

1934

„Коммунизм есть советская власть
и массовая электрификация всей страны“,
ЛЕНИН

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

№ 1

ЯНВАРЬ
ВЫПУСК I

mc 30029



МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

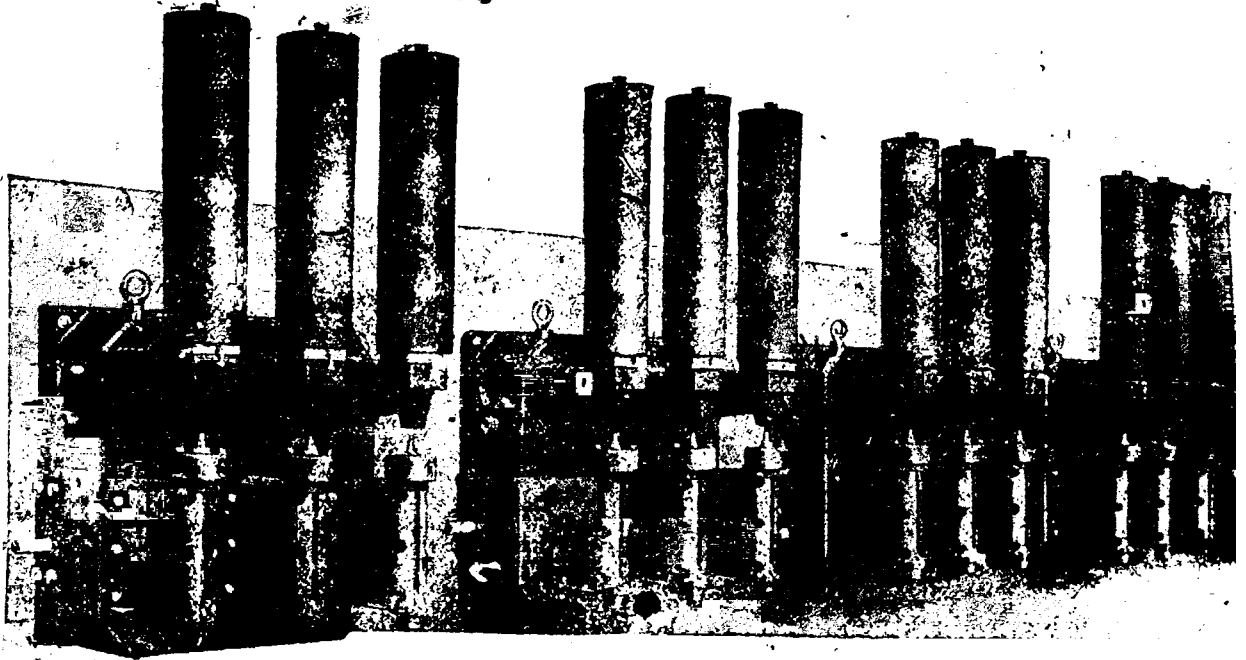
Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

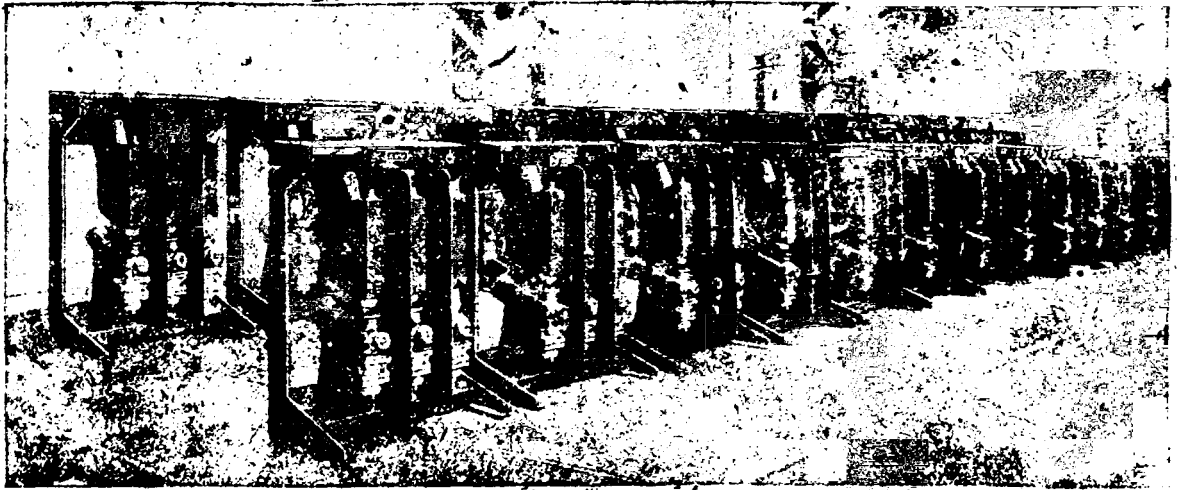
AEG

**Высоковольтные
выключатели без масла
до 220 000 вольт**

Воздушные выключатели



Водяные выключатели



Печатный материал по первому требованию

Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft
Abt. Rußland / Berlin NW 40

6694

Выписка зарубежных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех вопросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на номер нашего журнала.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

ФАБРИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ Фр. САУТЕР, Анц. Общ. в БАЗЕЛЕ

Fabrik elektrischer Apparate Fr. SAUTER, A.-G., BASEL



Автоматический часовой выключатель в электрическом заводе.

8978

Мы строим:

1. **Астрономические** электрические часовые выключатели для автоматического зажигания и тушения уличного освещения, для силы тока от 2 до 600 А и для напряжения от 100 до 8000 V.
2. **Автоматические** выключатели, действующие на расстоянии (реле: ртутные, магнитные и моторные).
3. **Электрические** автоматы для счетчиков 2 и 3-го тарифа, холодильных машин, насосных установок, фабричной сигнализации, регулирования уличного освещения, зарядки аккумуляторов и т. п.

Наши изделия выставлены на постоянной выставке „Техно-промимпорта“.

Поставщики Электроимпорта.

Запросы могут быть составлены и на русском языке.

I.F.I

МИЛАН Муссолини №5 ИТАЛИЯ

Трехполюсные измерительные выключатели до 230 квв.
Более 2000 наборов на заводе

Арматуры высокого напряжения

■ Sachgemässe Beratung
in allen Fragen

der

**ausländischen Reklame
in der Sowjetunion**

■ bietet unverbindlich:

■ Generalvertretung des
Staatl. Anzeigenbüros
„Inreklama“, Moskau,
in: Deutschland,
Österreich, Tschecho-
Slowakei, Holland,
Schweden, Norwegen
und Dänemark:

**Industrie- und Handelsreklame
„TORGPROM“ G.M.B.H.**

Berlin W 35, Kurfürstenstr. 33
Tel. B 1 Kurfürst 2264.

82082

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога образцов и проспектов просим сослаться на номер нашего журнала.

ИЗВЕСТИЯ ВСЕСОЮЗНОГО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени Ф. Дзержинского
 Орган ВТИ им. Дзержинского.

Рассчитан на инженеров, техников, студентов вузов
10 номеров в год. Подписная цена: на год — 20 р., на 6 мес. — 10 р. Отд. номер — 2 р.

ТЕПЛО и СИЛА ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО
 Рассчитан на инженеров-энергетиков, инженерно-технических работников электростанций, студентов вузов и др.
 Подписная цена: на год — 18 р., на 6 мес. — 9 р.
12 номеров в год. Отдельный номер — 1 р. 50 к.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ Выпуск ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ
 РЕФЕРАТНЫЙ ЖУРНАЛ ГЛАВЭНЕРГО
 Рассчитан на инженеров-теплотехников.
10 номеров в год. Подписная цена на год — 12 р., на 6 мес. — 6 р. Отд. номер — 1 р. 20 к.

МАШИНИСТ
 Ежемесячный массовый журнал Государственного центрального бюро по обучению рабочих теплосилового хозяйства.
 Рассчитан на машинистов стационарных и подвижных теплосиловых установок.
12 номеров в год. Подписная цена: на год — 4 р. 20 к., на 6 мес. — 2 р. 10 к., на 3 мес. — 1 р. 5 к. Отдельный номер — 35 к.

ВЕСТНИК КОЧЕГАРА
 Ежемесячный массовый журнал Государственного центрального бюро по обучению рабочих теплосилового хозяйства.
 Рассчитан на кочегаров стационарных и судовых котельных установок, на машинистов, на низший и средний административно-технический персонал.
12 номеров в год. Подписная цена: на год — 3 р. 60 к., на 6 мес. — 1 р. 80 к., на 3 мес. — 90 к. Отдельный номер — 50 к.

ВЕСТНИК КОТЛОТУРБИНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
 Орган Всесоюзного научно-исследовательского института теплогидротехнического оборудования
 Рассчитан на инженерно-технический персонал заводов и научно-исследовательских институтов котлотурбостроения.
6 номеров в год. Подписная цена: на год — 12 р., на 6 мес. — 6 р. Отдельный номер — 2 р.

ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЕ Орган Всесоюзного дизельного объединения Научно-исследовательского института дизелеостроения и научно-технических обществ дизелестроителей.
 Рассчитан на ИТС заводов, сотрудников институтов, преподавателей вузов и техникумов и инженерно-технический персонал дизельных установок и судов.
6 номеров в год. Подписная цена: на год — 10 р. 80 к., на 6 мес. — 5 р. 40 к. Отдельный номер — 1 р. 80 к.

Гидротехническое строительство Орган Гидроэлектропроекта, Сектора водных ресурсов Госплана СССР, Гидронта, Института гидротехники и гидроэнергетики, Исследовательского института строительной гидротехники и инженерной гидрологии, Союзводстроя и Средвожстроя.
 Рассчитан на инженерно-технических работников, занятых производством и эксплуатацией гидротехнических сооружений.
10 номеров в год. Подписная цена: на год 15 р., на 6 мес. — 7 р., 50 к. Отдельный номер — 1 р. 50 к.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО Орган Главэнергопрома, Главэнерго, НКТП и Энергетического института Академии наук СССР в ВЭК-РНТО
 Рассчитан на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.
20 номеров в год. Подписная цена: на год — 25 р., на 6 мес. — 12 р. 50 к., на 3 мес. — 6 р. 25 к. Отд. номер — 1 р. 25 к.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО
 Рассчитан на инженеров-энергетиков в учащихся вузов.
12 номеров в год. Подписная цена: на год — 18 р., на 6 мес. — 9 р., на 3 мес. — 4 р. 50 к. Отд. номер — 1 р. 50 к.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ Выпуск ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ
 РЕФЕРАТНЫЙ ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО
 Рассчитан на инженеров и техников.
10 номеров в год. Подписная цена: на год — 12 р., на 6 мес. — 6 р. Отд. номер — 1 р. 20 к.

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И ЭЛЕКТРОМОНТЕР ОРГАН ГЛАВЭНЕРГОПРОМА
 Рассчитан на квалифицированного электромонтера, младший и средний техперсонал и прорабов.
12 номеров в год. Подписная цена: на год — 8 р. 40 к., на 6 мес. — 4 р. 20 к., на 3 мес. — 2 р. 10 к. Отд. номер — 70 к.

ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ ОРГАН ГЛАВЭНЕРГОПРОМА
 Рассчитан на ниж.-технический персонал заводов ВЭТ и инженеров-электротехников.
12 номеров в год. Подписная цена: на год — 18 р., на 6 мес. — 9 р., на 3 мес. — 4 р. 50 к. Отдельный номер — 1 р. 50 к.

ИЗВЕСТИЯ ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СЛАБОГО ТОКА Орган Всесоюзного объединения электрослабой точной промышленности
 Рассчитан на инженеров, техников, студентов и высококвалифицированных рабочих.
10 номеров в год. Подписная цена: на год — 12 р., на 6 мес. — 6 р. Отдельный номер — 1 р. 20 к.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА Орган Главэнергопрома и постоянного бюро съездов по электрификации жел. дорог.
 Рассчитан на квалифицированного рабочего, техника, студента, мастера и инженера, работающих по электрической тяге.
6 номеров в год. Подписная цена: на год — 12 р., на 6 мес. — 6 р. Отдельный номер — 2 р.

СВЕТОТЕХНИКА Орган Главэнергопрома и светотехнической секции ЭНИА
 Рассчитан на инженеров, техников, студентов, квалифицированных рабочих и мастеров.
6 номеров в год. Подписная цена: на год — 6 р., на 6 мес. — 3 р. Отд. номер — 1 р.

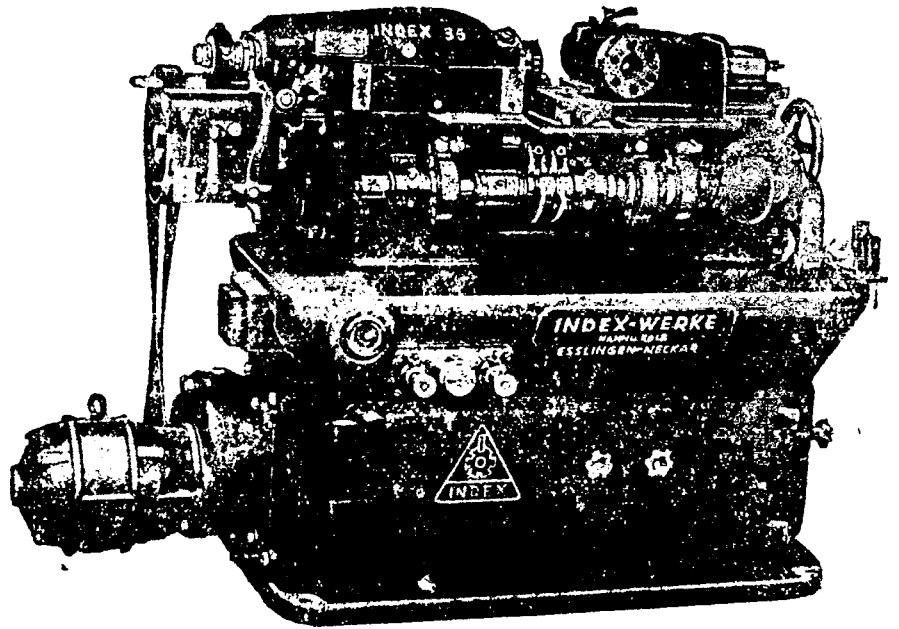
Подписку на журналы и деньги направляйте по адресу: Москва, Центр, Мясницкая, проезд Владимира (Юшков пер.), 4. Главной контроле периодических и полных изданий ОНТИ «ТЕХПЕРИОДИКА». Подписка принимается отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными организациями подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и пассажирскими. Выпуск подпериодики 1934 г. с 1 января 1934 года Главной контролей «Техпериодика» ОНТИ организована специальная экспедиция для обеспечения аккуратной и своевременной рассылки журналов подписчикам. С жалобами на неаккуратное получение журналов 1934 г. обращайтесь непосредственно в адрес контролы. В 1934 г. все журналы ОНТИ будут экспедироваться по воздушной (авиальной) системе. Подписки на журналы ОНТИ принимаются в книжном магазине «Книга».

АВТОМАТЫ ИНДЕКС



ЗАВОДЫ ИНДЕКС, Ган и Кольб, Эсслингген на Н.
10 величин. Наибольший пропуск материала — 60 мм.

Автоматы ИНДЕКС предпочитают, когда кроме
наивысшей производительности требуется наибольшая
точность изготовления. Они дают возможность
обходиться без дорогой последующей обработки.



Автоматы ИНДЕКС представляют собою новые кон-
струкции. Конструкция и исполнение отвечают новей-
шим требованиям и обеспечивают полное использо-
вание наилучших быстрорежущих сталей. Способ
работы автоматов ИНДЕКС удовлетворяет наиболь-
шие требования на экономное массовое изго-
товление. Требуйте данных по производительности
и пересылки нашего специального описания А 505.

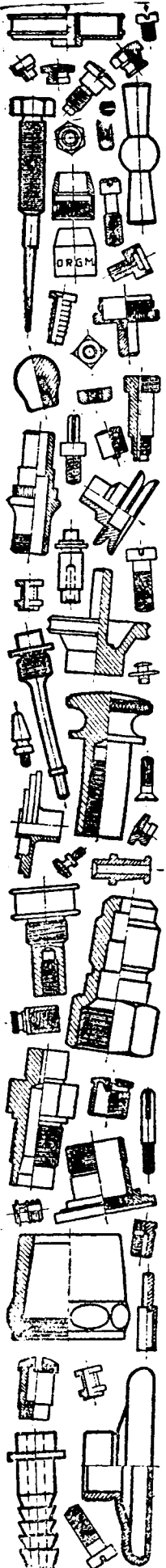
HAIN & KOLB · STUTTGART
ГАН И КОЛЬБ · ШТУТГАРТ

6693

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии
внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога образцов и проспектов

Вологодская цдссб связаться на номер нашего журнала, библиотека

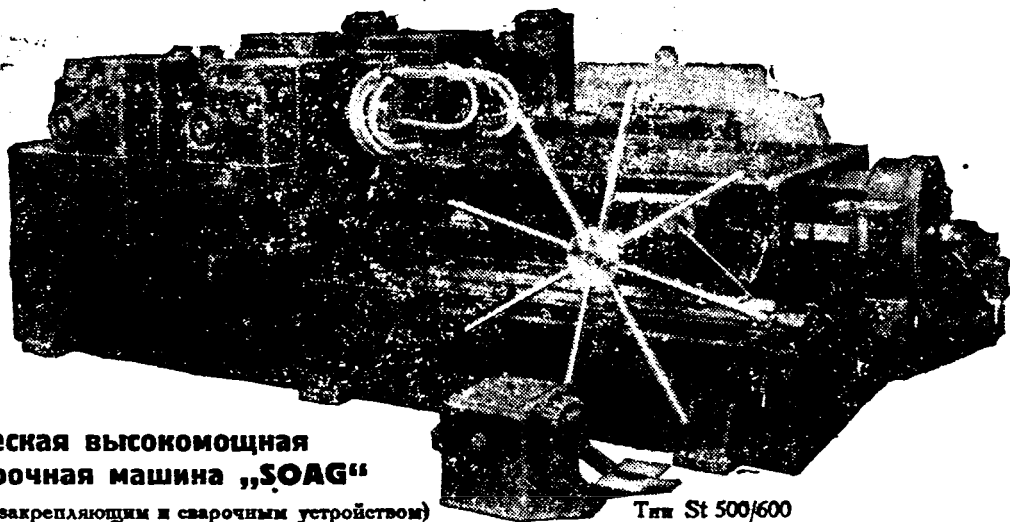
оч 30029



Электрические сварочные и нагревательные машины

(полуавтоматическое и автоматическое)

ДЛЯ ВСЯКОЙ МОЩНОСТИ И ВСЯКОГО ПРИМЕНЕНИЯ



Электрическая высокомогущная
стыкосварочная машина „SOAG“

(с моторным закрепляющим и сварочным устройством)

Тип St 500/600

для поперечного сечения железа до 30.000 qmm

SOAG SCHWEISSMASCHINENFABRIK A.-G.VORM. **DESFA**
DÜSSELDORF-HOLTHAUSEN

6698

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога образцов и проспектов просим ссылаться на номер нашего журнала.

О Н Т И

Энергоиздат

ОТКРЫТА ПОДПИСКА на 1934 г. НА ЖУРНАЛ „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Год издания 55-й

Орган Главэнергопрома и Главэнерго НКТП, Энергетического ин-та академии наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета рабочей, научной и инженерно-технической общественности (ВЭК-РНТО)

20 номеров в год

Подписная цена:

на 12 мес. . . 25 р. — к.
на 6 мес. . . 12 р. 50 к.
на 3 мес. . . 6 р. 25 к.
отдельн. номер 1 р. 25 к.

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным руководящим научно-техническим органом, рассчитанным на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

Программа журнала: Современные научно-исследовательские, теоретические и практические проблемы электротехники и в частности вопросы электромашино- и аппаратостроения и техники высоких напряжений. Наиболее важные технические и технико-экономические вопросы проектирования, строительства и эксплуатации электростанций и вопросы электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Освещение работы электротехнических научно-исследовательских институтов и крупнейших лабораторий. Освещение работы важнейших энергетических съездов, конференций и ВЭК-РНТО. Основные вопросы подготовки кадров, рационализации и стандартизации в электропромышленности и электрохозяйстве. Критическая библиография о вновь выходящей электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранной электротехнической печати.

ПОДПИСКУ на журналы и деньги НАПРАВЛЯЙТЕ ПО АДРЕСУ: Москва, Центр, Ильинка, пр. Владимирова, 4, Гл. КОНТОРЕ „ЭКСПЕРИДИКА“.
ПОДПИСКА ТАКЖЕ ПРИНИМАЕТСЯ отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими разрешениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а всеми подразделениями и письменно.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Орган ГЛАВЭНЕРГОПРОМА и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института Академии наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета рабочей, научной и инженерно-технической общественности (ВЭК—РНТО)
Адрес редакции: Москва, Неглинный пр., 6/2, тел. 65-84.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
К XVII ВСЕСОЮЗНОМУ СЪЕЗДУ ВКП(б)		ИЗ РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ и ЛАБОРАТОРИЙ	
Акад. Г. М. Кржижановский—Электроэнергетика и завершение технической реконструкции СССР	1	<i>Инж. Л. Е. Машкиллейсон и проф. Г. Т. Третьяк</i> —Испытания масляных выключателей завода „Электроаппарат“ на разрывную мощность	27
ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ		<i>Инж. А. А. Акопян</i> —Действие полупроводящих поверхностей и больших сопротивлений на величину разрядного напряжения изолирующих конструкций	37
Акад. В. Ф. Миткевич—О „физическом“ действии на расстоянии	15	<i>Инж. Н. П. Савин и инж. С. В. Крауз</i> —Расчет двухструйной вентиляции турбогенератора	41
Проф. Б. Д. Гогоберидзе—К вопросу об условности математической трактовки физических явлений	20	ХРОНИКА	48
НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ		БИБЛИОГРАФИЯ	53
Д-р И. Гольдштейн—Новые пути в области построения трансформаторов тока	21	ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ	56
ВОПРОСЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНИКИ и БОРЬБЫ С АВАРИЯМИ			
Инж. Д. А. Фукс и инж. М. З. Чернов—Аварии в распределительных устройствах генераторных напряжений и меры борьбы с ними	24		

ПРИВЕТ XVII СЪЕЗДУ ВКП(б) — ШТАБУ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ВОЖДЮ ПАРТИИ ТОВ. СТАЛИНУ!

Электроэнергетика и завершение технической реконструкции СССР ¹⁾

(к XVII Всесоюзному съезду ВКП(б))

Акад. Г. М. Кржижановский

Теперь уже не приходится доказывать, почему установки наших перспективных планов являются как бы «второй программой нашей партии». Об этом достаточно красноречиво свидетельствуют «заботы» нашего хозяйственного и политического «дня». И т. Ленин и т. Сталин учили и учат нас правильной расстановке наших сил с подхватом очередных ведущих звеньев, которые они мастерски выявляли и выявляют при сопоставлении фактов нашей действительности с целевыми ставками нашей социалистической стройки.

Теперь уже не приходится доказывать, что вся эта стройка находится в теснейшей связи с нашим успешным продвижением к «царству крупной машинной индустрии на базе электрификации».

Новый громадный подъем в том и в другом направлении, т. е. как для подкрепления «ведущей роли» машин, так и для создания новой электроэнергетической базы, богато обрисовывается в опубликованных тезисах хозяйственного плана второй пятилетки. Достаточно вникнуть в эти тезисы, чтобы видеть, что вторая пятилетка поистине является эпохой всемирноисторической значимости. Отсюда прямая необходимость в кратчайший срок развернуть все силы нашего научно-исследовательского фронта, чтобы всем арсеналом наших ресурсов поддерживать надлежащим образом линию огня в этих «последних и решительных боях».

Наше стратегическое положение накануне второй пятилетки гораздо более выгодно, чем накануне первой пятилетки. Оно выгодно не только потому, что с достигнутой на плечах первой пятилетки высоты нам виднее и все диспозиция наших сил и расположение сил противника. Трудно, конечно, переоценить гигантский ко-

¹⁾ Извлечения из вступительного очерка в книге „Электроэнергетика СССР“, подготовленные московским коллективом Энергетического института Академии наук к XVII съезду ВКП(б)

Итоги пятилетнего развития электрификации в СССР и в капиталистических странах

Качественный рост наших основных производственных ресурсов, созданных в первой пятилетке. Но, быть может, особое значение имеет то обстоятельство, что в первой пятилетке мы должны были резко сторваться от всех «старых берегов», а во второй—мы прежде всего и более всего можем и должны использовать гигантский опыт первой пятилетки и ее прямые уроки. Это уже гораздо проще и легче. Возьмем, например, основное положение второй пятилетки: пафос строительный мы должны дополнить пафосом освоения. Проанализировав, мы найдем органическую связь между ними. Строительный «пафос» включает пусковой период. Строительный «пафос» не исключает, а зорко предусматривает дальнейшие интересы эксплуатации. Каждая наша крупная стройка—прямая школа будущих «своих людей» техники сооружаемого. На поверку выходит, что именно наличие пафоса строительства—завоевание первой пятилетки—служит нам особо надежной гарантией для успешного переключения на пафос освоения (основная ставка второй пятилетки) и т. д.

Вот почему и в вопросах электроэнергетики в связи с задачами завершения нашей технической реконструкции (основная веха второй пятилетки) нам надежнее всего исходить из итогов опыта в этом направлении нашей первой пятилетки. С них мы и начинаем.

I. Электроэнергетический «догон» за первую пятилетку

Цифры и факты итогов первой пятилетки неоспоримо устанавливают громадный подъем нашей электроэнергетической базы—подъем абсолютный и относительный. Табл. 1 достаточно характеризует этот подъем.

