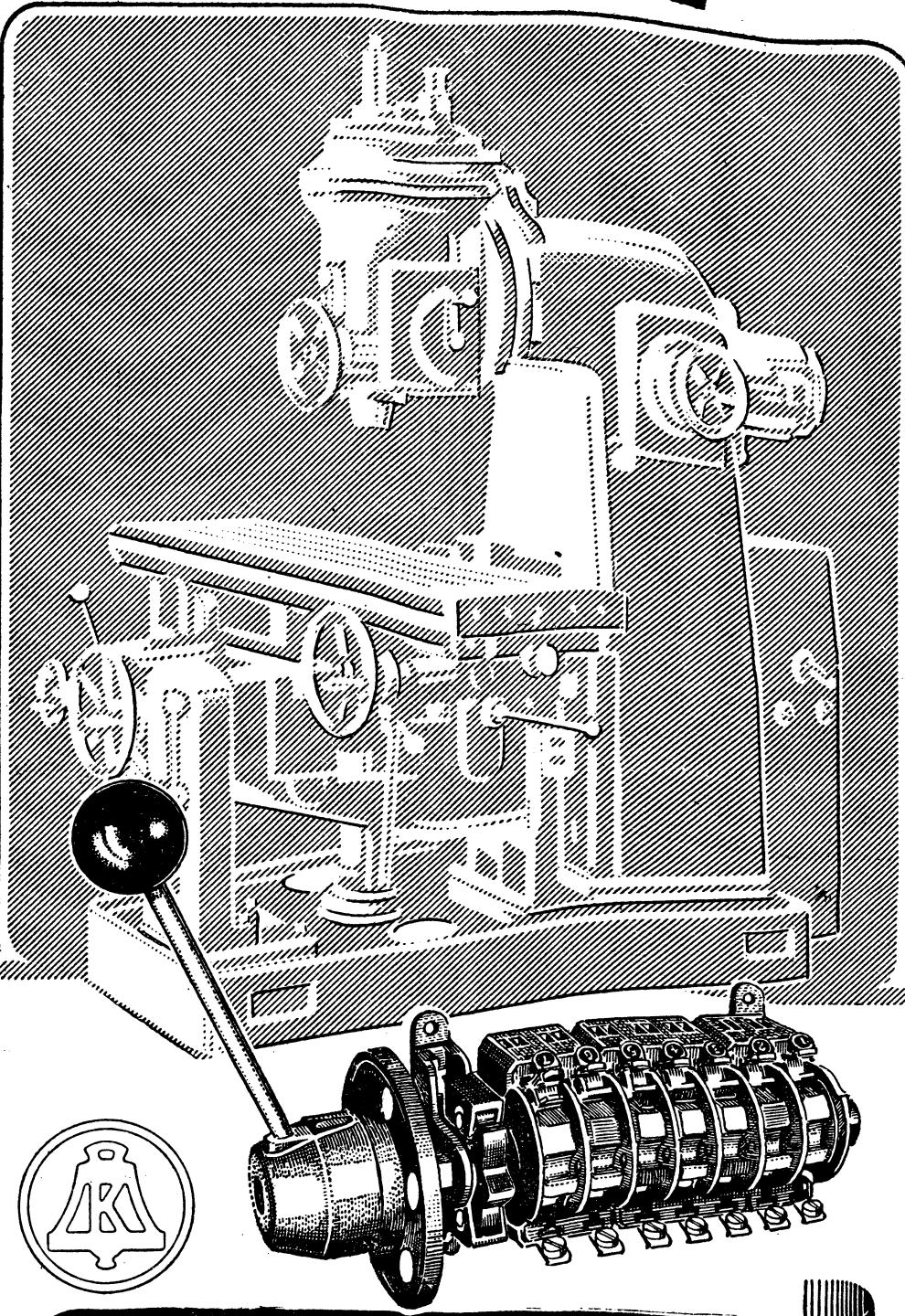
## Электроизмерительные ПРИБОРЫ

для сильноточной техники, техники связи,  
лабораторий и испытательных станций



**Felten & Guilleaume Carlswerk AG, Köln-Mülheim**

п. 53 г.  
56



Варируя небольшим числом основных элементов конструкций, мы достигаем с нашими цилиндрическими контакторами 10 000 различных комбинаций включения. При небольшом числе частей хранящихся на складе, универсальность применимости.

F. KLÖCKNER K.-G., KÖLN-BAYENTHAL

Цена 5 руб.

## ПРЕЦИЗИОННЫЕ МЕЛКИЕ ДЕТАЛИ

из "высокоиз качественной стали"

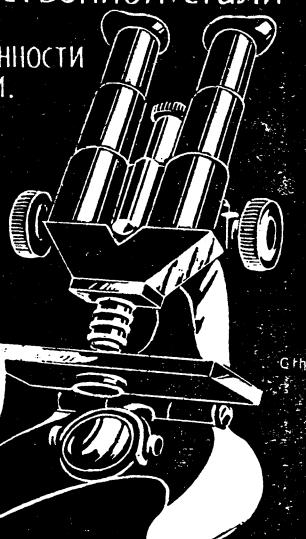
для часовой промышленности и точной механики.

для оптических и электрических измерительных приборов

в микроскопически точном выполнении

**SCHUMAG**  
**AACHEN**

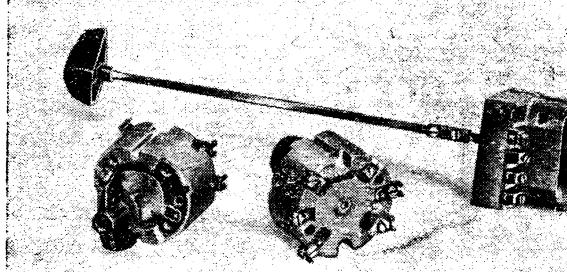
Германия



Выключатели всевозможных типов для регулировки электрического отопления

по нормам Союза Германских Электротехников и иностранным техническим условиям

на 10, 15 и 25а для кухонных плит и производственных нагревательных приборов



Ernst Dreefs, Unterrodach (Oberfr.)  
Основ. в 1903 г.

(ГЕРМАНИЯ)  
На выставке  
в Лейпциге дом „Электротехники“, Г3

## Быстроходные оплеточные машины ГОРНА



для любого вида оплетки проводов и кабелей любым материалом, от асбеста до железной проволоки. Наивысшая надежность в работе, наивысшая производительность при постоянной работе. Зарекомендованы многолетней практикой.

До сих пор поставлено свыше 9 700 быстроходных оплеточных машин к полному удовлетворению моих клиентов.

Горизонтальные оплеточные машины, ткацкие станки для бензиновых рукавов.



**Guido Horn**  
Berlin-Weißensee XII

▲ 74/6749

## МАСЛЯНЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ ГЕРИНГА

для любого назначения

с водяным или воздушным охлаждением

Модели:

- с спиральной трубкой
- с параллельными стенками
- с масляными трубками и т. п.

Кроме того:

- Установки для очистки и для регенерации масла
- Вакуумные пропиточные установки
- Вакуумные сушильные шкафы
- Маслоподогреватели

Уже сотни наших установок поставлены до сих пор в СССР!

Требуйте наши подробные проспекты!

**Aktiengesellschaft  
A. Hering, Nürnberg 2**  
(Abholfach)

Германия