Таблица 1

Рост электровооружения СССР

Годы	Электрическая мощность страны (на конец года)		Электробаланс страны	
	В млн. кВт	В % к 1913 г.	В млрд. кВт	В % к 1913 г.
1913	ок. 1	100	ок. 2	100
1928	1,9	190	5,0	250
1932	4,7	470	13,4	670
1933	5,7	570	15,9	795

Электрическая мощность страны к концу 1933 г. возросла по сравнению с 1913 г. в 5,7 раза; выработка электроэнергии—почти в 8 раз. В 1913 г. весь годичный отпуск электроэнергии не превышал 2 млрд. кВт. По этому отпуску мы были в мировом счете совершенно незаметной величиной. Такая «крошка», как Голландия, могла состязаться с нами. Мы начинали в этом смысле почти с нулевой величины. Итоги нашей электрификации за первую пятилетку (1929—1932) в сравнении с основными капиталистическими странами охарактеризованы табл. 2.

Сопоставление с ходом нашего электроснабжения за период с 1929 по 1932 г. с электроснабжением Англии, Германии, Франции, САСШ, Канады и Италии показывает, что Германия, Франция, САСШ и Канада выходят в итоге с отрицательным балансом (результат мирового капиталистического кризиса), Италия приращивает свой электробаланс всего на 5,2%. Англия—на 16,3%, а мы—более чем удваиваем (211,3%).

При этом наше движение вперед идет уже такими абсолютными величинами, когда каждый процент прироста приобретает сугубое значение, и, тем более, что он реализуется по преимуществу работой крупнейших единиц—районных станций (рэс). При общем

Страны	1929—1932 гг.	
	прирост (+) и снижение (—) электробаланса	
	в млрд. кВт	в % к 1929 г.
СССР	+ 7,12	211,3
САСШ	— ок. 14	84,8
Германия	— 7,32	76,1
Франция	— 0,8	94,5
Канада	— 1,94	89,2
Англия	+ 2,44	116,3
Италия	+ 0,51	105,2

приросте электробаланса за первую пятилетку в 8,4 млрд. кВт на долю рэс приходится ок. 7,0 млрд. кВт. В табл. 3 мы перечисляем те новые крупные мощности, которые пущены в ход за первую пятилетку, и уже беглого взгляда на основные позиции этой таблицы достаточно, чтобы видеть, как быстро выравниваем мы фронт нашей электрификации с западноевропейскими.

Таблица 3

Новые мощности, введенные в первом пятилетии и в первом году второго пятилетия²⁾

Наименование станций	Энергетическая база	Прирост мощности в первом пятилетии и в 1-м году второго пятилетия	
		Новые станции	Расширенные станции
1	2	3	4
Горьковская	Торф	—	184,0 ³⁾
Шатурская	„	—	88,0 ⁴⁾
Дубровская	„	100,0 ⁵⁾	—
„Красн. Октябрь“	„	—	91,0
Ивановская рэс	„	75,0	—
Ярославская	„	83,0	—
Брянская	„	22,0	—
Белорусская	„	20,0	—
Имени Классона	„	—	15,0
Ивановская тэц	„	14,0	—
Орехово-Зуевск. тэц	„	12,6 ⁶⁾	—
Урал. маш. з-да (тэц)	„	10,0	—
Зуевская	Антрац. штыб.	150,0	—
Штеровская	„	—	137,0
Шахтинская	„	90,0 ⁷⁾	—
Сталинградская	„	75,0 ⁷⁾	—
Саратовская	„	22,5	—
Казанская тэц	Донецк. уголь	20,0 ⁸⁾	—
Северодонецкая тэц	„	—	44,0 ⁸⁾
Чугуевская	„	45,5	—
Киевская	„	21,3	—
Криворожская	„	44,0 ⁷⁾	—
Воронежская	„	24,0 ⁷⁾	—
2-я Ленинградская	„	—	60,0 ⁹⁾
Каменская им. Дзержинского	„	48,0 ⁷⁾	—
Харьковск. автозавод	„	15,0	—
1-я Харьковская	„	—	9,5
Каширская	Подмоск. уголь	—	174,0
Челябинская	Челябинск.	99,0	—
Кизеловская	Кизеловск.	—	70,0 ¹⁰⁾
Егоршинская	Егоршинск.	—	12,0 ⁵⁾
Кузнецкая тэц	Кузнецкий	60,0	—
Кемеровская	„	24,0 ⁵⁾	—

1) Станции общего пользования.

2) Здесь приведены лишь наиболее крупные станции

3) В том числе 46 MW в 1933 г.

4) В том числе 44 MW в 1933 г.

5) В 1933 г.

6) В том числе 4,0 MW в 1933 г.

7) В том числе 24 MW в 1933 г.

8) В том числе 22 MW в 1933 г.

9) В том числе 12 MW в 1933 г.

Новые мощности, введенные в первом пятилетии и в первом году второго пятилетия

Наименование станций	Энергетическая база	Прирост мощности в первом пятилетии и в 1-м году второго пятилетия	
		Новые станции	Расширенные станции
1	2	3	4
Березниковская тэц.	Кизеловский уголь	83,0	—
Новороссийская . . .	Мазут	20,0	—
Самарская	”	—	12,0
1-я Мгэс	”	—	47,0 ⁹⁾
Горьковская тэц (автозавод)	”	24,0	—
Краснодарская	”	11,0	—
Грозненская им. Коминтерна	Мазут и газ	25,0	—
Бакинская им. Красина	”	—	49,6
Бакинская „Красная звезда“	”	—	20,0
Днепровская	”	435,0 ¹¹⁾	—
Свирская	”	72,0 ⁵⁾	—
Риовская	”	24,0 ⁵⁾	—
Дзорогэс	”	15,0 ⁵⁾	—
Кадырьинская	”	13,0 ⁵⁾	—

Не говоря уже о таком гиганте, как Днепрогэс, мы видим, что ведущим типом наших электростанций становятся крупнейшие станции, оборудованные по последнему слову мировой техники. Более чем на $\frac{1}{5}$ оборудование наших основных станций является ровесником нашей советской конституции, причем на долю первой пятилетки приходится свыше 70% суммарного счета основных производственных мощностей рэс (68,7% поверхностей нагрева котлов и 79,3% турбинных мощностей).

Наконец, мы видим, что сдвиги в электровооружении основных районов СССР за период первой пятилетки идут в прямом соответствии с ростом новых районов нашей индустриализации и с укреплением производственных мощностей старопромышленных районов. Наиболее мощными узлами нашего электроснабжения, как и следовало ожидать, являются нижеследующие 4 узла: энергетический узел нашей всесоюзной кочегарки — Донбасс и Приднепровье, включая Шахты, Ростов, Таганрог и Мариуполь; Центрально-промышленный район (Московская, Ивановская области и Горьковский узел); Урал с Магнитогорском и Ленинградская область.

Продолжим эти линии электроэнергетики на вторую пятилетку. Допустим для капиталистических стран исключительно благоприятную для них возможность — вернуться за предстоящие четыре года к тем максимальным уровням 1929 г., ниже которых они пока продолжают катиться. Тогда мы получим такое сопоставление наших крупнейших электроэнергетических систем на конец второй пятилетки с конкурирующими системами капиталистического Запада (табл. 4).

О чем говорит это сопоставление? Оно говорит, что исполняется предвидение т. Ленина о превращении «нищей и разоренной» страны в страну высокой индустрии, в страну «электрическую». Оно говорит, что мощным строительным напором рабочих и крестьян в кратчайший исторический срок, с утроенными или упятеренными скоростями по сравнению с историческим опытом

10) В том числе 48 MW в 1933 г.

11) В том числе 124,0 MW в 1933 г.

Крупнейшие электроэнергетические системы СССР на конец второй пятилетки и САСШ в 1929 г.

Наименование системы	Установленная мощность в MW	Годовая выработка электроэнергии в млрд. kWh	Годовое использование установленной мощности в часах
СССР (1937 г.) ¹²⁾			
Электро-система: Донбасс, Приднепровье . . .	1 890	ок. 9	4 750
Электро-система: Центрально - промышленный район (Московская, Ивановская области и Горьковский узел)	1 420	6,9	4 850
Уральская система (Северный, Центральный, Южный Урал и Магнитогорск)	1 140	6,0	5 250
Ленинградская система . . .	640	3,0	9 670
САСШ (1929 г.) ¹³⁾			
Система Ниагара-Гудзоновская	1 540	6,9	8 700
Нью-Йоркская эдисоновская система	2 360	5,0	2 100
Тихоокеанская система (Южно-калифорнийская)	939	3,1	3 354

наиболее передовых капиталистических стран, советская электрификация идет вперед и вперед, устанавливая свои рекорды, продолжающие изумлять мир.

II. Качественные особенности советской электроэнергетики

Ход мировой электрификации еще в довоенное время показал, что ведущие линии ее подъема неразрывно связаны с сооружением и эксплуатацией районных электрических станций. Именно на таких станциях, охватывающих электроснабжением районы, обширность которых находится в прямой пропорциональности с успехами передачи электроэнергии на все более и более дальние расстояния, с особой силой сказывается гигантское преимущество электроэнергетики как наиболее важного фактора в борьбе с преодолением пространства. А так как рост социалистической индустриализации по преимуществу базируется на все более и более крупных производственных мощностях, то мы вправе ожидать, что концентрация мощностей на районных электростанциях, этого живого символа индустриальной мощности целых районов, должна выявляться с особой силой. Отсюда прямой вывод, что удельный вес районных станций во всем электрохозяйстве страны является особо существенным показателем для всей динамики хозяйственной централизации. Табл. 5 показывает, что за период с 1913 по 1933 г. удельный вес мощностей наших районных станций возрос более чем в четыре раза, свидетельствуя, таким образом, о громадных сдвигах в концентрации производственных мощностей всего народного хозяйства нашей страны.

¹²⁾ По материалам инж.-эконом. секции НИС МЭИ.

¹³⁾ По данным книги проф. Вейца, Современное развитие электрификации в капиталистических странах, 1933 г.

Таблица 5

Динамика централизации электрохозяйства СССР (1913—1933 гг.)

Годы	Удельный вес районных станций во всем электрохозяйстве страны (в процентах)	
	по мощности	по выработке
1913	16	22
1928	33	40
1932	65	69 ¹⁴⁾
1933	69	71,5 ¹⁴⁾

Достаточно сопоставить уровень централизации электрохозяйства СССР с уровнем таких передовиков электроэнергетики, какими являются САСШ и Германия, чтобы видеть, что на плечах первой пятилетки мы стали в мировом счете по этому показателю в уровень с этими странами (табл. 6).

Таблица 6

Сравнительный уровень централизации электрохозяйства СССР и капиталистических стран

Страны	Год	Удельный вес станций общего пользования (по выработке электроэнергии)
СССР	1932	75
	1933	78
Германия	1929	53
САСШ	1929	78

Само собой разумеется, что первенствующая роль районных центральных находится в прямой связи с развитием высоковольтных сетей. На табл. 7 мы даем характеристику развития последних за период первой пятилетки.

Таблица 7

Динамика развития высоковольтных сетей (в км)

На конец года	Всего	22 kV	38 kV	110 kV	161 kV	220 kV
1928	2 897	297	1 300	1 300	—	—
1932	10 200	1 100	3 600	5 300	200	—
1933 (план)	13 102	1 000	4 400	6 800	660	242

Таблица показывает, что как раз за этот период, несмотря на продолжающиеся жалобы из районов электроснабжения на недостаточность строительства сетей, мы в общем и целом почти удержали наш фонд высоковольтных сетей: в конце 1928 г. суммарная протяженность наших высоковольтных сетей составляла 2 897 км, а по строительному плану 1933 г. она уже составит свыше 13 тыс. км.

Лишь на базе такого строительства сетей и возможно было осуществить концентрацию мощностей на наших районных станциях, находящуюся в прямой зависимости с ростом кольцевания. Отметим, что еще в 1928 г. у нас не было ни одной электроцентрали с мощностью

свыше 100 тыс. kW. В 1932 г. мы имели уже 10 таких крупнейших электроцентралей — вожаков всего нашего электрохозяйства. На табл. 8 мы даем перечень этих наших опорных баз по электроэнергетике с их основной производственной характеристикой.

Таблица 8

Электроцентралы мощностью 100 MW и выше (на 1/1—1933 г)¹⁵⁾

Название станций и источников энергии	Установленная мощность		Полная мощность	Производительность	
	На начало пятилетки 1/1—1929 г.	На конец пятилетки 1/1—1933 г.		1928 г.	1932 г.
Днепрогэс (вода)	—	310	558	—	—
Каширская рэс (Подмоск. уголь)	12	186	186	61	765
Горьковская рэс (торф)	20	158	204 ¹⁶⁾	68	525
Штеровская рэс (штыб)	20	152	152	54	419
Зуевская рэс (штыб)	—	150	250	—	396
Шатурская рэс (торф)	92	136	180 ¹⁶⁾	295	746
1-я Мгэс им. Сидовича (мазут)	75	107	120 ¹⁶⁾	149	440
„Красный Октябрь“ (торф)	20	111	111	45	451
Челябинская рэс (уголь)	—	100	150	—	345
Рэс „Красная звезда“ Баку — (газ)	82	90	114	278	421

В полном соответствии с ростом таких электростанций реализуется в нашей стране использование крупнейшей паротурбин — этих основных опор — для рационализации самых методов выработки электроэнергии.

На крупнейших станциях довоенной России (1913 г.) наиболее мощными агрегатами были турбины всего в 5 MW, насчитываемые единицами. В 1928 г. — 28,5% мощности рэс падало на турбины до 6 MW, 44,9% — на турбины 6—12 MW и лишь 26,6% — на агрегаты свыше 12 MW. В 1932 г. удельный вес турбин с мощностью до 6 MW снизился до 8,8% и турбин с мощностью 6—12 MW — до 18,9%, удельный же вес турбин в 25 MW и выше уже составлял 72,3%, в том числе 12,9% мощностей тепловых рэс падало на турбины в 50 MW. На станциях — Горьковской, Каширской, Дубровской, Магнитогорской, Штеровской, Зуевской и «Красный Октябрь» уже работали 18 агрегатов, каждый по 44—50 MW.

Наряду с освоением крупнейших турбин столь же характерным показателем высокой техники является переход наших электростанций к использованию пара высокого давления и высоких температур. Табл. 9 рисует динамику такого перехода, причем по данным этой таблицы видно, что решающие сдвиги и в этой области были сделаны как раз в период первой пятилетки¹⁷⁾.

Мы уже освоили давление в 60 at (Березники) и вплотную подошли к разрешению задачи промышленного освоения давления в 100—130 at. Пуск к XVII съезду ВКП(б) тэц ВТИ мощностью в 60 MW на давление в 130 at с температурой перегрева в 500° С знаменует собою новые крупнейшие завоевания советской энергетики. Вторая пятилетка должна разрешить задачу освоения на наших станциях высокого давления 100—130 at.

15) В. Вейц, Современное развитие электрификации в капиталистических странах, изд. Академии наук, 1933 г., стр. 18.

16) В 1933 г. — уже сооружена, полная мощность.

17) См. фактический материал в последующих главах настоящей книги.

18) Включая промышленные станции районного значения.

Динамика освоения высокого давления на советских рЭС

Годы	Поверхность нагрева установленных котлов									
	До 12 at		От 13 до 18 at		От 19 до 30 at		31 at и выше		Всего	
	тыс. м ²	в % к итогу	тыс. м ²	в % к итогу	тыс. м ²	в % к итогу	тыс. м ²	в % к итогу	тыс. м ²	%
1913	8,6	20,0	34,3	80,1	—	—	—	—	42,9	100
1925	8,6	8,8	88,4	91,2	—	—	—	—	97,0	100
1928	3,3	3,0	95,0	84,7	13,8	12,3	—	—	112,0	100
1932	—	—	102,6	36,0	101,9	35,8	80,5	28,2	285,0	100

Не мешает подчеркнуть, что в современном капиталистическом мире в результате ударов неслыханного кризиса замечается паникерское отступление от тех позиций передовой техники, которые еще вчера поднимались на щит как лучшее доказательство капиталистической «цивилизации». Если, с одной стороны, бури мирового кризиса породили фашистские установки на национальную автаркию, то, с другой стороны, и в области электроэнергетики появились фашистские радетели, открывшие поход против крупных электроэнергетических систем, против идей концентрации производственных мощностей, против линий дальних электропередач¹⁸⁾. Такие радетели пытаются доказывать, что наиболее гармоничный социальный строй лежит в прошлом, что единственное спасение «серединной Европы» — это возврат к средневековому цеху, к мелким полукустарным заводам, к примитиву отношений средневекового полуремесленного города к патриархальной, покоящейся на крепостнических устоях, деревне. И подобно тому, как волны мирового кризиса оказались бессильными перед нашими советскими рубежами, подобно этому цифры и факты нашей электроэнергетики наглядно свидетельствуют, что лишь в одной нашей стране в настоящее время взят прежний стремительный старт к максимальной концентрации наших хозяйственных мощностей, к дальнейшему укреплению и объединению в одном социалистическом котле всей нашей электроэнергетической базы, оборудованной по последнему слову той мировой техники, которая была в зените своих потенций накануне мирового кризиса.

III. Использование местных низкокалорийных топлив как рациональная основа плановой электрификации

Существенные особенности советской электрификации неразрывно связаны с тем обстоятельством, что ее реализация идет отнюдь не стихийно, а по заранее обдуманному научному социалистическому плану. Одним из постулатов такого плана является решающая ставка в нем на местное низкокалорийное топливо — на антрацитовые штыбы, торф, подмосковные, уральские угли и т. д. Отсюда ряд сложнейших технических проблем, которые советская теплотехника должна была самостоятельно решать в области теории и практики как транспорта и хранения этих видов топлива, так и в особенности сжигания их в крупном масштабе и с высокой экономичностью.

Особенности данных видов топлива приводили к большим затруднениям при хранении и транспорте из-за самовозгорания (подмосковные, челябинские угли, фрезерный торф), малого объемного веса (торф), боль-

шого содержания мелочи (АШ), смерзаемости (подмосковные и челябинские угли) и при сжигании — из-за большой влажности, зольности, высокого содержания серы, большой сопротивляемости размолу и т. д. Эти трудности были в основном преодолены лишь благодаря необычайной настойчивости, проявленной советскими энергетиками, и своевременному развороту соответствующего фронта научно-исследовательских работ.

Добыча на сравнительно малых участках как огромных масс торфа гидравлическим и фрезерным способами с одновременным разрешением вопросов сжигания торфа, пылевидный способ сжигания низкосортных углей и выбор наиболее рациональной системы пылеприготовления, конструкции топок и транспортных устройств, удаление огромного количества получающейся золы, сушка влажных топлив — вот некоторые из основных задач, которые в этой области были разрешены советскими теплотехниками.

Общие итоги этих достижений даны в табл. 10, достаточно характеризующей уровень освоения местных видов топлива.

Таблица 10

Освоение местного топлива

(удельный вес выработки электрической энергии рЭС на разных видах топлива)

Род топлива	1932 г.	
	Млн. kWh	% к итогу
I. Местное топливо	4 835,6	62,2
в том числе:		
Мазут	301,0	3,9
Донецкий уголь	1 273,0	16,4
Подмосковный уголь	651,0	8,4
Уральский и Сибирский:		
угли	411,8	5,3
торф	1 639,5	21,1
дрова	183,1	2,3
отбросы	376,2	4,8
II. Привозное топливо	2 310,4	29,7
в том числе:		
Мазут	1 136,2	14,6
Донецкий уголь	1 174,2	15,1
III. Гидроэнергия	632,0	8,1
Итого	7 778,0	100,0

Мы видим, что за период первой пятилетки произошел резкий сдвиг во всем топливном балансе наших электростанций. Если в довоенное время эти электростанции шли исключительно на привозном топливе, причем мазут составлял 60% всего топливного баланса, а донецкий уголь — остальные 40%, то к концу 1932 г. местное топливо составляло уже 62,2%, привозное топливо — 29,7%, а гидроэнергия — 8,1% общего электробаланса. В рубрике местного топлива мы видим, что торф к этому сроку составляет уже 21,1% общего электробаланса: подмосковный уголь — 8,4%, уральские и сибирские угли — 5,3%, а угольные отбросы — 4,8%.

IV. Электрификация плюс теплофикация

Уже работникам комиссии ГОЭЛРО была ясна неразрывная связь электрификации и теплофикации. В свое время мы называли эти факторы двумя основными крыльями всей электроэнергетики. Элементарный анализ показывает, что с точки зрения рационального ис-

¹⁸⁾ См., например, Lavaczek F., Technik und Wirtschaft im dritten Imperie (1933), статьи на эту тему в современной немецкой периодике („Archiv für Warmwirtschaft“) 1933 и др.

Мощность
в MW

Использование топлива комбинированное производство тепловой и электрической энергии дает несравненное преимущество теплоэлектроцентралям (тэц), многократно повышающее их коэффициент полезного действия. Широкое применение паровой техники, с одной стороны, практически толкает в направлении высоких параметров пара, а с другой, — заставляет критически пересмотреть те грани температурного перепада, за которыми ни дальнейшее силовое, ни тепловое использование «отбросного» пара не является практически целесообразным. По этой линии мы наблюдаем как ряд интереснейших устремлений новейшей теплотехники. Но как ни остроумны идеи новых котлов-машин, выработанные современными конструкторами капиталистического Запада, как ни заманчивы идеи новых установок, использующие возможно более низкие параметры, температурных перепадов энергетического цикла, капиталистическая практика немедленно ставит весьма жесткие пределы для движения в этом направлении. Мы можем констатировать, что западноевропейская энергетическая техника уже давным давно доказала, что так называемая «отбросная» энергия много-различных паровых установок в своей сумме представляет огромный энергетический источник как бы спорящий уже со стихийно-мощными запасами разных видов природных ресурсов энергии. И тем не менее практически «воз стоит на месте». Американская теплофикация имеет по преимуществу характер только централизованных отопительных систем, теплофикация Германии, Франции и Англии как комбинированное производство тепловой и электрической энергий по существу ограничивается оазисными установками, т. е. установками с весьма и весьма ограниченным полем действия. Темпы развития нашей теплофикации в мировом опыте являются исключительно высокими. Быть может трудно подобрать более яркое свидетельство в пользу предвидений Маркса, Энгельса и Ленина, видевших в торжестве социалистического строя лучшее орудие для такого рационального подхода к использованию полезных трансформаций вещества и энергии, когда исчезают сами «отбросы» производства в итоге правильно подобранных хозяйственных комбинатов.

Мы можем вполне законно утверждать, что наша ставка на теплофикацию является одной из решающих ставок, играя несомненно историческую роль и в очередных этапах мировой электроэнергетики. Являясь, таким образом, основным рычагом социалистической реконструкции теплоэнергетики, наша теплофикация должна была самостоятельно пробивать свои пути, разрешая целый ряд сложнейших проблем и технико-экономического характера.

Первая пятилетка сыграла и в этом отношении решающую роль. Мощность тэц в 1928 г. составляла в нашей стране всего 55 000 kW. В 1933 г. она почти удваивается, составляя в итоге 508 000 kW, причем на долю районных тэц приходится около 200 000 kW.

В табл. 11 мы даем перечень крупнейших носителей победоносного знамени советской теплофикации.

Таблица 11

Основные тэц СССР

	Мощность в MW
I. Действующие тэц:	
Березниковская	83,2
Северодонецкая	73
Кузнецкая	60
Горьковские автозаводы	24
Казанская	20
Луганского паров. з-да	16
Харьковского тракт. з-да	15
Ивановская	14

I. Действующие тэц:

Ореховская	12,6
1-я Московская	12
2-я Ленинградская	12
Уралмаш	10
Сталинградск. тракторн. з-да	7
3-я Ленинградская	5

II. Накануне пуска

Теплотехническ. института (Москва) 19)	36
Саратовская (Саркомбаин)	12

III. Строятся

Сталинская (Москва)	50
Ярославская	50
Нижегородская	25
Краснозаводская (Харьков)	25
Криворожская	25
Липецкая	25
Закамская	25

IV. Расширяются

Кузнецкая	50
Тэц Теплотехнического института	24
Уралмашзавод	18
Сталинградского тракторного з-да	12

Третий и четвертый разделы этого перечня свидетельствуют, что строительная подготовка к выполнению громадного плана теплофикации во второй пятилетке находится уже в полном ходу.

V. Советское гидроэлектростроительство

Не менее яркие черты «от социалистического плана» носит и наше советское гидроэлектростроительство. Присматриваясь к этому звену электрификации на капиталистическом Западе, мы можем легко установить, почему его рост идет в капиталистической обстановке с заметным опозданием, и общие мировые темпы гидроэлектростроительства являются весьма умеренными.

Крупное гидроэлектростроительство следует прежде всего отнести к такому производственному разделу, в котором масштаб долгосрочных затрат, масштаб вложения основного капитала и исключительно высок. Самая возможность таких вложений может возникнуть лишь при соответствующем уровне концентрации и централизации капитала и лишь в обстановке, благоприятной для соответствующих капитальных эмиссий. Вот почему эра капиталистического гидроэлектростроительства является сравнительно недавней и совпадает с эрой гегемонии монополистического капитализма.

Наряду с этим необходимо учесть и сезонность этого вида электроэнергетики, причем сезонность,носящую обычно крайне неблагоприятный характер, ибо гидроресурсы в большинстве случаев оказываются как раз в минимуме в зимнее время, т. е. тогда, когда пиковые нагрузки требуют особо энергичного производства электроэнергии.

Комбинирование производств около мощного районного центра электроснабжения, взаимно полезная игра целого комплекса разнообразных термо- и гидроустановок, плановое регулирование нагрузок—все это резко изменяет экономические основы функционирования гидроэлектростанций (гэс), давая новый максимум их к. п. д. Однако этот максимум, как видим, должен являться последним словом техники современной электроэнергетики, острия которой нынешний упадочный капитализм имеет все основания опасаться в особой

мере. Это, конечно, не исключает возможностей грядущего прорыва фронта имеющихся здесь для капитализма затруднений, не исключает своих относительных подъемов, «благоприятных конъюнктур» для той или другой группы хищников-монополистов. Но гидроэлектростроительство может и должно найти свои развернутые формы лишь в условиях социалистического строя, лишь в условиях, когда летят в корзину истории не только элементарные расчеты «рентабельности» предприятий, взлелеянные целыми десятилетиями фалангой идеологов капиталистической экономики, не только нормы выравнивания прибылей в разных подразделениях капитала, но происходит и окончательная ревизия всех ценностей, идущих и от отношения человека к человеку, и от отношения человека к природе. И история нашего гидроэлектростроительства является здесь прекрасной иллюстрацией.

Довоенная Россия — страна наиболее хищнического и отсталого капитализма — не знала и не могла знать крупного гидроэлектростроительства. До Октябрьской революции в этой области известны у нас лишь некоторые грядущие попытки иностранного капитала, не успешные, однако, дорастающие до рабочих схем строительства. В плане ГОЭЛРО иностранным обозревателям особенно «протоестественными» казались наши ставки на Волхов, Свирь, Днепр и речные системы Кавказа, Урала и Средней Азии. Героическая эпопея всех этих строений, неразрывно связанная с именами наших вождей — Ленина и Сталина — еще раз демонстрировала справедливость старой истины, что смеется хорошо лишь тот, кто смеется последним. Перечень гидроэлектростанций, приводимый нами в табл. 12, свидетельствует, что наша первая пятилетка в значительной степени уже перекрывает ставки плана ГОЭЛРО.

Таблица 12

Гидростанции

I. На 1/1 1929 г.	
(Все станции в основном вошли в строй в период 1926 — 1928 гг.)	Мощность в MW
Волховская	58
Загэс 1 (Грузия)	12,8
Боз-Су (Узбекистан)	4,4
Эриванская (Армения)	4,6
Аламединская (Киргизия)	4,2
Мелкие	14,9
	<hr/>
	98,9
II. Ввод в течение 1929—1932 г.	
Днепровская	310,0
Дзорагэс (Армения)	7,5
Нижнезурнабаская (Азербайджан)	2,8
Кондопожская (Карелия)	4,5
Алазанская (Грузия)	4,5
Мелкие	8,4
	<hr/>
	337,7
III. Ввод в 1933 г.	
Дзорагэс	15
Днепрогэс	124,0
Свирская Нижняя	72
Кадыринская	13,2
Рионская	24
	<hr/>
	248,2
IV. В стройке	
Чирчикская № 1	1700
Пермская	310,0
Днепровская	124,0
Ярославская	100,0
Храм	60,0
Канакирская	88,0
Тертерская	68
Баксанская	25
Загэс II оч.	24,0
Свирская Нижняя	24,0

Гизельдонская	22
Аггэс	16,0
Ачалуки	17,0
Сухумская	10,0
Варзоб	18
Рионская II оч.	24,0
Горьковская	200,0
Нива II ступень	62,0
Чульбинская	28,0

1390

Еще в 1929 г. суммарная мощность наших действующих гидроэлектростанций была всего 100 MW. К концу 1932 г. она уже поднялась до 437,7 MW. В 1933 г. она доводится уже до 685 MW.

Волхов—Свирь—Днепр—эти строительства пользуются широкой известностью не только в пределах нашей страны, но и за ее рубежами, как исключительной силы показ и нашей строительной энергии и остроумного использования последнего слова техники. Но история Волхова—Свири и Днепра еще в далекой степени не закончена не только потому, что вслед за ними пошли очереди целой фаланги других потоков гидроэнергии нашей страны; не только потому, что в этой очереди уже становятся такие гиганты, как Волга и Ангара, но и больше всего потому, что особо поучительной становится и эксплуатация таких «прирученных» гидрогигантов—эксплуатация в условиях нашей социалистической стройки. Огромные преимущества в использовании таких вечных источников энергии, которыми являются эти гидроресурсы, их несравненные эксплуатационные удобства, в перспективе с особой легкостью завершающиеся полной автоматизацией, в полной мере могут найти свою оценку лишь в стране, где труд не является тяжкой повинностью, а является делом «чести, делом славы, делом доблести и героизма».

Нынешняя мобилизация наших сил около проблемы Большой Волги²⁰⁾ уже наглядно показывает новое лицо советской гидротехники. Правильное сооружение гидроэлектрических станций — важнейшая народнохозяйственная задача. Интересы энергетики, водного транспорта, сельского хозяйства в их теснейшей связи с важнейшими интересами всей нашей хозяйственной стройки—все это может подняться до уровня научного подхода лишь в условиях планового социалистического хозяйства. Лишь в таких условиях гидроэлектроцентрали могут вкрапываться в вечный поток гидроэнергии, как своего рода вечное сооружение, спорящее по своей устойчивости с самими этими потоками. Ясно, что счет амортизационных статей здесь приобретает совершенно иной характер, а электрическая энергия, получаемая от таких установок, имеет все тенденции быть наиболее дешевой сравнительно с другими видами (по своим источникам) электроэнергии.

Являясь одновременно своеобразным толчком к комбинированию производств, как это уже наглядно продемонстрировано опытом Днепровской станции, гидроэлектроцентрали в силу возможности исключительно массового производства электроэнергии, с необычайной прочной и элементарной, по сути дела, эксплуатационной базой, в силу своей исключительной территориальной устойчивости, являются специфическими агентами огромных энергосистем, одновременно черпая положительные ресурсы в этих энергосистемах для своего эффективного функционирования и придавая с своей стороны таким энергосистемам возможности их наиболее совершенного разворота. Само собою разумеется, что подобные перспективы несовместимы или, по крайней мере, не могут быть обеспечены в надлежащих тем-

²⁰⁾ См. «Большевик», 1933 г., № 22, Г. М. Кржижановский.

пах своего развития в таких условиях современного капиталистического строя, которые как раз не мирятся с прогрессом техники.

VI. Советская энергопромышленная база электрификации

Советские электростанции, сооруженные в первые годы первой пятилетки, вынуждены были базироваться в основном на импортном оборудовании. Это обстоятельство наложило свой непосредственный глубокий отпечаток на проектирование, строительство и эксплуатацию наших станций. Мощный разворот советского машиностроения, освоение производства сложнейшего энергооборудования—крупнейший итог пятилетки, крупнейшее достижение нашей энергетики. Импортное оборудование, поставщиками которого являлись разные фирмы различных стран, в значительной мере предопределяло чрезвычайную его разнотипность. Это усложняло проектирование строительства и эксплуатацию станций. Освоение союзными заводами производства всех элементов оборудования впервые дает возможность провести широкую стандартизацию. Положительный эффект такой стандартизации в самое ближайшее время скажется с особенной силой, так как благодаря этому удастся в значительной мере сократить срок проектирования, монтажа и пускового периода сооружаемых станций, а, следовательно, значительно снизить первоначальные затраты и стоимость эксплуатации наряду с повышением надежности работы. Не приходится доказывать, что свой максимальный разворот стандартизация может получить только в условиях планового социалистического хозяйства. Однако для того, чтобы стать в этом направлении на ноги, необходимо создание весьма мощной собственной энергомашиностроительной базы. И лишь опираясь на достижения первой пятилетки, мы вправе ныне требовать решительных сдвигов от теории к практике нашей стандартизации.

Трудно поэтому переоценить то растущее значение, которое на наших глазах приобретает разворот советского машиностроения и освоение им производства сложнейшего энергооборудования. В табл. 13 мы даем справку о росте советского производства основного энергооборудования за годы первой пятилетки.

Таблица 13

Рост советского производства основного энергооборудования

	1927/28 г.	1932 г.
Котлы	68 тыс. м ²	182,8 тыс. м ²
Паровые турбины . .	35,7 MW	684,0 MW
Гидротурбины . . .	12,0 "	75,2 "
Электродвигатели . .	93,0 "	1 040,9 "
Трансформаторы . .	403,2 "	3 426,0 "
Электромоторы . . .	309,8 "	1 935 "

Мы видим, что наше котлостроение за это время возросло почти в три раза, производство паровых турбин — почти в 20 раз, производство гидротурбин — более чем в 6 раз, как и производство электродвигателей. Не менее показательны и другие статьи этого перечня основной электроаппаратуры. Однако наиболее важным моментом являются не самые количественные сдвиги, а качественные ставки нашего энергомашиностроения. Уже всему миру известно, что при поставках крупнейших турбогенераторов на Днепр и Свирь мы конкурировали с основными мировыми фирмами. Сооружение таких мощных новейших станций, как Брянская, Дубровка, Бобрики и др., показывает, что уже впредь мы имеем все основания идти по преимуществу на советском оборудовании.

На табл. 14 мы даем динамику освоения советского энергооборудования на новых районных станциях первой пятилетки. Эта таблица не нуждается в комментариях. Цифры ее говорят сами за себя.

Динамика освоения советского энергооборудования на новых рЭС первой пятилетки

А. К о т л ы

Годы установки	Котлы советских заводов, установленные на рЭС первой пятилетки	
	Число	Поверхность нагрева в м ²
1927	1	788
1932	27	19 928

Б. Т у р б и н ы

Годы установки	Турбины советских заводов, установленные на рЭС первой пятилетки	
	Число	Суммарная мощность в тыс. kW
1927	0	0
1932	20	246

На такой производственной базе мы вправе требовать строгого осуществления стандартизации оборудования электростанций.

VII. Основные качественные показатели работы советских электроцентралей

Выше мы видели, что наша электроэнергетика занимает уже по своей абсолютной величине заметные позиции среди других стран мира. Мы уже в настоящее время составляем по балансу электрической энергии с такими странами, как Франция и Англия. Мы имеем все основания полагать, что за период второй пятилетки мы оставим все эти страны за собой и будем занимать уже второе место в мире. Крупнейшую роль здесь играет исключительный рост коэффициента использования наших электростанций.

Известно, что электростанции общественного пользования относятся к числу непрерывно действующих предприятий. Однако, если мы возьмем среднегодовую установленную мощность электростанций и исходя из нее пересчитаем весь годичный отпуск электроэнергии, то окажется, что в итоге мы получим лишь некоторую небольшую долю от тех 8 600 час., которыми мы можем кругло определить годичное рабочее время. Это — естественный результат неравномерной нагрузки электростанций, их пикового режима.

Не приходится доказывать, что полученный таким образом средний коэффициент использования электрической мощности электростанций является наиболее решающим показателем экономической эффективности их работы. По осторожным расчетам проф. Вейца средний коэффициент использования электрической мощности на всех станциях России в 1913 г. не превышал 1 920 час., а на наиболее крупных станциях составлял около 2 500 час. В 1925/26 г. средний коэффициент использования суммарной электрической мощности СССР составлял около 2 570 час., а на районных станциях—3 000 час. В 1931 г. коэффициент использования среднегодовой мощности районных станций уже достиг 3 920 час., а в 1933 г. — около 3 960 час., т. е. по сравнению с довоенным уровнем прирост составляет 1 450 час., а темп роста — 158%. Отдельные районные станции в СССР имели в 1932 г. средний годовой коэффициент использования в 5 000—5 500 час. и выше (Шатура, Классон, Волхов, Загес и др.).

Для Англии рекордный средний коэффициент использования электрической мощности за послевоенные годы — 1 900 час. В Германии этот коэффициент на станциях общего пользования лишь немногим превосходит 2 000 час. Рекордный коэффициент использования в САСШ приходится на 1929 г. и составляет всего 3 138 час.

Огромные успехи, достигнутые советской электрификацией на этом участке, неоспоримы. Они свидетельствуют о мощных потенциях нашего хозяйственного планового социалистического режима, в результате которого изменяется самый тип нагрузок на наших электростанциях, давая резкий сдвиг в сторону их более равномерного хода.

Нам еще до сих пор приходится читать в зарубежных обзорах нашей электроэнергетики злостные указания авторов этих обзоров на якобы холостой ход наших мощных станций, указания, всецело основанные на слишком скороспелых обобщениях обстоятельств пускового периода некоторых наших новостроек. Пусть такие «критики» вникнут в смысл вышеприведенных сравнительных данных нашего и зарубежного использования мощностей электростанций. Эти данные неоспоримо доказывают, что обстоятельства холостого хода присущи как раз наиболее старым передовикам капиталистической электроэнергетики.

В табл. 15 мы приводим данные по динамике снижения удельного расхода топлива на 1 произведенный kWh.

Таблица 15

Динамика удельного расхода условного топлива (в kg) на 1 произведенный kWh

Г о д ы	Основные рэс	Все рэс, входящие в систему Главэнерго	Среднее по станциям общего пользования САСШ
1913	1,06	1,06	—
1927	0,89	0,95	0,84
1929	0,76	0,84	0,76
1932	0,71	0,77	0,70

В 1913 г. удельный расход условного топлива на наших районных электростанциях составлял 1,06 kg к началу первой пятилетки, в 1927 г. он понизился до 0,89 kg, а в 1932 г. на наших основных рэс составлял всего 0,71 kg. Приведенное в этой же таблице сопоставление работы наших станций по этому признаку с работой станций в САСШ наглядно показывает, что мы идем в настоящее время уже на уровне средних данных по станциям общего пользования САСШ.

На табл. 16 мы имеем более детальную справку динамики удельного расхода топлива (в kg условного топлива на один произведенный районными электростанциями kWh).

Таблица 16

Динамика удельного расхода топлива (в kg) на произведенный рэс kWh

	1928 г.	1932 г.
Рэс на торфу	0,759	0,723
Рэс на антрацитовом штыбе	0,886	0,741
Рэс на подмосковном угле	1,06	0,660
Рэс на уральском угле	0,965	0,644
Рэс на донецком угле	1,118	0,686
Рэс на нефти	—	0,687
Рэс на смешанном топливе	0,865	0,828

Эта справка свидетельствует, что особенно интересные для нас статьи торфа и местных углей как раз дают максимальную термическую эффективность. В 1932 г. станции на торфу дают уже норму в 0,723 kg, на подмосковном угле — 0,660 kg, на уральском угле — 0,664 kg. Таким образом станции на этих углях оставили позади даже станции на донецком топливе, норма которого составляла 0,686 kg. Из этой же справки мы видим, что эффективность использования нашего торфа весьма близка к эффективности использования донецкого угля. А если вспомнить, что мы начали работу на торфяных

станциях с расходом 2 kg на 1 kWh, то нельзя не признать, что проблема сжигания местных топлив на электростанциях разрешена нами более чем удовлетворительно.

Не менее крупны достижения первой пятилетки и по другому важному качественному показателю работы электросистем — по потерям в сетях. В 1928 г. эти потери лишь немногим отличались от среднеевропейских потерь, составляя 13,7% от всей произведенной энергии. В 1932 г. эта норма уже снизилась до 9,7%.

Говоря о качественной стороне работы наших электростанций, мы, как видно из вышеизложенного, наши успехи по исключительному повышению коэффициента использования электростанций по преимуществу должны были отнести за счет объективных факторов, в первую очередь, за счет более высокого в социально-экономическом смысле характера нашей советской электроэнергетики. Однако наши успехи по остальным показателям, по борьбе за снижение удельных расходов топлива и в особенности в той ее части, которая относится к низкосортным топливам, а также по борьбе с потерями в сетях, следует в значительной мере отнести на долю субъективных факторов — на успешную борьбу наших электроэнергетических технических кадров.

VIII. Основные итоги электрификации народного хозяйства

Теперь уже не приходится доказывать, что наиболее совершенный тип хозяйства в условиях современной техники характеризуется прежде всего степенью электрификации. Располагая хозяйственные отрасли по коэффициентам их электрификации, т. е. по процентному участию электроэнергии во всех других видах механической энергии, мы получим надежнейшие показатели для того, чтобы судить о степени модернизации этих отраслей. Само собой разумеется, что этот коэффициент еще не исчерпывает всей роли электроэнергетики.

Электроэнергетика ведет свое наступление не только по линии силовой энергии. Производственную роль электроосвещения отнюдь нельзя, например, свести только к сопоставлению расходных статей на механическую энергию. С электрическим светом связан целый глубокий переворот во всей организационной структуре производственных процессов. Столь же многосторонни по своим последствиям и атаке электроэнергетики по ее непосредственным термическим приложениям ко все растущим и растущим отраслям электротехнологических процессов. И несмотря на все эти ограничения коэффициенты электрификации в расчете на элементарные расходы силовой энергии все же сохраняют свою яркую показательную роль, ибо они несомненно свидетельствуют об общем победоносном маршруте перехода от хозяйства, основанного на паре, к хозяйству, по преимуществу основанному на электроэнергии.

Для того чтобы оценить внедрение электроэнергетики в нашу хозяйственную структуру, для нашей цели достаточно остановиться на трех важнейших разделах нашего хозяйства: на индустрии, транспорте и сельском хозяйстве. При этом само собой разумеется, особо решающую роль играют показатели, характеризующие электрификацию индустрии как основного ведущего рычага всего нашего народного хозяйства.

Как раз в этом отношении итоги нашей первой пятилетки особо поучительны. Коэффициент электрификации рабочих машин в промышленности СССР (по энергии) в 1928 г. был равен 51,2%, в 1932 г. он уже поднялся до 67%, а в 1933 г. — до цифры порядка 68,7%. Это вполне корреспондирует огромному росту потребления электрической энергии нашей промышленностью: в 1928 г. — 3,4 млрд. kWh, в 1932 г. — 8,7 млрд. kWh, в 1933 г. около 10,4 млрд. kWh.

Основные электрифицируемые участки железных дорог
(по данным 1933 г.)

Название участка	Длина км	Состояние работ
Кизел-Чусовская	112	В эксплуатации.
Чусовская-Свердловск	390	Развернуто строительство: сдача в эксплуатацию в 1934/35 г.
Зестафони-Сталиниси	63	В эксплуатации.
Сталиниси-Тифлис	120	Пуск в середине 1934 г.
Долгинцево-Запорожье	188	Развернуто строительство: сдача в пробную эксплуатацию 1 очереди — Долгинцево-Никополь (91 км) в 1934 г., (остальной участок к концу 1934 г.)
Дебальцево-Зверев	115	Развернуто строительство; сдача в пробную эксплуатацию участка Дебальцево-Картушино 80 км к концу 1934 г.
Москва-Загорск	71	45 км (Москва-Софрино) в нормальной эксплуатации 26 км — Софрино-Загорск в пробном пуске.
Москва-Обираловка	24	Сдано в эксплуатацию.
Москва-Раменское	45	I очередь: Москва-Люберцы (21 км) пущена. II очередь — Люберцы-Раменское (24 км)—1934 г.
Ленинград-Ораниенбаум	40	Основные работы закончены. Участок Ленинград-Лигово — пущен. Участок Лигово-Ораниенбаум готов к пуску.
Минеральные воды Кисловодск	72	Развернуто строительство: сдача в эксплуатацию в 1935 г.
Москва-Савелово	135	Развернуты проектные работы.

На грани второй пятилетки ряд основных отраслей нашей промышленности электрифицировал свой производственный аппарат уже на 90—100%. Среди этих отраслей промышленности мы находим такие, как машиностроение, химическая промышленность, нефтяная, рудная, электротехническая, цветная металлургия, кожевенно-обувная и др. Не менее быстрым темпом идет потребление электрической энергии для технологических нужд (электротермия, электролиз). В 1925 году для таких целей всего было отпущено нашей промышленности 30 млн. kWh, в 1929 г. — уже 66 млн. kWh и в 1932 г. — уже 626 млн. kWh, т. е. увеличение за семилетний срок более чем в 20 раз. Однако главные сдвиги еще впереди, и ближайшие первые мощные толчки пойдут в этой области в связи с дальнейшим разворотом нашей гидроэнергетики.

Наши крупнейшие машиностроительные заводы уже сами по себе будут мощнейшими толчками электрификации индустрии, ибо самое их функционирование является ярким образцом эффективнейшей в этом направлении «пропаганды действием». Проходя по обширным цехам этих заводов, прекрасно освещенным и днем и ночью, со станками, работающими на индивидуальном приводе, причем многие из этих станков имеют многомоторный привод и нередко снабжены тончайшей электроавтоматической аппаратурой, наблюдая непосредственную связь самых разнообразных технологических процессов с мощным орудием электроэнергетики, непрерывно пользуясь производственными услугами электро-транспорта, — каждый из нас воочию убеждается, какими незаменимыми электрическими маяками являются эти гиганты на путях нашей социалистической индустриализации. А так как в семье наших фабрик и заводов и участках нашего производственного труда нет никаких частнохозяйственных перегородок, то быстрое подтягивание к наиболее высокому электрическому уровню отсталых отраслей нашей промышленности неизбежно. Именно отсюда, от этих маяков машиностроения пойдет и новый распорядок на наших рудниках и шахтах и на наших лесных площадях, кончая и здесь со всеми и всякими видами тягостного физического труда, идущего от нашего прошлого.

Теорию электрификации транспорта мы должны считать уже окончательно установленной. Нам уже неоднократно приходилось отмечать, что исследователи американского железнодорожного транспорта, этого наиболее мощного и жизнеспособного организма наиболее индустриально развитой страны, пришли к тому выводу, что дальнейшая рационализация железнодорожного транспорта в Америке может дать радикальный сдвиг лишь на путях электрификации. Тем не менее, до первой пятилетки мы оставались в этой области далеко позади даже по сравнению с теми наметками, которые были сделаны в плане ГОЭЛРО. Практически ощутимые сдвиги дала как раз лишь эта первая пятилетка. Эти сдвиги прежде всего демонстрируют рост потребления электрической энергии для нужд железнодорожного транспорта. В 1928 г. такой отпуск составлял всего 150 млн. kWh. К 1933 г. он уже выражается порядком 450 млн. kWh, т. е. пятилетка утроила расходы электроэнергии в этом направлении. Но еще более характерную картину сдвига дает сводка 17, характеризующая все наше электрифицируемое строительство железнодорожной сети на начало 1933 г.

Мы видим, что электрические участки сети, хотя и в небольших районах, но все же находят свое вкрапление в самых разнообразных районах этой сети. Притерриториальное движение и горные перевалы на ближайшее время естественно доминируют. Однако не подтежит сомнению, что огромный сдвиг налицо, и что таким путем мы уже практически подготавливаемся к неизбежной

электрификации транспорта на крупнейших железнодорожных магистралях.

Ставки плана ГОЭЛРО на всестороннюю электрификацию нашего сельского хозяйства широко известны. Однако в первой пятилетке мы на этом фронте имели победоносный марш трактора на сельскохозяйственной территории как очередное ведущее звено технической реконструкции сельского хозяйства. Это обстоятельство мы, правда, уже предвидели в плане ГОЭЛРО, но по тому времени еще нельзя было с точностью взвесить значение тех предпосылок, которые должны быть учтены для широкой электрификации сельского хозяйства. Эти предпосылки сводятся не только к необходимости предварительного создания своей собственной прочной металлургической базы, своего собственного машиностроения и электромашиностроения, предварительной глубокой электрификации самой промышленности, но больше всего и прежде всего — к необходимости предварительного подлинно революционного переворота в самой социальной структуре сельского хозяйства. Лишь переход от мелкого и мельчайшего крестьянского хозяйства к крупнейшим в мире формам хозяйства в виде наших совхозов и колхозов создает впервые прочную базу как для эффективного использования тракторной энергетики, так и для дальнейшей трансформации сельскохозяйственной энергетики в специальную отрасль электроэнергетики. Всем известно, каким гигантским плугом такого переворота явилась наша первая пятилетка. Ясно, что начало заметного движения по электрификации сельского хозяйства мы вправе были ожидать лишь на грани второй пятилетки. В 1928 г. все потребление электроэнергии на нужды сельского хозяйства определялось в 33,8 млн. kWh. В 1933 г. оно составляет около 130 млн. kWh.

В табл. 18 мы даем рост количества и мощности электроустановок в сельском хозяйстве.

Таблица 18

Год	Общее количество с.-х. электроустановок	Общая мощность в kW	Средняя мощность одной установки в kW
На 1/1 1918 г.	137	5 184	38
„ 1931 „	832	38 964	48
„ 1933 „	1135	65 851	58,5
„ 1934 „	1462	95 851	65,5

За три последние года (1931—1933) число электроустановок сельскохозяйственного значения увеличилось на 82 %, а общая мощность этих установок увеличилась на 145 %. Обращает на себя внимание факт продолжающегося укрупнения сельскохозяйственных электроустановок, благодаря чему средняя мощность одной установки с 38 kW в 1918 г. выросла к настоящему времени до 65,5 kW, т. е. на 70 %; за последние только три года эта средняя мощность выросла на 35 %.

По своему типу и удельному весу в общей мощности сельскохозяйственные электроустановки разбиваются следующим образом:

Таблица 19

На 1 января 1934 г.

Тип станций	Количество	Мощность в kW	Удельный вес в %
Подстанции	294	31 546	33
Гидростанции	217	10 755	11
Паровые (локомобили) . . .	163	9358	10
Внутреннего сгорания . . .	752	42 987	44,7
Газогенераторные	36	1 205	1,3
Всего:	1 462	95 851	100

Отсюда ясно, что почти половина всех станций сельскохозяйственного пользования обслуживаются двигателями внутреннего сгорания и в качестве топлива потребляют нефть и ее продукты.

Роль гидростанций пока еще очень недостаточна, и особенно мало газогенераторных установок, работающих на различного рода отбросах сельскохозяйственного производства. С каждым годом растет количество подстанций, связывающих сельскохозяйственных потребителей непосредственно с крупными районными или местного значения электростанциями. Если в 1918 г. не было ни одной подстанции сельскохозяйственного значения, то на 1/1 1934 г. их насчитывается уже 294. Только за последние три года с 1931 г. их число выросло в 15 раз, и они в настоящее время по суммарной мощности составляют 1/3 от всей мощности сельскохозяйственных электроустановок. Это еще только весьма скромное начало, но уже это начало показывает тенденции дальнейшего движения: лишь в опоре на крупные и крупнейшие станции наша сельскохозяйственная электрификация может получить приличествующий ей революционный размах.

В табл. 20, дающей распределение вновь установленных в сельском хозяйстве электромоторов за 1932 г. по Московской области,

Распределение вновь установленных в сельском хозяйстве моторов за 1932 г. по Московской области¹⁾

Наименование производственных процессов	Количество установленных моторов	Мощность kW
Молотьба, резка силоса	49	652
Ремонтные и слесарные мастерские . . .	93	207
Кипятильники	19	190
Кормоприготовление	22	116
Водоснабжение	10	45
Вентиляция	40	19
Откачка навозной жижи	2	18
Корчевка пней	1	15
Электродойка	2	6
Прочие	35	19
Всего	273	1 287

Таблица 21

Электрооборудование Лиманской МТС (Северокавказский край)²⁾

Виды работ	Количество моторов	Мощность в л. с.
Электромолотьба	6	105
Орошение огородов	3	50
Мельница	2	36
Маслобойки	1	7,5
Триеры	4	4
Веялки	2	1,5
Сортировки	2	1
Кукурузодавилки	5	26,5
Силосорезки	4	37,5
Соргодавилки	1	7,5
Ремонтные мастерские и пр.	5	7,75
Всего	35	284,25

сковской области, и в табл. 21, характеризующей электрооборудование Лиманской МТС, мы находим наглядную характеристику тех видов работы в области сельского хозяйства, по которым начинает свое развертывание сельскохозяйственная электроэнергетика.

Анализируя эти виды работы, нетрудно убедиться, что тракторы удерживают за собою полную гегемонию в почвенной обработке. Однако поразительный рост электромоторных установок в уборочных кампаниях (см. табл. 22) наглядно показывает, что наступление в полном ходу.

1) „Электричество“ № 16, 1933 г.

2) Там же.

Электромоторные установки в уборочных кампаниях³⁾

	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1932 г. % к 1930 г.
Число пунктов	106	175	374	352,8
Количество агрегатов	169	268	551 ³⁾	328,0
Из них передвижных	10	26	110	1100,0
Установленная мощность в л.с.	1 750	2 500	5 710	321,1

Как и следовало ожидать — это мы предвидели еще в плане ГОЭЛРО, — особенно эффективной уже на первых порах скажется молотья. По справкам сектора электрификации Госплана СССР в 1933 г. по СССР работало уже 1 230 электромолотильных пунктов (против 374 в 1932 г.), которые охватили 437 тыс. га площади обмолота зерновых хлебов. Это дало следующий экономический эффект: освобождено для других работ 875 тракторов или 95 000 тракторо-дней; 3 300 лошадей или 94 тыс. коне-дней; 2 900 чел. или 82 тыс. человеко-дней и сэкономлено 2 160 т светлых нефтепродуктов.

Помимо этого электромолотья сократила на 50% потери зерна по сравнению с тракторным обмолотом, ускорила на 30—40% сроки обмолота и удешевила на 50% стоимость обмолота одной тонны зерна (до 1,5—2,5 руб. против 3—5 руб. при тракторном приводе).

Тем не менее все это движение — лишь предистория нашей сельскохозяйственной электрификации. Ее большие линии развития связаны несомненно с ирригацией, с обработкой почвы и с дальнейшей индустриализацией самого сельского хозяйства. Почти не приходится сомневаться в том, что наиболее удачное разрешение проблем ирригации неотрывно связано с успехами электро-дождевания. А раз только на тех огромных массивах, которые запроектированы, например, для Заволжской ирригации, появится электроаппаратура для распылителей водных струй на далекое расстояние, победа электропуга будет обеспечена.

Сельскохозяйственная индустриализация находится в свою очередь в теснейшей связи с наиболее интенсивными сельскохозяйственными культурами. И подобно тому, как в тяжелой индустрии мы все ближе и ближе перемещаем дело обработки к сырьевым базам, подобно этому и вся огромная область текстиля и пищевой индустрии подвергнется новому расселению по стране, с нею вместе начнут расти вышки таких электроаграрных комбинатов, которые помогут необычайно широкой популяризации электрического привода для самых разнообразных сельскохозяйственных нужд.

Мы до сих пор не можем еще похвастаться особыми успехами электрификации нашего коммунального хозяйства и быта. Правда, наша первая пятилетка дает в этом отношении уже довольно значительный сдвиг. В 1928 г. потребление электрической энергии для этих надобностей исчислялось в 933 млн. kWh. В 1933 г. оно уже возросло до 2 900 млн. kWh. Но на гранях второй пятилетки мы уже яснее, чем когда-либо, видим новое лицо нашего города и нашего села. Рост зажиточности и культурности на первых порах приведет к резкому увеличению всего спроса на электрическую энергию.

Уже недалеки те дни, когда наши колхозники предъявят нам огромный спрос и на самые разнообразные термические аппараты, которые столь обычны в амери-

канском быту и которые служат таким мощным орудием освобождения женского труда от его самых тягостных функций. Достаточно подчеркнуть это обстоятельство, чтобы видеть, в каких больших резервах нуждаются все наши проектировки, намечающие наше движение к возможному ближайшему уровню сельскохозяйственной электрификации.

IX. Электроэнергетика во второй пятилетке

В только что опубликованных к предстоящему XVII партийному съезду тезисах по второй пятилетке основные ставки по электрификации определяются двумя положениями. Первое из них гласит следующим образом:

«Создать новую энергетическую базу для завершения реконструкции всех отраслей народного хозяйства и образовать во всех энергетических узлах резервы мощностей, обеспечивающие бесперебойное электроснабжение народного хозяйства. Завершить в основном электрификацию промышленности широчайшим использованием новейших электромеханических методов производства во всех отраслях промышленности, особенно в металлургии и химии (рост потребления энергии электромеханическими производствами более чем в 9 раз), широким развитием электрификации транспорта и постепенным внедрением электроэнергии в производственные процессы сельского хозяйства. Шире развернуть теплофикацию промышленности и крупных городов. Продолжать линию на более широкое использование для электроснабжения местных видов топлива и особенно гидроэнергетических ресурсов. Завершить во второй пятилетке кольцевание районных станций в пределах районов и начать межрайонное кольцевание станций с созданием уже во втором пятилетии крупнейшей в мире системы электроснабжения (Донбасс-Приднепровье с выработкой 9 млрд. kWh в год)».

Достаточно привести эту справку и вспомнить основные выводы из итогов нашего движения в области электрификации за первую пятилетку, чтобы видеть, насколько мы были правы, когда мы утверждали, что наиболее существенные линии второй пятилетки являются совершенно закономерным продолжением строительных линий первой пятилетки. Соответственно этим грандиозным ставкам второй пятилетки вторым положением тезисов намечен и соответствующий строительный план. Это второе положение гласит:

«Строительство 79 районных станций, в числе которых завершение строительства Зуевской станции в 250 тыс. kW, Горьковского в 204 тыс. kW, Шатуры в 180 тыс. kW, Дубровки в 100 тыс. kW, гидростанции Свири № 3 в 96 тыс. kW, окончание Днепротэса на мощность 558 тыс. kW, сооружение ряда новых крупных централей — Бобриковской 250 тыс. kW, Кемеровской — 148 тыс. kW, новых мощных станций в Донбассе, гидростанции Чирчикской № 1 в 170 тыс. kW, Канакирской — 88 тыс. kW, на реке Храме — в 60 тыс. kW, Свири № 2 в 144 тыс. kW, Туломы и др. и развертывание строительства станций Средневологостроя — Ярославской в 100 тыс. kW, Пермской в 310 тыс. kW и Горьковской в 200 тыс. kW, сооружение ряда крупных теплоцентралей для теплофикации городов — Московско-Нарвской в Ленинграде, Сталинской и Фрунзенской в Москве, Сормово-Канавинской, Краснозаводской в Харькове и др., ряда крупнейших фабрично-заводских станций районного значения — Магнитогорская — 198 тыс. kW, Кузнецкая — 108 тыс. kW и др.».

³⁾ В 1933 г. число агрегатов возросло до 1 283.

Выполнение такой строительной программы ставит электроэнергетику СССР на более высокий уровень, чем все страны Европы, и отводит ей в мировом списке место непосредственно после САСШ. В том же самом проекте пятилетнего плана, сообразно вышеприведенным директивам, мы находим ряд показателей, по которым электроэнергетика СССР по своим качественным признакам будет уже выше электроэнергетики САСШ. Уровень электрификации промышленности в конце второй пятилетки будет около 90% впереди всех стран мира. Советская химия и советская металлургия потребуют уже около 1/4 всего электробаланса промышленности 1937 г. на технологию. Намечается утроение протяженности высоковольтных сетей. По удельному весу протяженности сетей в 110 kV и выше СССР выйдет на первое место в мире (СССР — около 56% сетей с напряжением, большим 11 kV, САСШ — 10%, Германия — 2%) Намечен десятикратный рост потребления электрической энергии на сельское хозяйство. По протяженности электрифицируемых железнодорожных линий СССР также побьет американский рекорд. Размах теплофикации СССР не будет иметь себе соперника. Теплоэлектроцентрали и гидроэлектроцентрали уже явятся центральными фигурами наших электроэнергетических систем.

Сами эти электроэнергетические системы, а следовательно, и наиболее мощное и наиболее рациональное комбинирование производства и регулирование самых разнообразных народнохозяйственных электронагрузок на диспетчерском столе таких электросистем найдут свой переход с высоты теории в гущу наиболее действенной практики лишь в условиях СССР.

Такие перспективы, как это мы слышим уже в настоящее время от зарубежных наблюдателей, действительно необозримо по своим социально-экономическим последствиям, действительно могут «потрясти воображение». Только в свете таких перспектив наше правительство и партия могут с законной гордостью утверждать, что вторая пятилетка является пятилеткой построения бесклассового общества, пятилеткой завершения технической реконструкции, реализующей в подлинном смысле новый этап всемирно исторического значения как в отношении человека к природе, так и в отношении человека к человеку. В свете этих перспектив мы с особой ясностью видим, как велико то наследство, которое нам завещено т. Лениным, и как много сделано для упрочения этого наследства его лучшим учеником т. Сталиным.

11/1—34 г.

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ

ОТ РЕДАКЦИИ. Идя навстречу оробному интересу, проявленному со стороны электротехников к вопросам электрофизики и в частности к дискуссии, развернувшейся на страницах журнала, редакция, помещая статьи ак. Миткевич и проф. Гогоберидзе, продолжающие эту дискуссию, в ближайших номерах журнала представит место статьям и других авторов на эту тему.

О „физическом“ действии на расстоянии¹⁾

(Должено в общем собрании Академии наук СССР 4 октября 1933 г.)

Акад. В. Ф. Миткевич

Ленинград

1. История науки изобилует примерами преходящих стадий в понимании явлений окружающего нас мира. Непрерывно в процессе накопления новых фактов и длительной работы научной мысли наши представления подвергались метаморфозе, последовательно освобождаясь от всего, не выдерживающего строгой критики и постепенно рафинируясь в смысле возможно большего приближения к соответствию с тем, что происходит в действительности. Так, птоломеева система мира уступила место системе гелиоцентрической. Учение древних философов о четырех основных началах — стихиях: воздухе, воде, земле и огне — прошло путь долгой эволюции. В связи с этим можно, между прочим, помянуть многочисленные, упорные искания алхимиков, приведшие к накоплению ряда новых конкретных данных о веществе, и мучительные блуждания человеческой мысли, стремившейся постигнуть энергетическую сторону явлений природы и делавшей на этом пути немало ложных шагов вроде, например, увлечения теорией Флогистана. Наконец, благодаря развитию химии и физики древнее кажущееся теперь наивным учение о четырех основных началах трансформировалось в наши современные знания о строении вещества и его превращениях, связанных с энергетическими процессами

вообще и тепловыми в частности. Представление об атоме как о последней неделимой частице вещества благодаря ряду великих открытий, имевших место в самое последнее время, заменилось картиной целого микрокосмоса, сложное строение и законы которого теперь так напряженно изучаются во всем мире. Физическая реальность, называемая электрическим зарядом, понимается в наши дни несколько иначе, чем 100 лет назад. Даже за последние 10 лет произошли несомненные сдвиги в этом отношении. Магнитная масса, считавшаяся некогда подлинной физической реальностью, в настоящее время рассматривается лишь как некоторая фикция, имеющая чисто вспомогательный характер при математическом изучении свойств магнитного поля.

Во всяком случае несомненно, что и наши современные физические представления в ближайшем будущем претерпят некоторые изменения как в отношении формы, так и в отношении содержания, асимптотически приближаясь к пределу, по вопросу о достижимости которого могут быть разные мнения.

2. В своей речи «Основные воззрения современной физики», читанной в годовом собрании Академии наук СССР 2 февраля 1933 г.²⁾, я коснулся господствующего

¹⁾ Одновременно печатается в „Известиях Академии наук СССР“ и в „Известиях Академии наук СССР“

²⁾ См. отчет Академии наук СССР за 1932 г. и сборник „Карлу Марксу — Академия наук СССР“

В настоящее время представления о действии на расстоянии, рассматриваемом в качестве первичного физического явления и в этом смысле названном мной «физическим» действием на расстоянии.

Я утверждаю, что это представление не соответствует природе вещей, не выдерживает строгой критики и потому является переходящей стадией в наших общих физических воззрениях. Имея характер математической абстракции, ценной лишь в области формальной трактовки физических процессов, представление о действии на расстоянии не может служить базой при рассмотрении существа явлений, происходящих в реальной обстановке.

Два мотива руководили мною, когда я счел необходимым еще раз выступить по данному поводу и сделать некоторые дополнения к тому, что было уже сказано в моей речи.

Первый—основной мотив—заключается в том, что признание возможности «физического» действия на расстоянии приводит к целому ряду весьма существенных выводов, с которыми по моему мнению никак нельзя примириться. В своей речи я уже отметил некоторые явные недоразумения, возникающие на почве отрицания фарадее-максвелловского представления о непрерывном участии среды во всех физических взаимодействиях. Между прочим, я указал, в виде примера, что современная электронная теория, четко отмежевывающаяся от основной фарадее-максвелловской установки, оказывается вследствие этого бессильно объяснить самый простой и принципиально самый важный случай электрического тока, именно случай тока в сверхпроводящей цепи. Так или иначе, но наши основные физические воззрения должны быть достаточно тщательно проанализированы в отношении их вероятного приближения к сущности явлений природы. Блуждание физической мысли в принципиальном вопросе, касающемся общей обстановки всякого взаимодействия, совершенно не соответствует задачам науки.

Второй мотив настоящего моего выступления состоит в следующем:

Работая в области физических основ электротехники, являющейся не чем иным, как одним из отделов прикладной физики, я особенно остро ощущаю разрыв между принципиальными установками современной физики и теми физическими представлениями, которыми оперирует электротехника. Я имею в виду, главным образом, созданное трудами Фарадея и Максвелла учение о магнитном потоке и его физических свойствах. С точки зрения современной физики, культивирующей представление о действии на расстоянии, магнитный поток есть чистая фикция, между тем как внимательное рассмотрение процессов, с которыми имеет дело электромеханика, убеждает нас в справедливости общих фарадее-максвелловских взглядов и заставляет нас трактовать магнитный поток в качестве объективной реальности. Я полагаю, что подобное разногласие между практикой и теорией должно быть подвергнуто критическому рассмотрению и изжито. По существу, его не должно быть. Устранение его не только может быть полезно как для практики, так и для теории, но безусловно необходимо.

3. Было бы в высокой степени ошибочно усматривать в качестве мотива борьбы в защиту фарадее-максвелловской принципиальной установки и против точки зрения «физического» действия на расстоянии какое-либо стремление вернуть науку вспять к эпохе Фарадея.

Когда мы идем в направлении некоторой определенной цели и при этом вместо того, чтобы продвигаться по открывающемуся перед нами кратчайшему пути, как-либо сбиваемся с данного правильного пути и попадаем на извилистые окольные дороги, есть полное основание обратить на это внимание, хотя бы даже

окольные дороги и позволяли нам, несмотря на ряд встречающихся тупиков, в общем приближаться к цели, рационально как можно скорее выбраться на правильный путь. Для этого, вообще говоря, нет никакой надобности обязательно возвращаться вспять к исходной точке. Достаточно только постараться возможно более прямым рейсом перейти на правильный путь. В таком случае мы сохраним полностью все преимущества достигнутого уже приближения к цели и более уверенно пойдем дальше вперед.

Точно так же дело обстоит и в отношении пропагандируемого мною возвращения на путь, указываемый нам основными установками Фарадея и Максвелла. Для этого вовсе не требуется забыть все, что дала физическая наука за последние десятилетия, и вернуться к какой-либо стадии наших знаний, соответствующей пережитым уже эпохам. Мы можем и по моему мнению должны, сохраняя все преимущества современного приближения к конечной цели—возможно большему познанию природы—осветить научные достижения наших дней с точки зрения Фарадея и Максвелла. Это даст только новую пищу физической мысли, откроет новые горизонты и позволит еще более быстрым темпом и более уверенно двигаться дальше в направлении стоящей перед нами цели.

4. Я стремился в своей речи возможно отчетливее вскрыть физическую непримиримость точек зрения фарадее-максвелловской и действия на расстоянии. С этой целью и сформулировал вопрос, который в наиболее общем виде сводится к следующему.

Представим себе две взаимодействующие системы A и B (рис. 1), расположенные на каком угодно расстоянии одна от другой (сколь угодно малом или сколь угодно большом). Это могут быть две материальные массы, тяготеющие одна к другой, два электрические заряда, два магнита или электромагнита, две какие-либо электрические цепи, по которым протекают токи, и т. п. Допустим, далее, что система A окружена со всех сторон двумя замкнутыми поверхностями S_1 и S_2 , нигде не касающимися между собой и не пересекающимися. Спрашивается: могут ли системы A и B взаимодействовать одна с другой так, чтобы при этом в слое, ограниченном поверхностями S_1 и S_2 , не происходило какого бы то ни было физического процесса?

5. Я полагаю, что всякий исследователь, стемаящийся вникнуть в сущность физических явлений, и может и должен дать на этот вопрос вполне определенный ответ: «да» или «нет». Совершенно невозможно допустить мыслимость некоторого третьего ответа. Не может быть также и речи о каком-либо синтезе этих принципиально противоположных и исключающих друг друга ответов «да» и «нет», так как нельзя представить себе построение такой физической теории, согласной которой в слое между поверхностями S_1 и S_2 в одно и то же время и происходил бы некоторый физический процесс, и решительно ничего не происходило бы. Опыт, к сожалению, показывает, что обычно довольно затруднительно получить со стороны лиц, привыкших к современным физическим представлениям, определенный ответ на поставленный мною вопрос. Чрезвычайно редко можно услышать ответ «нет». В огромном большинстве случаев никакого определенного ответа не дается, а вместо этого иногда делаются попытки возражать против правильности и законности постановки сформулированного мною вопроса. Однако возражения этого рода нетрудно опровергнуть.

Действительно, как бы мы ни смотрели на сущность происходящих в периоде процессов, все мы принимаем за нечто безусловно достоверное тот факт, что системы A и B могут как-то физически взаимодействовать.

Нельзя, далее, представить себе какие-либо доводы против утверждения, что в слое, ограниченном поверхностями S_1 и S_2 (рис. 1), либо может, вообще говоря, происходить какой бы то ни было физический процесс, либо он может совершенно отсутствовать. Что-либо третье, кроме этих двух возможностей, немислимо, как я уже указывал выше. В связи с этим мы имеем полное право сопоставлять факт взаимодействия системы A и B с вероятностью наличия или с вероятностью отсутствия какого бы то ни было физического процесса в слое между поверхностями S_1 и S_2 и иметь по этому поводу суждение. Таким образом сформулированный мною вопрос, побуждающий нас взвесить вероятность того или другого, необходимо признать вполне допустимым, правильным и законным.

Речь могла бы идти только о том, что желательно изыскать пример, более выпукло иллюстрирующий антагонизм между двумя рассматриваемыми принципиальными точками зрения, чем это сделал я. *Feci quod potui, faciant meliora potentes*. Если это кому-либо удастся могут только приветствовать.

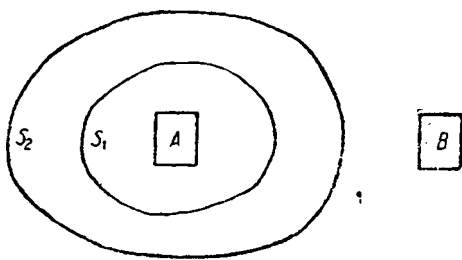


Рис. 1

6. С фарадее-максвелловской точки зрения, которая представляется мне единственно приемлемой, на сформулированный мною вопрос необходимо ответить: «нет».

Ответ «да» логически вытекает из точки зрения действия на расстоянии, которой придерживается физика наших дней.

Всякое отклонение от прямого ответа на поставленный мною вопрос, всякие оговорки или имеющие характер таковых оговорок рассуждений клонятся обычно к оправданию ответа «да».

7. Обращаясь к внутреннему содержанию ответов «нет» и «да» на мой вопрос, необходимо прежде всего иметь в виду, что свойства, обнаруживаемые в каком бы то ни было физическом явлении, мыслимы только в непосредственной связи с каким-то носителем этих свойств, т. е. в связи с некоторой объективной реальностью, которую можно назвать физической реальностью. Далее, всякая физическая реальность или сколь угодно малая часть ее обязательно занимает соответствующий ей объем нашего трехмерного пространства³⁾. Наконец, мы никак не можем представить себе пространственной разобщенности самой физической реальности и ее характерных свойств. Нельзя допустить, чтобы физическая реальность была расположена в одном месте, а ее свойства сами по себе, в оторванном виде, локализовались где-либо в другом месте. И то, и другое мы должны мыслить объединенным в одном и том же объеме.

Рассмотрим теперь систему A , наличие которой обусловливает возникновение некоторого физического действия на другую систему B , расположенную, вообще говоря, где-угодно, на каком-угодно расстоянии от системы A . Конкретно мы можем мыслить, например, о двух электрических зарядах. При отсутствии заряда A

заряд B данного физического действия не испытывает. В связи с этим мы можем утверждать, что в каждой точке пространства вокруг электрического заряда A обнаруживаются какие-то физические свойства, именно способность действовать на заряд B .

По поводу рассматриваемых свойств могут быть сделаны два предположения:

Предположение первое. Эти характерные свойства возникают в некотором отдельном участке пространства только вследствие появления там заряда B .

Предположение второе. Эти свойства, определяемые наличием заряда A , как-то были уже распределены во всем окружающем заряд A пространстве совершенно независимо от появления заряда B , роль которого в таком случае сводится лишь к обнаружению данных свойств.

Первое предположение представляется в высокой степени неправдоподобным и противоречащим всей совокупности того, что мы знаем о силовом поле. В этом отношении можно, например, указать на следующее. В любой точке пространства, окружающего заряд A , свойство воздействовать на заряд B возникает лишь через некоторый промежуток времени, считая от момента появления заряда A , т. е. с каким-то запозданием. Однако в случае предварительного установления силового поля заряда A данное свойство поля мгновенно обнаруживается при внесении в него заряда B . На основании этого мы заключаем, что рассматриваемое свойство было приобретено всеми участками пространства, занятого силовым полем, благодаря какому-то подготовительному процессу еще до внесения заряда B .

Остается, следовательно, только второе предположение, а именно, что специфические свойства пространства, как-то закономерно ориентированные около центра, в котором расположен заряд A , имеют место независимо от наличия заряда B . Достоинно особого внимания то обстоятельство, что даже современная математическая теория силового поля, по существу, базируется на этом последнем предположении.

Принимая во внимание сказанное раньше о непосредственной связи свойств с их носителем, необходимо признать, что те или иные характерные свойства данного силового поля присущи какому-то реальному носителю этих свойств, т. е. физической реальности, или, выражаясь обычным языком, некоторой среде, находящейся в пространстве именно там, где обнаруживается силовое поле, т. е. везде, где есть это поле.

Таким образом мы имеем логические обоснования принципиально фарадее-максвелловской установки, согласно которой все физические взаимодействия совершаются не иначе, как при неприменном участии среды, окружающей взаимодействующие центры. Отсюда же, совершенно естественно, вытекает и ответ «нет» на сформулированный мною вопрос.

Считаю долгом указать, что весь ход мыслей, изложенных выше, целиком позаимствован мною у Фарадея и, по существу, почти ничего нового я не добавил⁴⁾.

8. Противоположная точка зрения, признающая возможность «физического» действия на расстоянии и в связи с этим приводящая к ответу «да» на мой вопрос, отвергает все вышеприведенные обоснования фарадее-максвелловской установки и допускает реальное существование абсолютно пустого пространства, решительно ничем не заполненного. Последнее допущение является главным моментом во всех рассуждениях с точки зрения действия на расстоянии, тогда как идея о пространстве абсолютно пустом, самом по себе, без заполняющей его какой-либо материи, в самом широком

³⁾ См. упомянутую выше речь «Основные воззрения современной физики».

⁴⁾ См., например, Faraday, *Experimental Researches in Electricity*, Vol. III, pp. 571—572.

После этого слова есть лишь один из примеров математической абстракции и не имеет по моему мнению прямого отношения к реальному миру физических явлений. Об этом я уже говорил в своей речи. Итак, первый основной упрек по адресу точки зрения действия на расстоянии состоит в том, что она вводит в круг физического мышления чистую фикцию — абсолютно пустое пространство.

Допустим, однако, на время, что абсолютно пустое пространство может реально существовать и что оно разделяет две взаимодействующие системы A и B (рис. 1), занимая весь объем слоя между поверхностями S_1 и S_2 . Ясно, что в таком случае данный слой не содержит в себе никакой физической реальности, и поэтому мы должны считать его совершенно непроницаемым для какого бы то ни было физического процесса, способного осуществлять связь между взаимодействующими системами A и B в пределах нашего трехмерного пространства. Иными словами, при данных условиях мы не можем мыслить какой-либо проходящей через этот слой линии физической связи между системами A и B . Если системы все же взаимодействуют, т. е. если между ними все-таки существует некоторая связь, то, очевидно, что она должна осуществляться как-то помимо замкнутого слоя, ограниченного поверхностями S_1 и S_2 . Но это значит, что линия связи между A и B выходит из пределов трехмерного пространства и пролегает где-то в пространстве с большим, чем три, числом измерений, например, в четырехмерном пространстве.

Для пояснения сказанного я воспользуюсь аналогией, прибегнув к пространствам с пониженным числом измерений. Рассмотрим какое-нибудь двухмерное пространство, скажем, поверхность PQ (рис. 2). Пусть точки A и B символизируют наши взаимодействующие системы. Окружим, далее, точку A двумя замкнутыми кривыми L_1 и L_2 , лежащими на поверхности PQ , нигде не касающимися одна другой и не пересекающимися. В таком случае всякая линия геометрической связи между точками A и B , лежащая в пределах двухмерного пространства PQ , обязательно должна пройти через зону, ограниченную линиями L_1 и L_2 . Но если эта зона запрещена для геометрической связи между точками A и B , то искомая связь может быть осуществлена только помимо запрещенной зоны, а именно при помощи какой-либо линии x , соединяющей точки A и B вне рассматриваемого двухмерного пространства PQ , т. е. через трехмерное пространство, как это показано на рис. 2 пунктирной линией.

Совершенно аналогичным образом и в случае взаимодействия систем A и B (рис. 1), если слой между поверхностями S_1 и S_2 запрещен для какой-либо физической связи данных систем, а эту физическую связь мы всегда ассоциируем с линией геометрической связи между ними, то эту последнюю мы вынуждены искать за пределами нашего трехмерного пространства, именно в четырехмерном пространстве.

Защитники точки зрения действия на расстоянии могут, конечно, мне указать, что связь физического взаимодействия систем A и B не нужно обязательно ассоциировать с какой-либо линией геометрической связи между ними и что вовсе не нужно так примитивно рассуждать. На это я возражу следующим образом.

Какая бы то ни было связь между системами A и B не может иметь места в условиях абсолютной изолированности этих систем. Благодаря наличию запрещенного слоя между поверхностями S_1 и S_2 , который совершенно разделяет наше трехмерное пространство на две разобщенные части, системы A и B оказываются принадлежащими к двум абсолютно изолированным одна от другой областям трехмерного пространства. Для того чтобы эти системы все же могли быть связаны взаимодействием, они так или иначе должны быть объединены в одной и той же пространственной непрерывности

Формально можно допустить, что две отдельные трехмерные пространственные непрерывности охватываются одной общей четырехмерной пространственной непрерывностью, т. е. четырехмерным пространством. Это именно и констатируется возможностью построения линии геометрической связи между системами A и B сквозь незапрещенное четырехмерное пространство.

9. До настоящего времени физика не занималась явлениями, происходящими в четырехмерном пространстве, вне нашего трехмерного пространства. Все это увело бы нас в совершенно чуждую область. Герц, за которым нельзя не признать глубокого проникновения в сущность явлений природы, в своей гейдельбергской речи на тему «о соотношениях между светом и электричеством», касаясь попыток физического объяснения

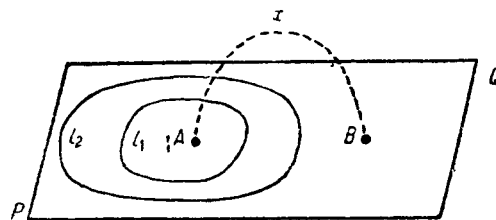


Рис. 2

электрических явлений при помощи действия на расстоянии, указал, что таким путем мы привносим в науку элементы чего-то, имеющего спиритический характер.

Действительно, как известно, многие теоретики спиритизма и между ними некоторые выдающиеся ученые, привыкшие верить в существование спиритических явлений и пытавшиеся научно обосновать свое отношение к ним, обычно базировали свои суждения именно на допущении физической связи между явлениями, протекающими в нашем трехмерном пространстве и в охватывающем его четырехмерном пространстве. Однако самая реальность спиритических явлений представляется более чем сомнительной. Об этом, между прочим, с полной достоверностью свидетельствуют результаты работ ряда специальных комиссий Лондонского общества для психических исследований, а также многочисленные труды одного из наиболее деятельных и объективных членов этого общества Франка Подмора. Совершенно несомненно, что спиритические явления вполне объясняются сознательным, а иногда даже подсознательным введением участников сеансов в заблуждение, и все это обычно в высокой степени осложняется наличием массового гипноза или самогипноза. Одним словом, четырехмерное пространство тут совсем ни при чем. Дело обстоит гораздо проще, и нет решительно никаких оснований привлекать к ответственности четырехмерное пространство. Тем меньше оснований прибегать к четырехмерному пространству в случае рассмотрения вопроса о природе физических явлений.

10. Сказанное выше несколько не противоречит закономерности и целесообразности использования идеи о многомерных пространствах в процессе математических операций, к которым иногда весьма полезно и даже необходимо прибегать в некоторых специальных отделах современной теоретической физики. В области высшего анализа не может быть никаких ограничений для формально правильного развития математических представлений. Но в области нашего физического мышления, в особенности при рассмотрении вопроса о вероятной природе физических явлений, несомненно, приходится считаться с некоторыми ограничениями, вытекающими из наших общих принципиальных уста-

вок, и не выходить за пределы нашей нормальной пространственно-временной непрерывности, в которой эти явления имеют место.

11. Некоторые защитники точки зрения «физического» действия на расстоянии утверждают, что возражения против этого воззрения проистекают, главным образом, вследствие неспособности отдельных лиц, занимающихся вопросами физики, несколько подняться выше элементарных представлений, между тем как все дело в привычке. Оказывается, что нам остается лишь преклониться перед фактом действия на расстоянии и просто-напросто к этому факту привыкнуть. Тот, кто к этому факту привык, будто бы не испытывает ни малейшего затруднения от того, что этим ему приходится оперировать⁵⁾.

Я совершенно согласен с тем, что ко многому можно привыкнуть, в особенности, добавлю от себя, если при этом мы не контролируем образующихся привычек и к тому же не сопротивляемся влиянию самогипноза или массового гипноза, наличие которого во многих случаях можно констатировать. Не чем иным, а именно слепым подчинением привычному методу мышления, в значительной степени объясняется и необычайная в свое время стойкость некоторых отживших уже научных теорий и воззрений. Напомним хотя бы о птоломеевой системе мира, о невесомых жидкостях, о теории Флогистона. Замечательно при этом, что, несмотря на несомненную ошибочность некоторых научных воззрений старого времени, они иногда позволяли все же неуклонно идти вперед по пути прогресса. Например, Садди Карно, считая теплоту за неразрушимый агент, что, как мы знаем теперь не соответствует действительности, пришел к верному результату при рассмотрении вопроса о совершении работы паровой машины. И в наше время, конечно, вполне возможны аналогичные случаи. Но это не мотив для защиты некоторых привычных научных представлений, в частности представлений о «физическом» действии на расстоянии.

Во всяком случае я не отрицаю весьма важного значения привычек в нашем научном мышлении, но ставлю вопрос, не представляется ли целесообразным внимательно проанализировать их и начать совместную борьбу против нарицательных привычек.

12. Итак, на основании всего изложенного выше я утверждаю, что господствующее теперь в науке привычное представление о действии на расстоянии, являясь, по существу, лишь математической абстракцией, иногда полезной и ценной, не должно быть объективировано в качестве первичного физического явления, т. е. не должно трактоваться в качестве «физического» действия на расстоянии, так как это никоим образом не может соответствовать тому, что происходит в действительности.

⁵⁾ См., например, стенограмму третьей беседы о природе электрического тока, выступление Я. И. Френкеля, «Электричество» № 10, 1930, стр. 428.

Несмотря на, казалось бы, полную очевидность псевдо-физического характера идеи о действии на расстоянии, она продолжает играть роль привычного основного фона современной физической мысли и накладывает на нее своеобразный отпечаток.

Все мои принципиальные физические установки прямо или косвенно, явно или неявно вытекают из категорического отрицания допустимости «физического» действия на расстоянии. Должен признаться, однако, что в этом отношении у меня пока имеются, к сожалению, более или менее серьезные расхождения со многими моими коллегами по Академии наук, в том числе, например, с академиками А. Ф. Иоффе, С. И. Вавиловым, с членами-корреспондентами Академии наук Я. Н. Шпильрейном, Я. И. Френкелем, И. Е. Таммом и Г. А. Гамовым. Степень указанного расхождения варьирует в очень широких пределах — от некоторого лишь различия в четкости основных установок до полной противоположности.

Едва ли может быть сомнение в том, что необходимо, наконец, подвергнуть тщательному обсуждению важнейший принципиальный вопрос о допустимости «физического» действия на расстоянии. Я совершенно уверен, что наша совместная работа в Академии наук предоставляет для того все возможности и в частности страницы «Известий Академии наук» открыты каждому из нас для изложения своего суждения по данному поводу. Путем обмена мнений мы придем, конечно, к объединяющим нас основным установкам. Мои попытки вызвать в стенах Академии наук обмен мнений по этому вопросу были до сих пор безрезультатны.

13. В заключение можно следующими положениями резюмировать все мои мысли касательно допустимости «физического» действия на расстоянии:

а) В современной теоретической физике представление о действии на расстоянии играет доминирующую роль без достаточных к тому оснований.

б) Действие на расстоянии не может быть рассматриваемо в качестве первичного физического явления, т. е. в качестве «физического» действия на расстоянии.

в) Принципиальная фарадеев-максвелловская установка, выдвигающая на первый план непременно участие среды во всех физических взаимодействиях, совершенно не совместима с точкой зрения «физического» действия на расстоянии.

г) Ввиду своего псевдо-физического характера представление о действии на расстоянии может быть допускаемо только при формально-математическом описании физических явлений, а также при анализе физических закономерностей.

д) Настоятельно необходим критический пересмотр основных установок современной физики, прямо или косвенно вытекающих из представления о «физическом» действии на расстоянии.

К вопросу об условности математической трактовки физических явлений

Проф. Д. Б. Гогоберидзе

Москва

(по поводу статьи акад. В. Ф. Миткевича)

„Физическая теория представляет собою строго обоснованную и не содержащую внутренних противоречий систему взаимно согласованных физических представлений“.

Акад. В. Ф. Миткевич

За последние годы журнал «Электричество» посвятил много места разбору вопросов о природе электромагнитного поля вообще и изложению взглядов акад. Миткевича на этот вопрос в частности. Несмотря на имевшую место довольно широкую дискуссию и на то, что многие физики и философы приняли в ней участие, взгляды акад. Миткевича на этот вопрос не изменились, а напротив того, как это видно из рассматриваемой статьи, они стали еще более непримиримыми. В этой статье содержится ряд новых положений, являющихся следствием и дальнейшим развитием его теории, и мне поэтому представляется интересным обсудить ее.

Интересно отметить, что в рассматриваемом вопросе в настоящее время имеют место две крайние точки зрения: с одной стороны, чисто механистические представления акад. Миткевича, а с другой, — формальные построения, которых придерживается большинство физиков и которые часто приводят к идеализму. Обсуждая концепцию акад. Миткевича, я хочу попутно рассмотреть, соответствует ли его теория электромагнитного поля тому определению физической теории, которое им дается и которое взято мною эпиграфом.

Несмотря на некоторую расплывчатость (не совсем ясно, что именно автор называет «системой физических представлений», так как любой физик, даже идеалист, всегда считает свои представления физическими) этого определения, понятно, что автор требует, чтобы физическая теория давала «строго обоснованное и свободное от внутренних противоречий» объяснение явлений (если я неверно понял, то надеюсь, что акад. Миткевич не откажется поправить меня и точнее сформулировать свою точку зрения). Просмотрим, насколько рассматриваемая теория удовлетворяет этому требованию.

Как известно, согласно развиваемой акад. Миткевичем концепции электромагнитное поле создается системой силовых линий, реально имеющих в действительности и являющихся особым состоянием, особым процессом на фоне все заполняющей упругой среды—мирового эфира. При этом относительно характера процесса, создающего силовые линии, акад. Миткевич не говорит ничего определенного, ограничиваясь указаниями общего характера: «Ясно, что и «физические силовые линии» надо понимать как оси, характеризующие специфический процесс на фоне той же основной среды, быть может, это—процесс волновой природы, а быть может, это—процесс вихревого характера». И в другом месте: «при этом в понятие о магнитной линии мы должны вкладывать реальное содержание, в точности соответствующее фарадеевской идее о «физической силовой линии» магнитного поля. Хотя эти общие указания и не являются «строго обоснованной и свободной от противоречий системой... физических представлений» и хотя в других работах акад. Миткевича содержится немногим больше, однако можно думать, что «согласно фарадеевской идее» он рассматривает мировой эфир как одну из разновидностей обычной материи, имеющую очень малую массу, но чрезвычайно большую упругость, абсолютно несжимаемую и т. п. Всем хорошо известно, какие огромные трудности возникли перед

столь грубо механистической теорией в связи с явлениями распространения света в движущихся телах, и нужно указать, что акад. Миткевич не дает с точки зрения своей теории объяснения и разрешения этих трудностей. Интересно также отметить, что среди правых сторонников подобной теории, старающихся «в понятие силовой линии вложить реальное содержание, в точности соответствующее фарадеевской идее», не существует какой-либо единой точки зрения на этот вопрос. Напомним, например, многочисленные и совершенно бесплодные попытки лорда Кельвина дать «систему физических представлений», которые бы объясняли явления, или укажем на идеи Оливера Лоджа, пытавшегося рассматривать мировой эфир как вещество, обладающее необычайно высокой плотностью, а обычную материю как род «аллотропической модификации» эфира и т. п. Не стоит заниматься перечислением всех неудачных и противоречивых попыток дать, исходя из механических моделей эфира, картину явлений, происходящих в электромагнитном поле, хотя их авторы всегда считали, что они вкладывают в «понятие силовой линии реальное содержание, в точности соответствующее фарадеевской идее», но все же они не привели ни к каким результатам¹). Напомним только, что и в настоящее время между двумя крупнейшими представителями этих взглядов—Томсоном и акад. Миткевичем—не существует согласия в том, что же именно является «основной реальностью» — магнитные или электрические линии. Из всего указанного вряд ли можно сделать вывод, что взгляды, соответствующие «фарадеевской идее» о силовых линиях, представляют собой «строго обоснованную и свободную от внутренних противоречий систему взаимно согласованных физических представлений».

Во избежание недоразумений оговоримся сейчас же, что, считая грубо механистические представления подобного рода совершенно неприемлемыми и рассматривая их как проявления самого грубого упрощенчества, мы в то же время не можем не возражать и против чисто феноменологической точки зрения. Совершенный отказ от рассмотрения явлений, происходящих в электромагнитном поле, без сомнения, является явно идеалистической концепцией и должен быть осужден самым решительным образом.

Однако акад. Миткевич не довольствуется попыткой грубо механистического «объяснения» электромагнитного поля, но идет и дальше.

«Противники фарадее-максвелловской точки зрения игнорируют то обстоятельство, что в настоящее время даже элементы обычной материи—электроны, протоны—мыслятся в виде некоторых пакетов волн, которые должны быть понимаемы как результат соответствующих волновых процессов, происходящих на фоне какой-то физической, а не воображаемой среды, т. е. на фоне какой-то физической первоматерии, заполняющей во

¹) Почему-то у сторонников этой теории система физических представлений всегда оказывается равнозначущей с системами механических моделей.

наше трехмерное пространство. Ясно, что и «физические силовые линии» надо понимать как оси на фоне той же среды».

В этой короткой цитате имеются два пункта, вызывающие недоумение. О том, что материальные частицы являются волновыми пакетами²⁾, можно было бы говорить только лишь на заре волновой механики. Что же касается того утверждения акад. Миткевича, что фазовые волны имеют место в нашем трехмерном пространстве на фоне физической первоматерии, то оно вызывает еще большее удивление. Фазовые волны имеют место в конфигурационном пространстве, а не в нашем трехмерном, и это конфигурационное пространство $3N$ — мерно (где N — число частиц, образующих рассматриваемую систему). Либо акад. Миткевич считает и конфигурационное пространство заполненным «физической первоматерией», либо же он считает наше пространство, а следовательно, и «первоматерию» $3N$ мерной. Да и вообще фазовые волны являются таким же математическим способом расчета, как и, например, введенные Пайерлсом в теорию теплопроводности фононы (кванты звука). И нужно отметить, что это не единственная возможность, прекрасно можно при рассмотрении явлений обойтись и без представления о фазовых волнах. Во всяком случае приписывать им физическую реальность и рассматривать их как волны, имеющие место на фоне какой-то первоматерии, — это не только упрощенчество и грубый механизм, но это и просто неверно.

Остановимся еще на утверждении акад. Миткевича о дискретности изменения величины тока. Эта дискретность выводится им из того, что так как ток зависит от заряда электронов и от их скорости, то в силу того что заряд изменяется на величину, кратную e , и скорость изменяется также прерывно³⁾, то и ток должен изме-

няться скачками. «Как известно, — пишет акад. Миткевич, современная квантовая механика в своем развитии приходит к представлению о квантовании пространства—времени». Понятно, действительно, что если пространство и время квантованы, то и скорость свободных электронов должна быть квантованной. Но здесь нужно несколько оговориться. Действительно, в квантовую механику неоднократно пытались ввести идеи о квантовании пространства—времени. Однако авторы либо отказывались от них, как это сделал, например, Гейзенберг, либо же эти теории так и оставались ни на чем не основанными и чисто математическими, лишенными всякого физического смысла построениями. Эти попытки представляют собой, безусловно, одно из самых темных мест в современной квантовой механике, и во всяком случае ссылаться на них при попытке обоснования электромагнетизма несколько неосторожно. В заключение еще раз отметим, что, считая грубо упрощенческие и механистические представления акад. Миткевича явно бесплодными, не дающими физической картины явлений и затрудняющими их математическую трактовку, нужно столь же энергично возражать и против чисто формального рассмотрения явлений, оставляющего без ответа вопрос о природе электромагнитного поля. Реальное существование некоторой объективной реальности, некоторого агента, являющегося носителем электромагнитных сил, является несомненным для всякого материалистически мыслящего физика, и признание объективного существования этой реальности для нас обязательно. Нужно, однако, заметить, что свойства этой реальности, этого, если угодно, «эфира» не имеют ничего общего со свойствами того эфира, о котором говорит акад. Миткевич и которым он пользуется.

2/ХІ—33 г.

НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Новые пути в области построения трансформаторов тока

Д-р И. Гольдштейн

Цюрих

Введение

В области построения трансформаторов тока за последние годы произошли большие перемены. Раньше полагали, что выгоднее всего работать в нижней части магнитной кривой. В настоящее время взгляды на этот счет изменились. Оказывается, что требования, которые предъявляются к трансформатору тока, а именно высокая точность при достаточной нагрузке и чрезвычайно большая динамическая устойчивость достижимы с большим успехом и с экономической выгодой, если сердечник работает в определенной области магнитной кривой.

За последние годы опубликовано несколько способов предварительного намагничивания сердечника. Их можно охарактеризовать следующим образом:

1) предварительное намагничивание от постороннего источника тока;

2) предварительное намагничивание посредством вспомогательного трансформатора тока, питаемого первичным током;

3) предварительное намагничивание посредством самоиндукции.

Целью настоящей статьи является ознакомление русских читателей с последним из перечисленных спосо-

бов, введенным АЕГ в Германии и уже оправдавшим себя на практике.

Трансформатор тока с двойным сердечником по принципу встречных магнитных потоков

а) Диаграмма ампервитков. Конструкция трансформаторов тока АЕГ имеет двойной сердечник. Электрическая схема показана на рис. 1. Сердечник состоит из двух замкнутых магнитных цепей. Обе половины двойного сердечника отделены друг от друга небольшим воздушным промежутком. Предварительное намагничивание достигается посредством особого устройства вторичных обмоток. Сумма ампервитков каждой замкнутой магнитной цепи должна иметь определенную величину, в то время как у трансформатора тока старого типа она равнялась нулю. Можно сказать, что

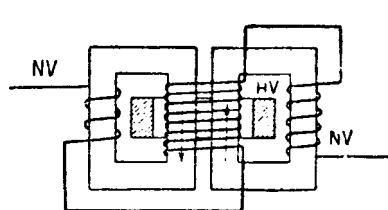


Рис. 1

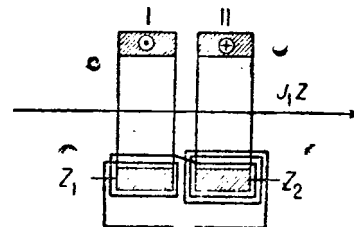


Рис. 2

²⁾ А не сопровождаются ими

³⁾ 25 сентября 1933 г.

оба сердечника представляют собой сердечник броневого типа. Тогда расположение обмоток можно характеризовать следующим образом:

На стержне помещаются обмотка и главная часть вторичной обмотки. На ярмах находятся части вторичной обмотки, меж собой не равные.

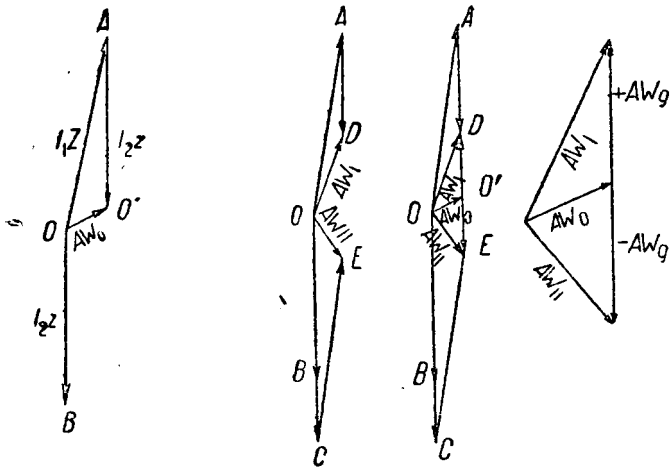


Рис. 4

Исследование магнитных потоков проще, если придерживаться изображения, данного на рис. 2. Схема эта не ограничивается однопроводными трансформаторами тока. Пусть первичная обмотка для упрощения изображена одним проводом, имеющим $I_1 Z$ ампервитков. Вторичные обмотки обеих магнитных цепей соединяются последовательно. Если обозначить количество витков вторичной обмотки для первого (I) сердечника z_1 , второго (II) — z_2 и если количество витков, соответствующее коэффициенту трансформации, обозначить через z , то надо предусмотреть следующие неравенства:

$$\left. \begin{aligned} z_1 &< z, \\ z_2 &> z. \end{aligned} \right\}$$

Благодаря этим соотношениям каждый сердечник подвергается намагничиванию, причем сердечник I будет намагничиваться избытком первичных ампервитков, сердечник II — избытком вторичных ампервитков.

Мы будем иметь следующие уравнения ампервитков:

$$\left. \begin{aligned} \text{для сердечника I} \quad I_1 Z + I_2 z_1 &= AW_I, \\ \text{II} \quad I_1 Z + I_2 z_2 &= AW_{II} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Рис. 3 и 4 дают некоторые диаграммы ампервитков для обыкновенного трансформатора тока и для трансформатора тока по принципу встречных магнитных потоков. Векторы на рис. 3 и 4 имеют следующие значения:

$$\left. \begin{aligned} OA &= I_1 Z = CE, & OD &= AW_I \\ OB &= I_2 z, & OE &= AW_{II}, \\ OC &= AE = I_2 z_2, & OO' &= AW_0, \\ AD &= I_2 z_1. \end{aligned} \right\}$$

Как видно из диаграммы рис. 4, равнодействующие ампервитки AW_I и AW_{II} можно разложить на составные ампервитки холостого хода AW_0 и ампервитки встречных магнитных потоков AW_g . Последние намагничивают сердечник I с положительным знаком, сердечник II — с отрицательным.

Имеем следующие векторные соотношения:

$$\left. \begin{aligned} AW_I &= AW_0 + AW_g, \\ AW_{II} &= AW_0 - AW_g. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует:

$$\left. \begin{aligned} I_1 Z + I_2 z_1 &= AW_0 + AW_g, \\ I_1 Z + I_2 z_2 &= AW_0 - AW_g. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Если суммировать последние уравнения и сумму разделить на 2, то получится следующее соотношение:

$$I_1 Z + I_2 \frac{z_1 + z_2}{2} = AW_0. \quad (4)$$

Это уравнение, очевидно, есть уравнение ампервитков для обыкновенного трансформатора тока, у которого количество витков вторичной обмотки Z равно средней арифметической величине z_1 и z_2 .

Интересное толкование процесса трансформирования тока получается, если уравнения (3) написать следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} I_1 Z + I_2 \frac{z_1 + z_2}{2} + I_2 \frac{z_1 - z_2}{2} &= AW_I, \\ I_1 Z + I_2 \frac{z_1 + z_2}{2} - I_2 \frac{z_1 - z_2}{2} &= AW_{II}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Третье слагаемое есть не что иное, как ампервитки встречных потоков намагничивания. Отсюда видно, что если смотреть на оба сердечника как на одно целое, ампервитки встречных магнитных потоков в трансформации тока участия не принимают.

Какую пользу же приносит намагничивание сердечников встречными потоками?

б) Ток холостого хода и погрешности. Намагничивание встречными потоками имеет исключительной целью уменьшить величину $AW_0 = I_0 Z$. Погрешности трансформации f_s и сдвига δ суть функции тока холостого хода. В случае омической нагрузки погрешности трансформатора тока могут быть выражены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} f_s &= \frac{I_0 \cos \varphi_0}{I_1} 100\%, \\ \delta &= \frac{I_0 \sin \varphi_0}{I_1 \cdot 0,00029} \text{ минут,} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

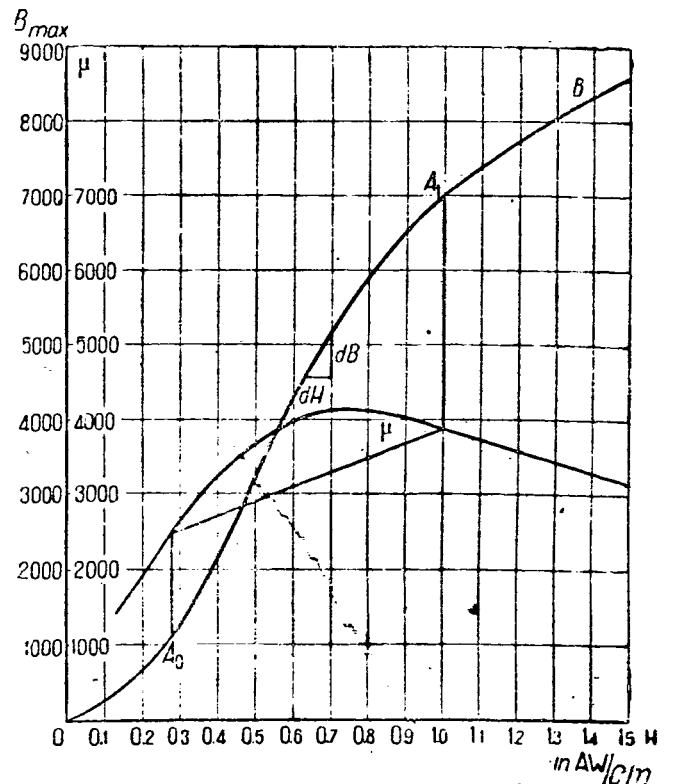


Рис. 5

ции B_0 , которая для упрощения предполагается в обоих сердечниках одинаковой, и

$$A = \frac{I_1 Z}{l} \text{ AW/cm,}$$

$$\Phi_0 = B_0 q.$$

Введя эти величины в уравнения (7), мы получим

$$f_s = \frac{B_0}{\frac{4\pi}{10} \sqrt{2} A \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \frac{1}{\mu} 100\%, \quad (8)$$

$$\delta = \frac{B_0}{\frac{4\pi}{10} \sqrt{2} \cdot 0,00029 A} \cdot \frac{1}{\mu} \text{ минут.}$$

B_0 означает индукцию, как было уже указано, соответственно нагрузке и ею определяется. При постоянной нагрузке B_0 пропорциональна вторичному току I_2 . Если мы имеем дело с трансформаторами тока большой точности, то можно считать, что индукция B_0 также пропорциональна первичному току I_1 .

На самом деле магнитный поток индукции B_0 складывается с потоком предварительного намагничивания соответственно диаграмме ампервитков рис. 4. При этом магнитная проницаемость предварительного потока подвергается некоторому изменению, точно так же как и петля гистерезиса. Из уравнения (8) видно, что кривые погрешностей будут зависеть от величины $\frac{1}{\mu}$, но μ здесь берется соответственно потоку встречного намагничивания и вследствие этого значительно больше того значения μ , которое соответствовало бы индукции от одной нагрузки.

Предварительное намагничение дает возможность выполнить те условия, которые необходимы для создания идеального трансформатора тока. Рассмотрим подробнее эти условия. Погрешности должны быть незначительными. Кроме того, требуется их постоянство в области значений тока в пределах 10÷100% нормального тока.

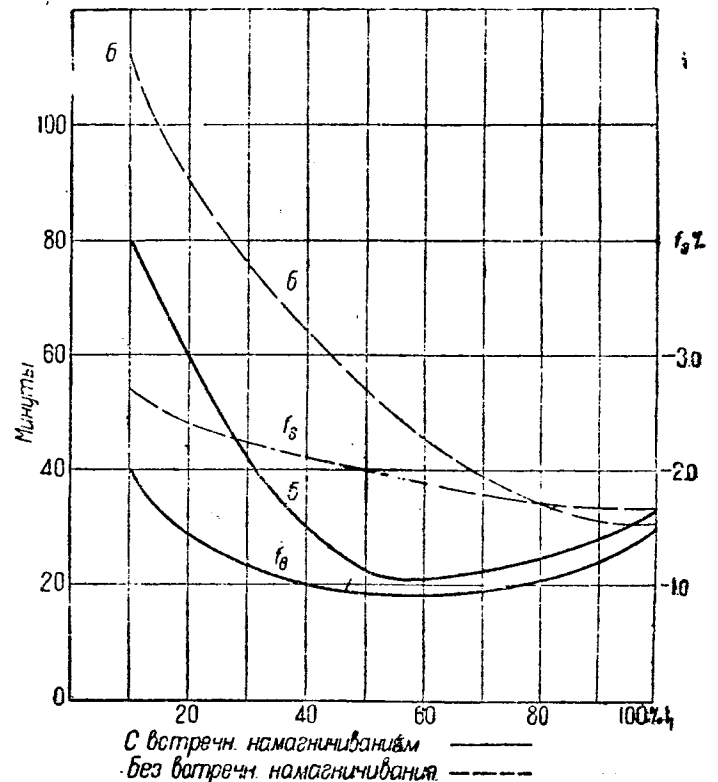


Рис. 7

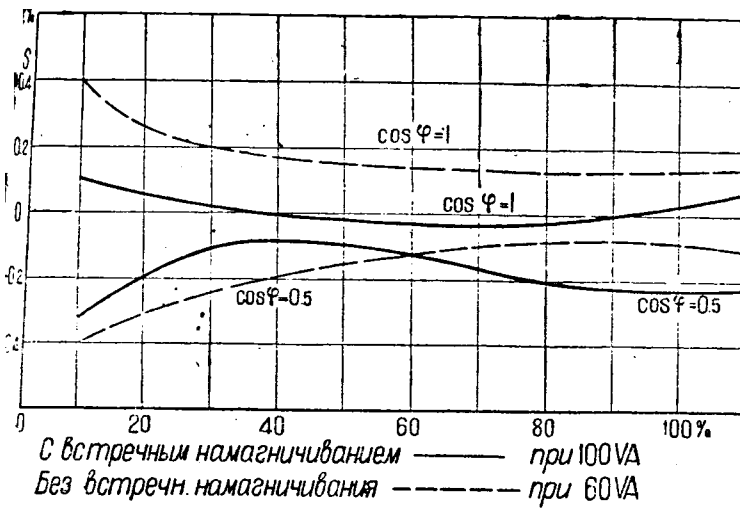


Рис. 6

где φ_0 является углом сдвига фаз тока холостого хода по отношению к э. д. с. Влияние индуктивной нагрузки будет потом учтено. Во всяком случае уменьшением тока холостого хода достигается уменьшение погрешности. Ток холостого хода зависит в свою очередь от коэффициента магнитной проницаемости μ . Благодаря предварительному намагничиванию увеличивается коэффициент магнитной проницаемости. Для уяснения явлений надо отделить магнитный поток Φ_0 , необходимый для покрытия напряжения на зажимах вторичной обмотки и внутренних потерь напряжения от магнитных потоков, предназначенных исключительно для предварительного намагничивания и увеличения магнитной проницаемости μ . Известна следующая зависимость:

$$\Phi_0 = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{\sqrt{2} I_0 Z \sin \varphi_2}{R}, \quad (6a)$$

где R обозначает магнитное сопротивление железа и в свою очередь зависит от длины сердечника l , его сечения q и магнитной проницаемости μ :

$$R = \frac{l}{\mu q}.$$

Посредством подстановки из уравнения (6a) легко получить следующее выражение:

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{\Phi_0 l}{\frac{4\pi}{10} \sqrt{2} I_1 Z \sin \varphi_0 q} \cdot \frac{1}{\mu},$$

и наконец, уравнения погрешностей (6) принимают следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} f_s &= \frac{\Phi_0 l}{\frac{4\pi}{10} \sqrt{2} I_1 Z q \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \frac{1}{\mu} 100\%, \\ \delta &= \frac{\Phi_0 l}{\frac{4\pi}{10} \sqrt{2} \cdot 0,00029 I_1 Z q} \cdot \frac{1}{\mu} \text{ минут.} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Эти уравнения погрешностей действительны и для предварительно намагниченных трансформаторов тока, так как потоки встречного намагничивания добавочных ампервитков при трансформации тока не дают, и общий характер диаграммы ампервитков остается действительным (см. рис. 3 и 4). Изменилась только проницаемость железа μ . Так как эта величина входит в знаменатель, то видно, что с увеличением μ погрешности уменьшаются.

Для дальнейшего исследования преобразуем уравнения (7) введением других величин, а именно индук-

Ампервитки предварительного намагничивания даны, как мы видим, выражением

$$I_2 \frac{z_1 - z_2}{2}$$

Если цель достигнута и первичный ток I_1 пропорционален на протяжении всей кривой; вторичному току I_2 , то можно в последней формуле заменить I_2 значением I_1 . Кривая рис. 5 наглядно показывает, какое нужно установить предварительное намагничивание. Очевидно, что выгоднее всего работать в прямолинейной части магнитной кривой. Посредством выбора значений z_1 и z_2 можно достичь того, что уже в точке, соответствующей значению $0,1 I_1$, магнитная проницаемость μ будет иметь значительную величину. Пусть это будет точка A_0 . Из формул (6) видно, что погрешности определяются, главным образом, величиной

$$f_A = \frac{I_0}{I_1}$$

Надо, чтобы эта величина оставалась постоянной почти на всем протяжении первичного тока, скажем, между точками A_0 и A_1 магнитной кривой. Другими словами, надо стремиться к тому, чтобы дифференциальный коэффициент магнитной проницаемости $\frac{dB}{dH}$ имел постоянное значение. Чем больше это значение, тем лучше, ибо на создание необходимого потока требуется меньшая затрата ампервитков (dH).

Вышеизложенное показывает, какие выгоды происходят от предварительного намагничивания, причем предварительное намагничивание нами в данном случае всегда мыслилось как намагничивание собственным током. Кривые погрешности на рис. 6 и 7 показывают преимущества нового метода построения трансформаторов тока. Кривые рис. 7 получены для однопроводного трансформатора тока 500/5 А. И здесь видно, что достижения нового способа еще значительны.

При дальнейшем понижении ампервитков необходимо прибегнуть к особым способам компенсаций, о которых сообщу в другой статье.

15. XI—33 г.

ВОПРОСЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНИКИ И БОРЬБЫ С АВАРИЯМИ¹⁾

Аварии в распределительных устройствах генераторных напряжений и меры борьбы с ними¹⁾

Инж. Д. А. Фукс и инж. М. З. Чернов
Ленэнерго

1. Аварии с реакторами

В Ленэнерго за 1932 г. имело место три повреждения фидерных бетонных реакторов на 6 kV, с голыми витками, расположенных фаза на фазе. В 1933 г. имело место еще одно повреждение реактора того же типа²⁾.

Из указанных четырех повреждений три произошли при однофазном заземлении и коротком замыкании за реактором и одно повреждение — или от сырости бетона или из-за притянутого постороннего металлического предмета.

¹⁾ На основе эксплуатационного опыта в Электросети Ленэнерго.

²⁾ По имеющимся сведениям в Мосэнерго за 1932 г. имели место 8 аварий с реакторами. Известно также об авариях с реакторами и на других предприятиях.

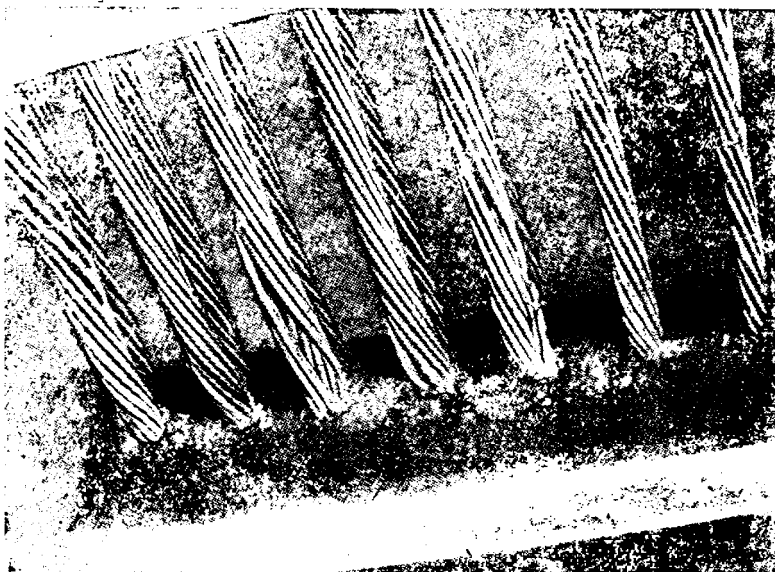


Рис. 1

Детальное обследование аварий показало (рис. 1 и 2), что при однофазном заземлении за реактором повреждение в реакторе начиналось с виткового короткого на первых по направлению течения энергии витках нижней или средней фазы. Далее, при авариях, давших наибольшие повреждения, под действием термической ионизации витковое короткое образовывалось как во многих местах той же поврежденной фазы, так и на первых витках вышерасположенных фаз реактора. Междофазного короткого замыкания на реакторах не наблюдалось. Аварии на реакторах ликвидировались автоматическим отключением масляного выключателя вследствие образования двухфазных коротких замыканий на землю с подводящих к реакторам шин на железные конструкции. Эти повреждения в реакторах имели место при весьма сухом бетоне реактора после двухлетней безаварийной эксплуатации в сухом отапливаемом помещении и должны быть приписаны неспособности реакторов данного типа противостоять возникающим при авариях в сети перенапряжениям.

Аварии с реакторами показывают, что:

а) В реакторах с голыми витками весьма велика вероятность виткового короткого при коротком замыкании и однофазном заземлении за реактором вследствие перенапряжений от притянутого постороннего металлического предмета.

Такие повреждения имеют место и при сухом бетоне реактора. Сырой бетон в реакторе, очевидно, лишь повышает вероятность перекрытий.

б) Термическая ионизация от дуги при образовании виткового короткого в какой-либо одной точке снижает электрическую прочность диэлектрика (воздуха) и облегчает возникновение витковых коротких в выше лежащих витках той же фазы.

в) При возникновении интенсивного виткового короткого в реакторе имеются весьма благоприятные условия для перекрытия с подводящих шин на землю

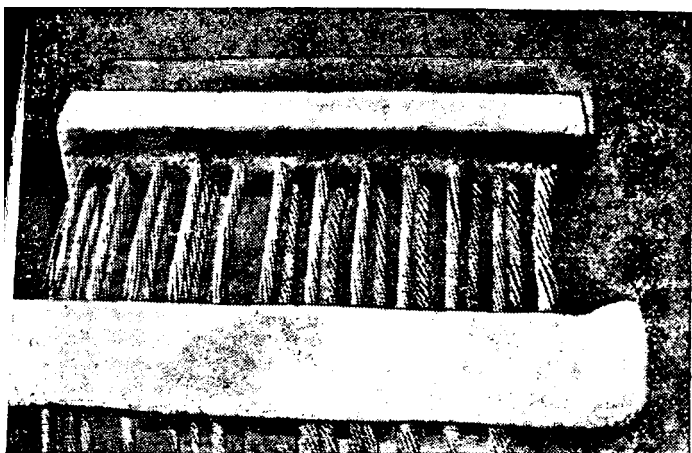


Рис. 2

(железные конструкции под изоляторами, перегородки и пр.).

г) При расположении фаз реактора непосредственно друг над другом термическая ионизация от виткового короткого на одной фазе способствует возникновению витковых коротких на других фазах реактора.

Профилактические мероприятия по реакторам, предупреждающие как возникновение аварии, так и их распространение на другие элементы устройства (шины и пр.)³⁾

1. Покрытие витков реактора изоляцией соответствующей конструкции и качества во много раз уменьшит вероятность первоначального виткового короткого и тем более вероятность витковых коротких на других фазах из-за термической ионизации. Изоляция должна быть выбрана с расчетом на работу реакторов в неотопляемых помещениях.

Исследования в высоковольтной лаборатории проф. А. А. Смурова⁴⁾ по влиянию термической ионизации на разрядное напряжение на шинах показали, что разрядное напряжение между голыми шинами под влиянием различной интенсивности термической ионизации в 20÷40 раз меньше, чем при нормальных атмосферных условиях.

Изоляция на шинах⁵⁾ а) повышала разрядное напряжение при интенсивной термической ионизации между шинами до величины, соответствующей пробивному напряжению самой изоляции; б) уменьшала в 1,5÷2 раза длительность дуги в случае ее возникновения; в) препятствовала распространению дуги по шинам.

Исследования показали, что в условиях опыта (исследования производились только для одного типа изоляции при расстоянии между шинами в 25 см) изоляция на шинах мало повлияла на величину разрядного напряжения при отсутствии термической ионизации.

Однако в конструкции реакторов, где расстояние между витками исчисляется несколькими миллиметрами, изоляция должна дать эффект и при нормальных эксплуатационных условиях.

2. Независимо от того, будет ли реактор иметь витки изолированными или голыми, необходимо производить испытание изоляции между витками напряжением при повышенной частоте, как это было намечено в проекте ОСТ на реакторы. Этот пункт до сих пор не выполнял-

³⁾ Большинство предлагаемых автором профилактических мероприятий уже приняты заводом и проведены в жизнь. Материал, сообщаемый авторами, ценен поэтому, главным образом, как новое подтверждение целесообразности этих мероприятий по отношению к реакторам. *Прим. ред.*

⁴⁾ Из доклада инж. К. С. Архангельского о результатах исследования влияния изоляции на шинах на разрядное напряжение.

⁵⁾ Общая толщина изоляции 2,5 мм (8 слоев лакиров. ленты, 2 слоя миткалевой ленты, 3 слоя черного изоляционного лака).

ся, а между тем, он является одним из весьма существенных контрольных средств в отношении конструкции реактора.

Конструкция реактора должна быть рассчитана и выполнена так, чтобы реактор выдерживал указанное испытание.

3. При размещении фаз реактора в одной ячейке даже при отсутствии перегородок между фазами изоляции подходящих к реактору и отходящих от него шин увеличивает надежность, предохраняя от короткого замыкания с шин на землю при витковом коротком в реакторе, т. е. в условиях термической ионизации.

При выполнении пп. 1 и 3 мы получим изолированными все токоведущие части в ячейке реактора за исключением разъединителей, если таковые там будут.

При ошибочном действии разъединителями изоляция будет препятствовать продвижению дуги по шинам и предупредит перекрытие реактора вследствие термической ионизации.

4. Перегородки между фазами реактора являются дополнительным средством, предохраняющим от опасных последствий распространения термической ионизации на соседние фазы при коротком замыкании в какой-либо одной фазе.

Размещение фаз реактора в одной плоскости с установкой перегородок по высоте фаз будет иметь в отношении охлаждения преимущества. Однако установка перегородок между фазами, так же как и расположение фаз в одной плоскости, встречает до последнего времени существенные практические затруднения вследствие удорожания распределительного устройства.

I. Аварии с масляными выключателями и трансформаторами тока

За последние годы наблюдается большое количество повреждений трансформаторов тока и вводов масляных выключателей ВМ-22 с бакелитовой изоляцией (рис. 3 и 4) из-за перекрытия по бакелиту при отеплях. По Ленинграду за 1932 г. и начало 1933 г. при 12 авариях произошло перекрытие 8 комплектов вводов масляных выключателей и 7 трансформаторов тока⁶⁾.

Вопрос о старении бакелита еще мало изучен, но, очевидно, что работа бакелита в неприемлемых для него условиях (в неотопляемых помещениях) не может проходить бесследно, и надо ожидать, что старение

⁶⁾ Аварии с бакелитовой изоляцией имели место также в Мосэнерго и др.

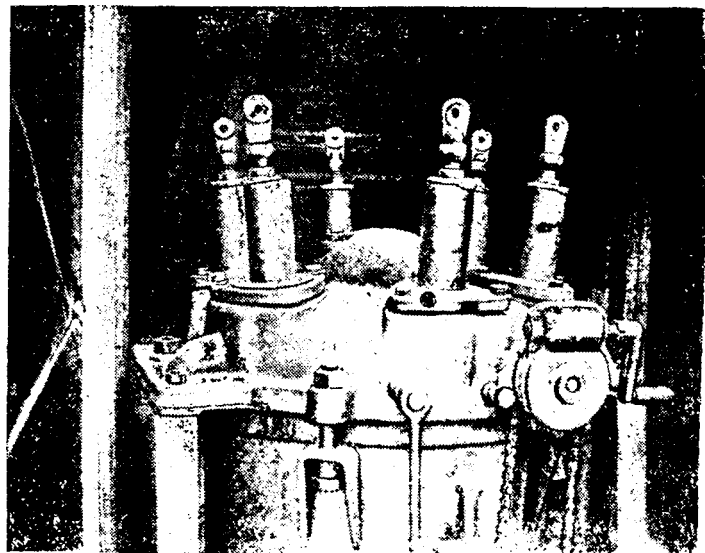


Рис. 3

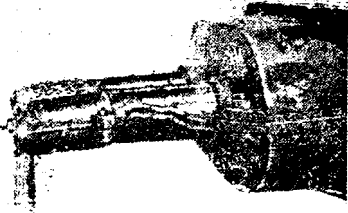


Рис. 4

бакелита должно идти ускоренным темпом. Отсюда следует, что частота повреждения аппаратуры с бакелитовой изоляцией должна в дальнейшем увеличиться.

Опыт эксплуатации позволяет сделать следующие замечания по аварийности трансформаторов тока и масляных выключателей с бакелитовой изоляцией:

а) Аварии с перекрытием бакелита трансформаторов тока и наружных частей вводов масляных выключателей, установленных в неотапливаемых помещениях, можно ожидать при резком переходе от температуры ниже нуля к температуре около нуля со скачком порядка 5°C . В эти периоды (будем называть их периодами оттепелей) вероятность перекрытия по бакелиту больше для аппаратов, работающих перед этим длительное время (несколько часов) с малой нагрузкой (примерно до $30\div 40\text{A}$ в аппаратах на $200\div 400\text{A}$), и для аппаратов, включаемых под напряжение.

б) Перекрытие бакелита имеет место при различных типах вентиляции, и следовательно, ни один из существующих типов вентиляции не предохраняет от возможности возникновения перекрытия.

в) Влияния способа расположения трансформаторов тока (горизонтально, вертикально, проходными или непроходными) на вероятность перекрытия по бакелиту не наблюдается.

г) Во всех случаях перекрытия вводов масляных выключателей перекрытие охватывало все его вводы (как входящие, так и выходящие), и выключение аварийного масляника производилось вышестоящим масляником.

д) При расположении трансформаторов тока и масляных выключателей с разной изоляцией (фарфор и бакелит) в одной камере перекрытие по бакелиту одного из аппаратов часто влечет за собой повреждение дугой фарфоровых вводов другого аппарата.

Массовые повреждения аппаратуры с бакелитовой изоляцией при первой же оттепели и неизбежное ускорение старения бакелитовой изоляции вследствие действия на нее влажности заставляют отнести трансформаторы тока существующей конструкции завода «Электроаппарат» и вводы масляных выключателей с бакелитовой изоляцией к разряду ненадежных при установке их в неотапливаемых помещениях.

II. Профилактические мероприятия по аппаратуре с бакелитовой изоляцией

1. Установка фарфоровых крышек на бакелитовые вводы масляных выключателей является мерой, вынужденной и не решающей окончательно вопроса, так как не исключена возможность повреждения бакелита и под крышкой.

2. При установке по каким-либо непреодолимым причинам аппаратов с бакелитовой изоляцией можно установить еще следующие положения, вытекающие из аварийного опыта, которыми следует руководствоваться при проектировании:

а) Применяя в неотапливаемых помещениях аппаратуру с бакелитовой изоляцией, рационально предусмотреть устройство для закрывания на зимнее время вентиляционных отверстий. В камерах с закрытой вентиляцией приток более теплого наружного воздуха будет весьма затруднен, обмен воздуха сильно замедлится и явления конденсации с вытекающими отсюда последствиями должны уменьшиться.

б) Необходимо предусмотреть меры против внезапного попадания тепла из соседних отапливаемых помещений в неотапливаемое помещение распределительного устройства с трансформаторами тока, имеющими бакелитовую изоляцию.

в) При дефицитности аппаратов с фарфоровой изоляцией следует стремиться в первую очередь устанавливать для отдельных ответвлений трансформаторы тока и масляные выключатели с однородной изоляцией или фарфоровой или бакелитовой, так как в противном случае перекрытие по бакелиту вызывает повреждение дугой и фарфоровой изоляции (рис. 5).

III. Повреждения, вызванные переносом точек короткого замыкания из одной точки сети в другую, ближе к источнику энергии

При прохождении сквозных токов вследствие короткого замыкания, возникшего в какой-либо точке сети или распределительного устройства, наблюдалось повреждение в элементах распределительного устройства:

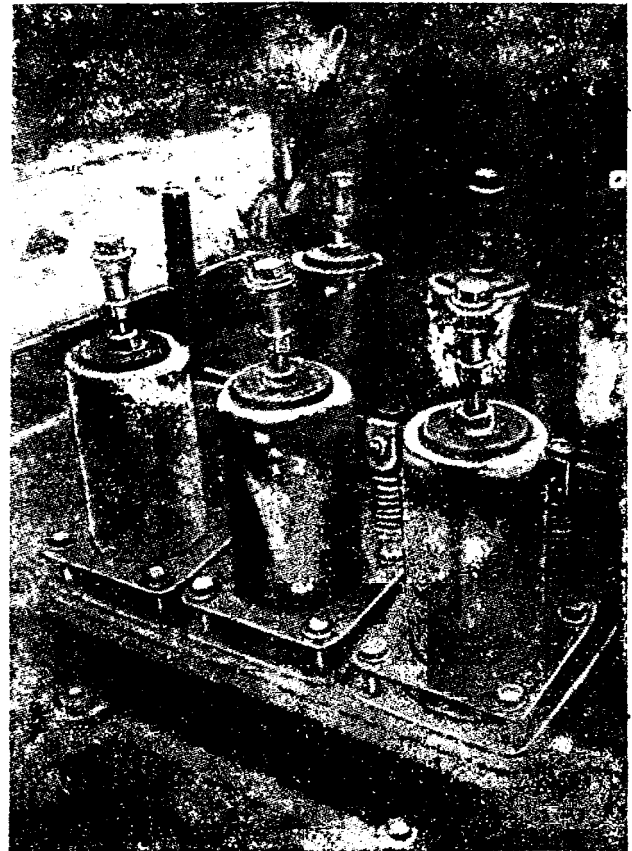
а) вследствие недостаточной устойчивости токам короткого замыкания (термические, электродинамические и электрические) (рис. 6);

б) вследствие распространения продуктов горения (масла, массы и пр.) от аварийных элементов к прочим элементам, расположенным в общем помещении;

в) вследствие продвижения дуги по неизолированным частям распределительного устройства по направлению движения энергии⁷⁾ (рис. 7).

В частности на практике имели место выплавления кабельной разделки из наконечников при недостаточном сечении кабеля или при неудовлетворительных наконечниках или дефекте монтажа.

⁷⁾ Перекрытия бакелитовой изоляции вводов масляных выключателей и трансформаторов тока обычно дают двух- или трехфазное к. з. на землю с возможными последующими перекрытиями в соседних местах вследствие ослабляющего диэлектрического действия термической ионизации. Случаи продвижения дуги здесь не наблюдаются.



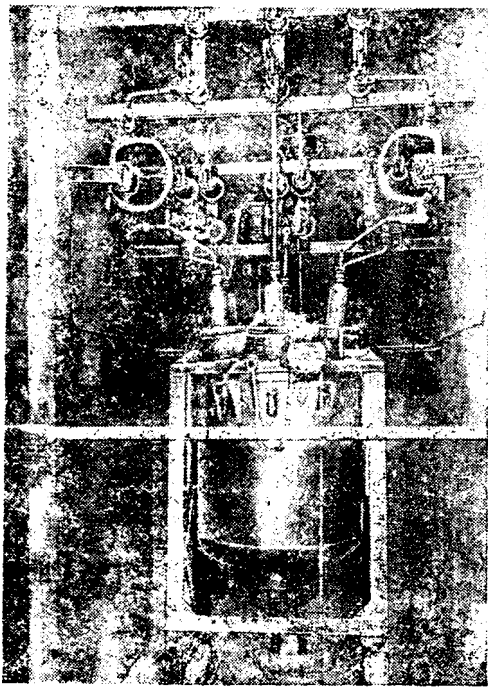


Рис. 6

Образующаяся при этом дуга, растягиваясь при падении жил кабеля, вызывает междуфазное короткое замыкание, переноса, таким образом, точку короткого замыкания ближе к источнику энергии (например, к сборным шинам и пр.). Мало того, вызванная этим интенсивная термическая ионизация и копоть создают благоприятные условия для возникновения короткого замыкания на неизолированных частях распределительного устройства смежных ячеек и шин.

Меры профилактики против опасного действия термической ионизации, распространения копоти и продвижения дуги сводятся к изолированию шин в местах

возможного возникновения дуги и дополнительного к этому к рациональному применению перегородок между отдельными частями распределительного устройства.

В заключение отметим, что кроме профилактических мер против аварий весьма важны и такие меры, которые обеспечивают наиболее безболезненное протекание возникающих по тем или иным причинам аварий. К таким мерам следует отнести прежде всего целесообразное взаимное расположение отдельных аппаратов (токоограничивающих реакторов, автоматических масля-

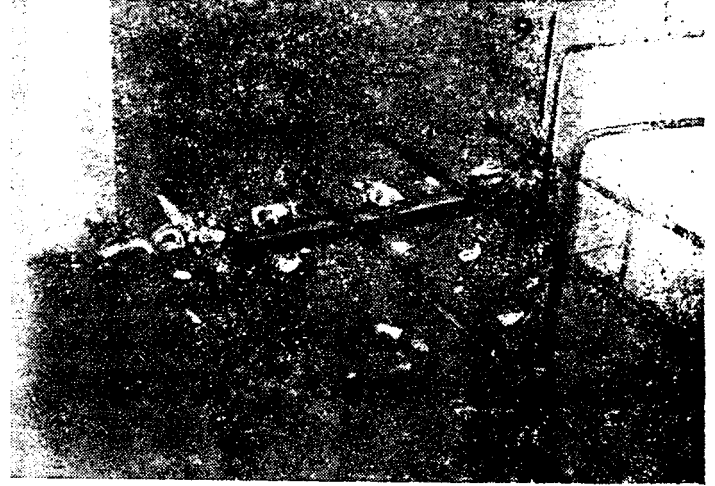


Рис. 7

ных выключателей и питающих цепи защиты трансформаторов тока), включенных последовательно в общую цепь.

Актуальность этого вопроса подтверждается аварийной практикой, на основе которой намечается осветить последний вопрос в специальной статье.

11, X—33 г.

ИЗ РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ И ЛАБОРАТОРИЙ

Испытания масляных выключателей завода „Электроаппарат“ на разрывную мощность

Инж. Л. Е. Машкиллейсон и проф. Г. Т. Третьяк
Ленинград, зав. «Электроаппарат»

До 1930 г. выпускаемые заводом «Электроаппарат» масляные выключатели не подвергались испытаниям в условиях коротких замыканий, и их характеристики определялись частью расчетным путем, а частью по аналогии с близкими конструкциями ведущих иностранных фирм.

Проведенные два раза в 1926 г. на станции б. «Гелиос» в Ленинграде и в 1926 г. в лаборатории АЕГ в Берлине испытания не могут идти в счет, так как условия постановки этих испытаний не дают возможности делать на основании полученных результатов каких-либо заключений. Такое положение, конечно, было совершенно ненормальным, и весьма небольшое количество аварий, происходивших до 1932 г. с выключателями завода «Электроаппарат», вероятно, в значительной степени может быть объяснено сравнительно небольшим количеством установленных выключателей и небольшой мощностью установок. Ввиду этого в 1930 г. были приняты меры для проведения хотя бы небольшого количества испытаний выключателей на разрывную мощность, которые и были начаты в сентябре 1930 г. в лаборатории разрывной мощности фирмы АЕГ в Берлине. По ряду причин эти испытания были скоро прерваны и продолжены в той

же лаборатории в декабре 1931 г. В 1932 г. были начаты аналогичные испытания в сетях Ленэнерго, Мосэнерго и Донэнерго.

Первые же испытания и в особенности вторая серия испытаний в лаборатории АЕГ в декабре 1931 г. показали, что некоторые типы выключателей имеют существенные недостатки и что почти все строившиеся в то время типы, включая и удовлетворительно работающие, являются по характеристикам своей работы устаревшими и для развития их до уровня наиболее совершенных современных выключателей нуждаются в модернизации, в особенности в отношении методов гашения дуги.

В связи с этим заводом «Электроаппарат» была намечена и частично проведена большая работа по усовершенствованию конструкций и модернизации существующих типов выключателей с целью доведения их до уровня лучших современных выключателей передовых иностранных фирм. Для выполнения этой работы появилась необходимость в постановке ряда испытаний на разрывную мощность как старых типов выключателей, так и различных вариантов модернизированных типов. Намеченная для этой цели программа испытаний ввиду отсутствия в Союзе лаборатории разрывной мощности была предложена к проведе-

ню в сетях, что, конечно, значительно ограничило как масштаб, так и темпы испытаний.

Эти испытания, являющиеся на основании вышележащего логическим продолжением первых испытаний в лаборатории ЕГ, были начаты в июле 1932 г., и, хотя по ряду причин развитие их было задержано, мы все же сейчас имеем весьма ценный материал, намечающий определенные пути улучшения выключателей и показывающий, какие колоссальные результаты в отношении улучшения и удешевления выключателей могут дать систематические испытания выключателей на разрывную мощность.

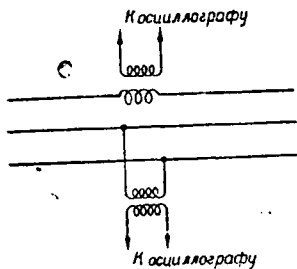


Рис. 1. Схема включения осциллографа для измерения тока и напряжения при испытаниях в лаборатории АЕГ

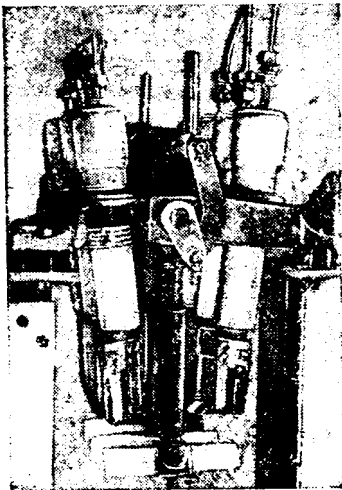


Рис. 2. Масляный выключатель ВМ-5 в нормальном исполнении после выключения мощности 29 МВА при напряжении 7 кВ

В дальнейшем изложение результатов испытаний будет нами вестись по типам, а не в хронологическом порядке.

При испытаниях выключателей в сетях Мосэнерго и Донэнерго испытания проводились совместно с ОБНА ВЭИ, которым были проведены все измерения при испытаниях.

Им же была разработана схема испытаний в сети Мосэнерго. Схема испытаний (управление испытаниями и блокировка) в сетях Ленэнерго и Донэнерго была разработана лабораторией завода «Электроаппарат».

Методика испытаний

Наиболее интересными величинами, измерение которых желательно при испытаниях масляных выключателей на разрывную мощность, являются:

- 1) напряжение до начала короткого замыкания и восстанавливающееся напряжение во всех трех фазах;
- 2) ток короткого замыкания во всех трех фазах;
- 3) скорость восстановления напряжения в момент гашения дуги при переходе тока через нуль;
- 4) скорость движения ножа выключателя при выключении короткого замыкания;
- 5) давление в баке выключателя;
- 6) количество выброшенного масла.

Полностью измерение всех этих величин не могло быть проведено ни при одном опыте ввиду недостаточного числа шлейфов осциллографа. В виде примера укажем, что для измерения только напряжений, тока и давлений во всех фазах трехбакового выключателя (например, ВМ-25) необходимо иметь 9 шлейфов, в то время как количество шлейфов осциллографа при испытаниях в сетях равнялось всего 6, а при испытаниях в лаборатории АЕГ в распоряжении имелся только один трехшлейфовый осциллограф.

Принимая во внимание, что в некоторых случаях при помощи осциллографа производились также и измерения скорости движения ножа выключателя, очевидно, что измерение всех остальных величин было невозможно.

Так как необходимо было все же иметь возможность получения по осциллограмме длительность горения дуги во всех трех фазах, то измерение тока и напряжения производилось по схеме рис. 1.

Дуга всегда гаснет сначала в одной фазе, а затем сразу одновременно в двух остальных фазах. Если первой гаснет дуга в фазе 1, то это ясно отмечается прекращением на осциллограмме тока в этой фазе. При погашении дуги в фазах 2 и 3 это отмечается на осциллограмме кривой напряжения, причем, однако, в этом случае нельзя установить, в какой именно фазе (2 или 3) дуга погасла первой. Во всяком случае при такой схеме включения возможно определить длительность дуги в фазе, выключившейся первой, но и в других двух фазах.

Измерение напряжения во всех случаях производилось посредством включения шлейфа осциллографа во вторичную цепь трансформатора напряжения.

Измерение тока производилось аналогично — путем включения шлейфа осциллографа во вторичную цепь трансформатора тока. При этом для получения достаточно правильных результатов необходимо, чтобы индукция в трансформаторах тока во время короткого замыкания была невелика. Это условие всегда соблюдалось при испытаниях в лаборатории АЕГ и в сети Ленэнерго но не могло быть по местным условиям соблюдено при опытах в сети Донэнерго (на Зуевской грэс), чем объясняется несколько ненормальный вид кривых тока на соответствующих осциллограммах.

Измерение давления в баке выключателя в лаборатории АЕГ производилось при помощи специального прибора ГЕ, основанного на изменении магнитной цепи при перемещении расположенной между полюсами железных сердечников мембраны, на которую передается давление в баке выключателя. При давлении, при увеличении давления по линейному закону прибор питается переменным током с частотой 500 Нз.

Для измерения давления при испытаниях в сети Ленэнерго были попытки применить пружинный крешер специальной конструкции. Однако при дальнейших опытах было выявлено, что этот метод измерений может дать значительную ошибку. При испытаниях в сетях Мосэнерго и Донэнерго применяется прибор, разработанный ВЭИ и основанный на замыкании контактов при деформации мембраны. Однако испытания показали, что этот прибор также может дать значительную ошибку, достигающую нескольких атмосфер. Поэтому в нижеприводимых таблицах результаты измерений давлений нами не приводятся.

Измерение скорости движения ножа выключателя в лаборатории АЕГ производилось специальным прибором, присоединяемым к валу выключателя и дающим кривую зависимости от времени угла поворота вала выключателя $\alpha = f(t)$.

Имея для данного выключателя его кинематическую характеристику $H = \varphi(t)$ (где H — ход ножа выключателя) и находя графическим построением значения $\frac{d\alpha}{dt}$ и $\frac{dH}{d\alpha}$, можно определить для любого момента времени скорость движения ножа.

Перемещение по оси времени пишущего карандаша производится в этом приборе небольшим электромотором. Достоинством прибора являются простота записи и расшифровки и независимости от осциллографа.

Такой же прибор был построен лабораторией завода «Электроаппарат» для испытаний в сети Ленэнерго.

Ввиду невозможности из-за отсутствия подходящих двигателей обеспечить такими приборами все испытания в сетях Ленэнерго, Мосэнерго и Донэнерго лабораторией завода «Электроаппарат» был построен прибор, представляющий собой укрепляемый на валу испытуемого выключателя сектор из изолирующего материала с рядом помещенных на нем контактов. Осциллографируя ток, протекающий через контакты, можно таким образом отметить на осциллограмме моменты прохода выключателем соответствующих положений и по полученным точкам построить кривую $H = \varphi(t)$ и по кривой определить скорость движения ножа в любой момент времени.

Измерение скорости восстановления напряжения на контактах выключателя в момент прохождения тока через нуль не могло быть произведено ни при одном опыте ввиду отсутствия необходимого для таких измерений катодного осциллографа. В связи с этим скорость восстановления напряжения определялась расчетным путем по методу инж. Л. Е. Машкиллейсона. В ряде случаев этот расчет в связи со сложностью схемы коммутации системы был связан с весьма большими трудностями, ввиду чего соответствующие расчеты до момента написания настоящей работы были еще не полностью закончены. В связи с этим величины скорости восстановления напряжения в нижеприводимых таблицах в некоторых случаях отсутствуют.

Количество выброшенного масла измерялось путем непосредственного замера. Эти измерения производились не при всех опытах.

II. Испытание масляных выключателей типа ВМ-5

Программа полных испытаний масляного выключателя ВМ-5 включает испытание его в нормальном исполнении и трех его вариантов медорнизированной конструкции. До настоящего времени произведены только испытания нормального выключателя и выключателя, снабженного общей камерой масляного дутья.

Существующая конструкция выключателя ВМ-5 является достаточно известной. ВМ-5 представляет собой выключатель с простым двухкратным разрывом. Фотография его дана на рис. 2. При испытаниях обычные контакты этого масляного выключателя были заменены на самоустанавливающиеся пальцевые контакты что, очевидно, не могло иметь влияния на процесс выключения короткого замыкания.

Номинальная разрывная мощность ВМ-5 при 6 кВ считалась равной 15 МВА; этот выключатель является самым малым из серии ВМ, выпускаемой заводом «Электроаппарат» и предназначается для установки на медких блоках станциях и маломощных

Эскиз измененного ВМ-5, снабженного общей камерой масляного дутья, изображен на рис. 3. В этом выключателе гашение дуги форсируется дутьем масла через отверстия общей камеры, создаваемого воздействием давления газового пузыря дуги на удаленных от выходных отверстий камеры контактах. Таким образом один из двух разрывов на каждой фазе служит для создания необходимого для дутья давления, которым гасится дуга на другом разрыве.

Все испытания выключателя ВМ-5 производились на Южной подстанции Ленэнерго в Ленинграде, где для испытаний выключателей на 6 и 35 кВ была построена временная испытательная установка.

Результаты испытаний выключателя ВМ-5, в нормальном исполнении и снабженного общей камерой масляного дутья, приведены в табл. 1. Необходимо отметить, что все испытания производились при сравнительно небольших скоростях восстановления напряжения (250 ÷ 530 В/μsec), что возможно, что при других более тяжелых условиях выключение было бы более тяжелым. К сожалению, на данной установке более тяжелые условия испытаний в отношении скорости восстановления напряжения не могли быть получены.

Рассматривая данные табл. 1, мы видим значительные преимущества варианта с общей камерой масляного дутья.

Выключатель ВМ-5 в нормальном исполнении с простым двукратным разрывом уже при мощности 16,8 МВА, т. е. не на много превышающей его номинальную разрывную мощность, выбросил при выключении 4 л масла. Предельная разрывная мощность его, повидимому, около 25 МВА. Таким образом хотя выключатель и имеет некоторый запас, но работа его не может считаться вполне удовлетворительной.

Тот же выключатель, но с камерой масляного дутья, выключил мощность в 19,2 МВА без выбросов масла. Предельная разрывная мощность его, повидимому, более 35 МВА.

Необходимо указать, что испытывавшийся выключатель с масляным дутьем имел один существенный недостаток, который вероятно, не дал возможности полностью использовать преимущества этого метода гашения дуги. Обращаясь к рис. 3, мы видим, что в нижнем направляющем отверстии камеры дутья имеется весьма большой зазор (6 мм на сторону). Из-за этого давление в камере через зазор в нижнем отверстии передавалось на дно, а дутье на дугу уменьшалось. Этим, вероятно, можно объяснить выбрасывание масла при выключении мощностей более 30 МВА и по этой же причине, возможно, произошло разрушение выключателя при последнем опыте.

Применение масляного дутья позволило добиться значительного сокращения длительности горения дуги. В то время как при нормальном ВМ-5 гашение дуги происходило при средних градиентах не более 1390 В/см, при применении масляного дутья эта цифра увеличивается до 2000 В/см и даже до 4370.

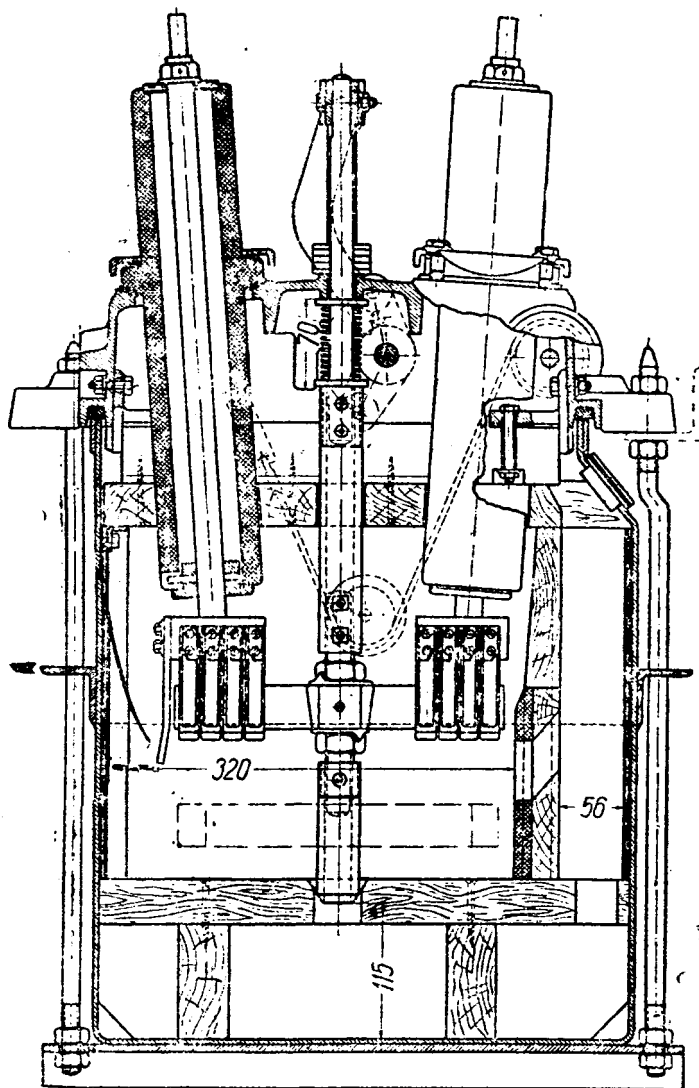


Рис. 3. Эскиз ВМ-5 с общей камерой масляного дутья

Испытания этого выключателя производились в лаборатории АЕГ и на Южной подстанции Ленэнерго в Ленинграде. Произведенное большое количество испытаний позволило с достаточной полнотой выяснить характеристики этого выключателя в нормальном исполнении.

III. Испытание масляного выключателя типа ВМ-14

Масляный выключатель ВМ-14 имеет номинальную разрывную мощность 100 МВА и по своей конструкции аналогичен выключателю ВМ-5, отличаясь от него, главным образом, только размерами.

Таблица 1

Результаты испытаний масляного выключателя ВМ-5. Трехфазное короткое замыкание. Цикл СО

№ опытов	Конструкция ВМ	Напряжение		Ток в дуге кА	Разрывная мощность по амперканскому определению МВА	Скорость восстановления напряжения В/μsec	Длительность дуги в полупериодах	Длина дуги на 1 разрыв см	Средний градиент на ст длины дуги В/см	Количество выброшенного масла л	Скорость травессы в момент расхождения контактов м/сек	Примечание
		до начала короткого кВ	восстанавливающее кВ									
1	В нормальном исполнении	7,1	7,1	1,37	16,8	270	4,5	3,9	910	4	0,95	Выпучило стенки бака на 10—15 мм. Вырвало по шву дно бака. Короткое выключение
2	„ „	6,95	6,95	1,83	22,0	310	2	2,5	1390	3	0,85	
3	„ „	Осциллограмма не получена			Около 25,0	Около 330	—	—	—	—	—	
4	„ „	7,0	7,0	2,4	29,0	340	6,5	5,0	700	Очень много	Не измер.	Сильно выпучило стенки бака
5	„ „	7,0	7,0	2,25	27,5	340	Не выкл.	—	—	—	—	Вырвало дно и лопнула крышка
6	С общей камерой масляного дутья	6,9	6,9	1,61	19,2	300	3,5	2	1720	0	0,7	Очень легкое выключение
7	То же	7,0	7,0	2,63	32,1	330	1	0,8	4370	Много	0,7	
8	То же	7,1	7,1	2,96	36,3	530	2	1,7	2100	Очень много	0,7	Расперло камеру масляного дутья
9	То же	7,0	7,0	5,1	61,7	250	Не выкл.	—	—	—	—	Выключатель взорвался. Вырвало дно и выпучило бак

Рис. 4. Осциллограмма выключения ВМ-14

В настоящее время заводом «Электроаппарат» подготовлено несколько вариантов модернизированного ВМ-14 с использованием современных методов гашения дуги, но, к сожалению, по ряду причин испытания этих модернизированных вариантов до момента окончания настоящей статьи не могли еще быть произведены, и описание их является предметом одной из дальнейших работ.

Испытанию подвергались выключатели на рабочую силу тока 200, 600 и 1000 А с обычными контактами и с самоустанавливающимися пальцевыми контактами.

Результаты испытаний приведены в табл. 2, причем тип контактов в таблице не указан, так как в данном случае тип контактов не имел влияния на процесс гашения дуги.

На рис. 4 дана типичная осциллограмма выключения ВМ-14, характер которой аналогичен осциллограммам выключения ВМ-5. Можно полагать, что такой характер осциллограмм является вообще типичным для выключателей с простым двухкратным разрывом.

Опыты с ВМ-14 производились в широком диапазоне выключаемых токов (от 600 до 12000 А) и скорости восстановления напряжения (от 480 до 1300 В/мsec). Скорость движения траверсы менялась в пределах от 1,1 до 2,1 м/сек. Довольно значительное количество опытов позволяет, таким образом, оценить влияние всех этих факторов.

Анализ приведенных в табл. 2 результатов показывает, что длительность дуги увеличивается (т. е. гашение дуги утяжеляется) при увеличении скорости восстановления напряжения и уменьшения тока и скорости движения траверсы. Утяжеление условий гашения дуги при увеличении скорости восстановления напряжения вполне понятно, так как для гашения дуги необходимо, чтобы скорость дейонизации дугового промежутка превосходила скорость восстановления напряжения; скорость дейонизации увеличивается с увеличением длины дуги.

Облегчение гашения дуги при увеличении тока находится в полном согласии с современной теорией гашения электрической дуги. При увеличении тока происходит усиление газообразова-

ния и ускорение перемещения дуги вследствие магнитного дутья. Ввиду этого дуга держится близко к границам газового пузыря, что опять-таки ускоряет процесс газообразования. Все явления приводят к усилению вихревых движений газа в зоне дуги, что ведет к усилению дейонизации дуги и к облегчению гашения.

Уменьшение длительности дуги при увеличении скорости движения траверсы происходит по двум причинам. С одной стороны, при большей скорости движения траверсы для достижения той же длины дуги требуется меньший промежуток времени. С другой стороны, более быстрое растягивание дуги быстрее приводит последнюю в соприкосновение со свежими слоями масла, что увеличивает скорость газообразования и способствует повышению скорости дейонизации дугового промежутка.

В виде иллюстрации на рис. 5 приведена построенная по данным табл. 2 зависимость длительности дуги в полупериодах от величины $\frac{e}{iv}$, где e — скорость восстановления напряжения мsec, i — ток в дуге (кА), v — скорость траверсы (м/сек).

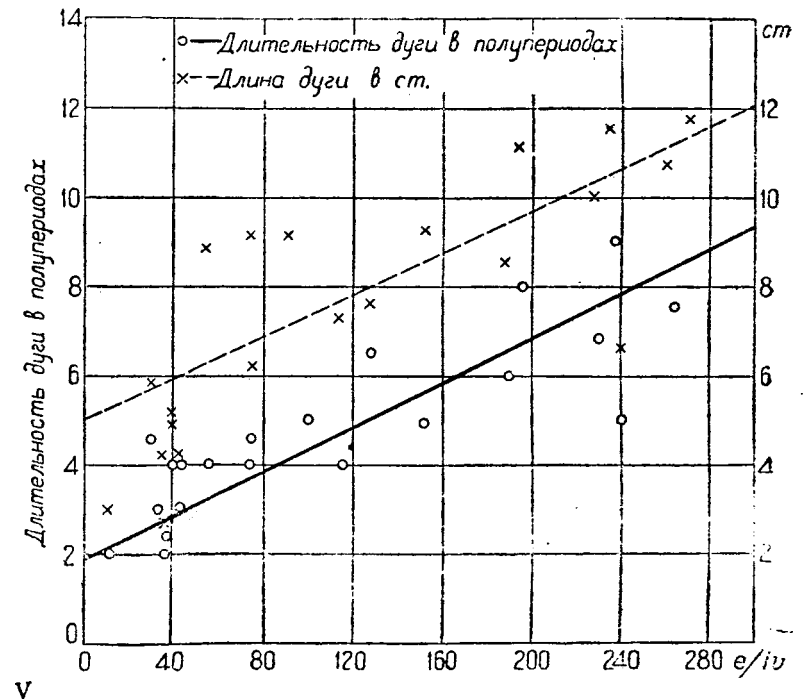


Рис. 5. Длительность дуги ВМ-14

Таблица 2

Результаты испытаний. ВМ-14 Трехфазное короткое замыкание. Цикл СО

№ п/п	Места испытаний	Напряжение		Ток в дуге кVА	Разрывная мощность по американскому определению MVA	Скорость восстановления напряжения V/мsec	Длительность дуги в полупериодах	Длина дуги на 1 разрыв см	Средний градиент на 1 см длины дуги V/см	Количество выброшенного масла l	Давление в баке ат	Скорость траверсы в момент расхождения контактов м/сек	Номинальный ток выключателя А	Примечания
		до короткого замыкания кV	восстанавливающее кV											
1	Лаборатория АЕГ	3,0	2,9	0,6	3,1	180	5	6,8	220	0	0	1,25	200	
2	"	6,0	5,8	1,1	11,5	360	7,5	10,5	285	Мало 1/3 всего колич.	Не из.	1,25	200	
3	"	10,0	9,7	1,75	30,0	600	15	11,8	423	0	6	1,25	200	
4	"	6,0	5,8	1,07	11,0	360	7	10,0	300	0	0	1,45	200	
5	"	10,0	9,5	ок.1,7	ок. 30,0	580	9	11,6	430	2	4	1,45	200	
6	"	10,0	9,5	2,73	47,0	770	8	11,1	450	4	5	1,45	200	
7	"	2,64	2,34	3,44	15,6	200	4	5	264	0	0	1,45	200	
8	"	6,4	5,4	6,8	75,0	475	4	5	640	2	4	1,7	200	
9	"	8,7	7,4	9,2	139,0	650	3	4,1	1060	4	6,5	1,7	200	
10	"	8,3	7,4	11	158,0	650	3	4,1	1050	3-4	6,5	1,7	200	
11	"	8,9	7,8	10,8	166,0	690	2	2,7	1650	1,5	3	1,7	200	
12	"	10,2	8,7	12	212,0	770	2,5	3,5	1460	4	5	1,7	200	
13	"	10,2	9,4	2,52	45,0	800	6	8,4	610	Не измер.	3	1,7	200	
14	"	6,0	5,8	3	31,0	900	5	9,3	322	2	5	1,97	600	
15	"	6,0	5,6	5	52,0	950	4	7,3	410	1	4	1,65	600	
16	"	6,3	5,8	7,9	86,0	1200	5	9,2	340	7	5	1,65	600	
17	"	8,3	5,8	9,2	100,0	1300	4	9,2	340	4,5	4	1,9	600	
18	"	6,4	5,7	11,2	124,0	1300	4	8,9	360	Не измер.	4	2,1	600	
19	"	2,95	2,85	3	15,5	250	6	8	184	0	4	1,1	1000	
20	"	3,0	2,8	5,9	31,0	Не подся.	5	6,1	245	Не измер.	5	1,1	1000	
21	Сеть Ленэнерго	7,5	7,5	2,32	30,0	360	6,5	7,7	485	6	—	1,22	600	
22	"	7,6	7,6	3,4	45,0	330	4,5	6,2	610	6	—	1,3	600	
23	"	7,5	7,5	7,45	97,0	300	4,5	5,9	640	4	—	1,26	600	
24	"	7,1	5,3	12,7	156,0	190	2	3,0	1180	0	—	1,22	600	

При испытаниях ВМ-14, хотя разрывные мощности достигали величины в 2 с лишним раза превосходящей номинальную разрывную мощность выключателя, не было ни одного отказа от выключения и ни одного случая взрыва выключателя. Однако наблюдались случаи, когда в результате развивавшегося в выключателе давления происходило выпучивание стенок бака, не мешавшее, впрочем, дальнейшей работе.

В виде иллюстрации на рис. 6 приведена фотография ВМ-14, снятая после опыта № 3 (табл. 2), а на рис. 7 такая же фотография, снятая после опыта № 18 (табл. 2). Эти фотографии интересны также и тем, что они ясно показывают преимущества самоустанавливающихся пальцевых контактов и недостатки слишком острого профиля ножа. Профиль ножа, приведенный на рис. 7, является, по видимому, значительно более выгодным, так как острый нож после первого же выключения обгорает и, оплавляясь, приближается по форме к ножу с параллельными гранями.

Обращает на себя внимание большая разбросанность результатов испытаний. Это показывает, что в выключателе с простым двукратным разрывом гашение дуги в значительной степени зависит от случайных факторов, и таким образом в одних и тех же условиях могут иметь место и легкие и более тяжелые случаи выключения. В случаях, когда для гашения дуги в выключателе применяется устройство, использующее правильные принципы гашения, основанные на современной теории электрической дуги, результаты испытаний получаются значительно более однородными.

Хотя испытания ВМ-14 показали, что последний даже в весьма тяжелых условиях достаточно надежно выключает мощности, значительно превосходящие номинальную разрывную мощность, но все же этот выключатель является устаревшим типом и нуждается в модернизации. Почти все выключения сопровождались большими выбросами масла через отверстия в крышке, причем при больших разрывных мощностях масло выбрасывалось на высоту нескольких метров. Нет никакого сомнения в том, что при надлежащем изменении и использовании современных принципов гашения дуги этот недостаток выключателя ВМ-14 может быть устранен, и его надежность и разрывная мощность могут быть значительно увеличены без увеличения габаритов.

IV. Испытания масляного выключателя типа ВМ-22

Масляный выключатель ВМ-22 представляет собой также однобаковый выключатель с простым двукратным разрывом. Главнейшие отличия его от типа ВМ-14 заключаются в следующем:

- Бак ВМ-22 круглой формы и значительно прочнее прямоугольного бака у ВМ-14.
- Ход выключателя примерно на 50% больше, чем у ВМ-14.
- Выключатель ВМ-32 для напряжений до 10 кВ не имеет междуфазовых перегородок.
- Выключатель ВМ-22 снабжен предохранителями от чрезмерного повышения давления в виде латунных трубок, сжимаемых стягивающими крышку болтами и деформирующихся при повышении давления, вследствие чего происходит оседание бака, и между баком и крышкой открывается кольцевая щель.

Номинальная разрывная мощность выключателя до испытаний была принята равной 150 МВА.

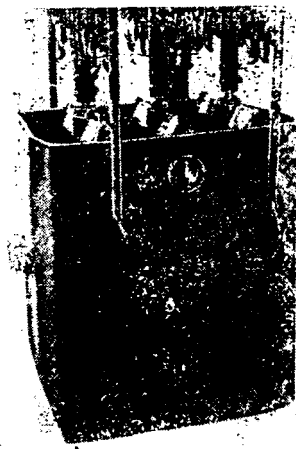


Рис. 6. ВМ-14 после выключения мощности 30 МВА при напряжении 10 кВ

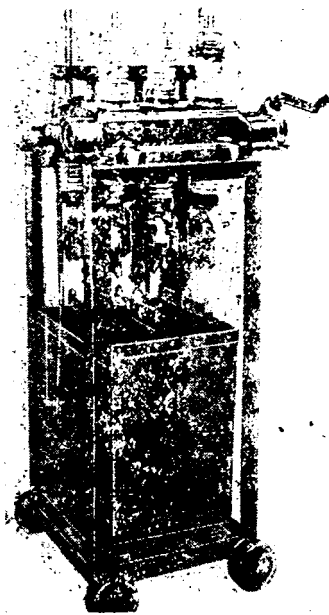


Рис. 7. ВМ-14 после выключения мощности 124 МВА при напряжении 6,4 кВ

Очевидно, что при одинаковых условиях выключение ВМ-22 должно быть легче, чем ВМ-14. Действительно, больший ход ВМ-22 дает большую гарантию того, что дуга погаснет до конца хода, и следовательно, появление очень длительной дуги менее вероятно. Отсутствие междуфазовых перегородок усиливает влияние дуги одной фазы на другую, что может привести к усилению вихревых движений и, следовательно, к облегчению гашения дуги. Большая герметичность бака и крышки и большая их прочность позволяют, очевидно, вести работу при более высоких давлениях в баке без чрезмерных выбросов масла.

Вышесказанное подтверждается данными табл. 3, в которой приведены результаты испытания ВМ-22 до напряжения 10 кВ.

Все испытания ВМ-22 производились в лаборатории АЕГ. Испытаниям подвергались ВМ-22 600 А с чугунной крышкой и ВМ-22 1500 А с латунной крышкой, причем ввиду пробоя одного из изоляторов последним при предварительном испытании изоляции испытания с этим выключателем заключались только в выключении двухфазного короткого замыкания.

Приведенные в табл. 3 результаты испытаний показывают, что номинальная разрывная мощность ВМ-22 (150 МВА) преуменьшена и может быть увеличена до 200 МВА, в особенности в случае более прочной латунной крышки.

Типичные осциллограммы выключения, приведенные на рис. 8, аналогичны по характеру осциллограммам ВМ-14, отличаясь от

Таблица 3

Результаты испытаний ВМ-22 при 10 кВ. Цикл СО; опыты № 3 и 4—цикл ОСО

№ по пор.	Номинальный ток А	Число фаз при коротком замыкании	Напряжение		Ток в дуге кА	Разрывная мощность по американскому определению МВА	Скорость восстановления напряжения V/μsec	Длительность дуги в полупериодах	Длина дуги на 1 разрыв см	Средний градиент на 1 см длины дуги V/cm	Давление в баке ат	Скорость травясы в момент расхождения контактов m/sec	Количество выброшенного масла л	Примечание
			до короткого замыкания кВ	восстановительное напряжение кВ										
1	600	3	3,5	3,1	15	91	300	2	4,3	407	3	1,6	0,5	
2	600	3	5,7	4,8	20,4	202	450	3,5	7,8	365	3	1,8	1	
3	600	3	5,9	4,8	6,45	66	950	4	ок. 8,5	ок. 347	Не измер.	1,6	Не измер.	Цикл ОСО
4	600	3	8,5	6,85	9,2	235	650	3,5	ок. 7,0	610	Не измер.	1,6	" "	" "
5	600	3	5,6	4,5	6,3	61	400	3	6,8	410	1	2,0	0	
6	600	3	8	6,4	9,2	127	560	5	10,6	380	1,5	2,15	2	
7	600	3	9,5	7,8	11,7	193	690	5	12,0	395	1,5	2,2	4	
8	600	3	10,6	8,9	13,7	252	790	2	2,7	1960	1,5	2,4	3	Лопнула чугун. крышка
9	1500	2	5,8	5,2	4,4	44	830	3	4,4	660	Не измер.	1,7	0	
10	1500	2	10	9,1	6,4	110	1450	6	11,8	420	" "	1,8	5	
11	1500	2	9,9	8,7	10,8	185	770	3	9,0	550	" "	1,8	3	
12	1500	2	12	10,6	13,5	281	940	5	11,0	545	" "	1,75	5	
13	1500	2	7,2	6,4	22,8	283	570	3	9,0	400	" "	2,3	24	
14	1500	2	2,7	2,5	9,2	43	220	4	5,6	250	" "	1,7	0,5	Подействовали 2 предохранителя. Выключатель не поврежден
15	1500	2	7,6	6,8	26	342	600	3	7,4	510	" "	2,9	9	

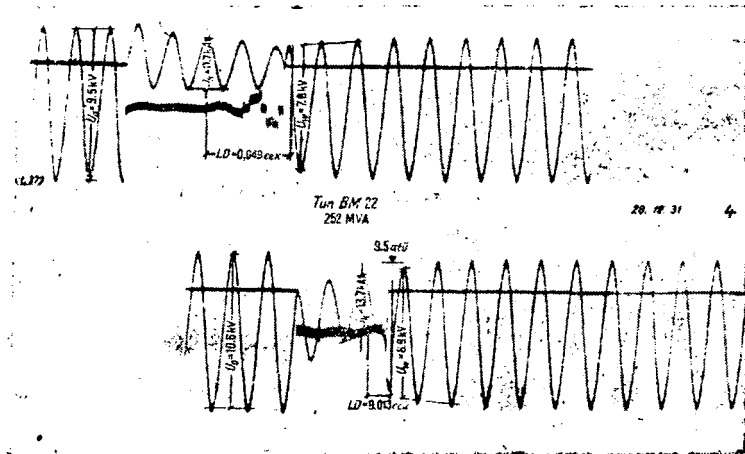


Рис. 8. Осциллограммы выключения ВМ-22

последних меньшей длительностью дуги и большими зубцами на кривой напряжения на дуге, что в соответствии с вышеизложенным говорит о несколько более интенсивной дейонизации.

Имевшая место при опыте № 8 поломка крышки выключателя не помешала выключению, и даже количество выброшенного масла в этом случае было невелико. Повидимому, эта авария в значительной степени объясняется случайными дефектами отливки, имеющей в месте излома не вполне однородный вид.

Фотография ВМ-22 с лопнувшей крышкой, снятая после опыта № 8, приведена на рис. 9.

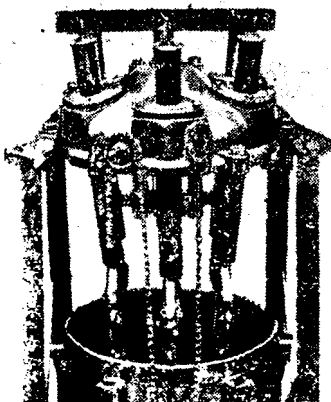


Рис. 9. ВМ-22 600 А после выключения мощности 275 MVA

Обгорание контактов, которые во всех опытах, начиная с № 5, были взяты типа самоустанавливающихся пальцевых контактов, лежит в допустимых пределах.

На рис. 10 представлена фотография искрогасительных контактов и предохранительных трубок ВМ-22 после 7 выключений коротких замыканий (опыты № 8—15) без смены контактов. Как

видно из рис. 10, предохранительные трубки деформируются неодинаково. Это является крупным недостатком, так как не дает гарантии в том, что предохранители будут действовать всегда при одном и том же давлении.

Результаты испытаний ВМ-22 на 10 kV показывают, что этот выключатель уже близок к современным масляным выключателям, и его характеристики при применении новейших методов гашения дуги могут быть значительно улучшены. Соответствующие варианты модернизированного ВМ-22 разработаны заводом «Электроаппарат» еще в 1932 г., но по ряду причин испытания этой измененной конструкции не могли быть до настоящего времени произведены.

Значительно худшие результаты были получены при испытаниях ВМ-22 на 22 kV, результаты которых приведены в табл. 4. В этом случае ход выключателя при больших скоростях восстановления напряжения оказывается уже недостаточным, и при одном опыте выключения мощности в 42 MVA дуга не разорвалась, но выключатель не пострадал. Поэтому ход ножей ВМ-22 был увеличен с 140 до 193 мм (в свету), после чего выключатель легко выключил 6 коротких замыканий до разрывной мощности в 139 MVA (номинальная разрывная мощность ВМ-22 при



Рис. 10. Искрогасительные контакты и предохранительные трубки ВМ-22 1500 А после выключения мощности 340 MVA

22 kV составляет 95 MVA). Отсюда, очевидно, следует, что и этот выключатель нуждается в модернизации. К сожалению, ввиду трудностей, связанных с организацией испытаний выключателей в сетях, испытания подготовленного еще в 1932 г. модернизированного образца до настоящего времени еще не могли быть проведены.

На рис. 11 приведены типичные осциллограммы выключения ВМ-22 при 22 kV, а на рис. 12 — фотография контактных частей ВМ-22 после опыта № 9.

Для выключателя ВМ-22, как и для ВМ-14, на процесс гашения дуги оказывает сильное влияние скорость восстановления напряжения. Влияние скорости движения траверсы для ВМ-22 менее ощутимо, вероятно, ввиду большего объема бака и, следовательно, менее интенсивного завихрения масла ввиду меньшего отражения от стенок бака и междуфазовых перегородок. Эти положения иллюстрируются кривыми рис. 13 и 14, причем на рис. 13 нанесена пунктиром аналогичная кривая для ВМ-14, взятая из рис. 5.

Кривые рис. 5, 13 и в особенности 14 ясно показывают значение скорости восстановления напряжения, без знания которой

Таблица 4

Результаты испытаний ВМ-22 при 20 kV. Трехфазное короткое замыкание. Цикл СО

№ опытов	Ход выключателя в свету мм		Напряжение		Ток в дуге кА	Разрывная мощность по амперкапскому определению MVA	Скорость восстановления и напряжения V/мsec	Длительность дуги в полупериодах	Длина дуги на 1 разрыв см	Средний градиент на 1 см длины дуги V/cm	Давление в баке ат	Количество выброшенного масла л	Скорость траверсы в момент расхождения контактов м/сек.	Примечание
	до короткого замыкания kV	восстановившаяся kV	до короткого замыкания kV	восстановившаяся kV										
1	140	14,7	13,0	1,51	38,5	3 300	10	14	525	0	Очень мало	2	Выключатель не пострадал	
2	140	14,8	13,1	1,48	37,6	3 200	8	14	530	3	0,75	2		
3	140	21,6	20,2	1,12	42,0	3 700	Не выкл.	14	—	0	Очень много	2		
4	193	12,2	10,6	1,7	37,0	1 080	6	14,9	410	0,8	0	2		
5	193	16,5	14	2,1	60	1 450	6	15,1	550	1	0	1,8		
6	193	20,1	15,9	2,4	87,0	1 780	8	17,6	575	1,2	3	2		
7	193	23	17,8	2,8	112,0	2 000	8	17,2	670	3,2	4	1,9		
8	193	25,1	20,4	3,2	139,0	2 200	9	18,3	685	2,5	Не измер.	18		
9	193	24,1	21,4	1,02	42,5	5 500	14	19,3	625	0	Не измер.	1,9		

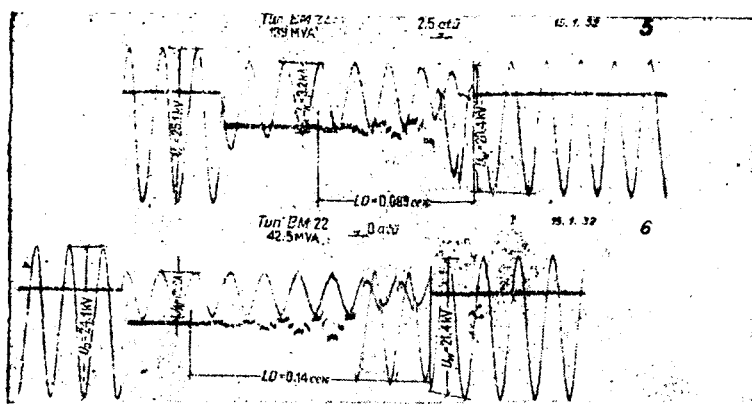


Рис. 11. Осциллограмма выключения ВМ-22 при напряжении 20 kV

результаты опыта не могут быть правильно анализированы и ценность их сильно уменьшается.

V. Испытания масляных выключателей типов ВМ-25 и ВМ-35

Испытания масляных выключателей ВМ-25 и модернизированного выключателя ВМ-35 производились в лаборатории и в сетях Мосэнерго, Донэнерго и Ленэнерго. Выключатель ВМ-25

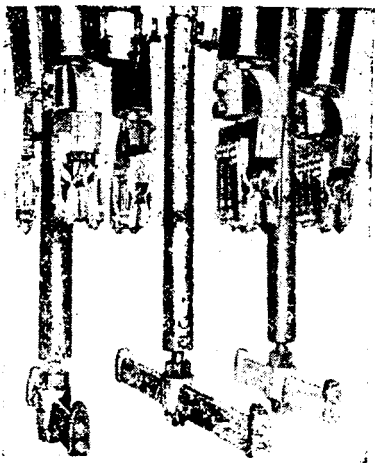


Рис. 12. Контакты ВМ-22 после выключения мощности 140 MVA при напряжении 20 kV

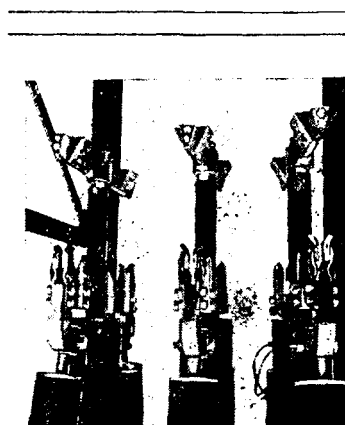


Рис. 15. Контакты ВМ-25 после выключения мощности 130 MVA при напряжении 25 kV

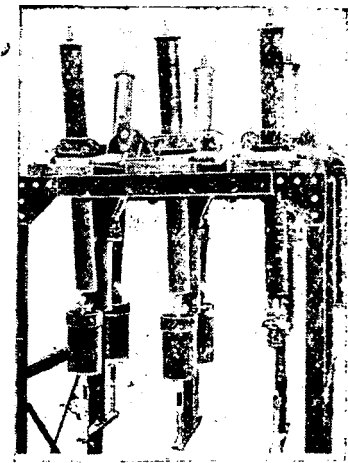


Рис. 16. ВМ-25 с гасительными камерами перед испытаниями

строится на номинальное напряжение 35 kV и в старом исполнении представлял собой трехбаковый выключатель с простым двукратным разрывом. Прочность баков ввиду их овальной формы не особенно велика, и разрушение их начинается при

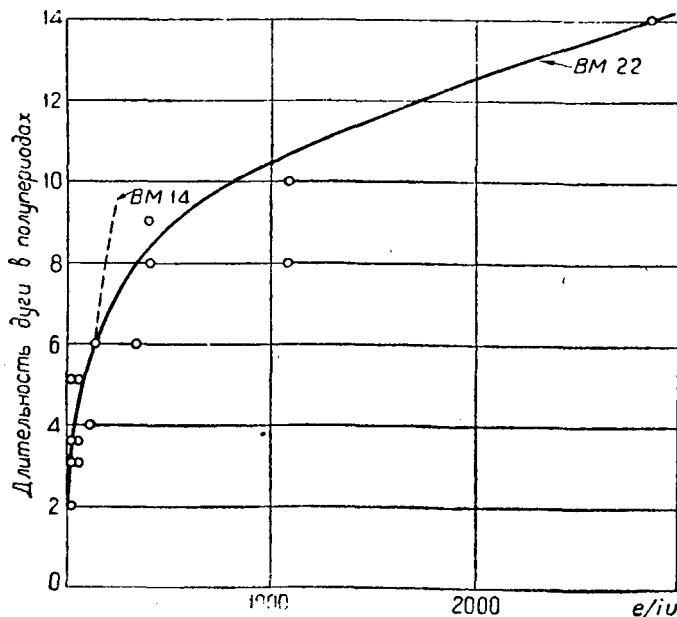


Рис. 13. Длительность дуги ВМ-22

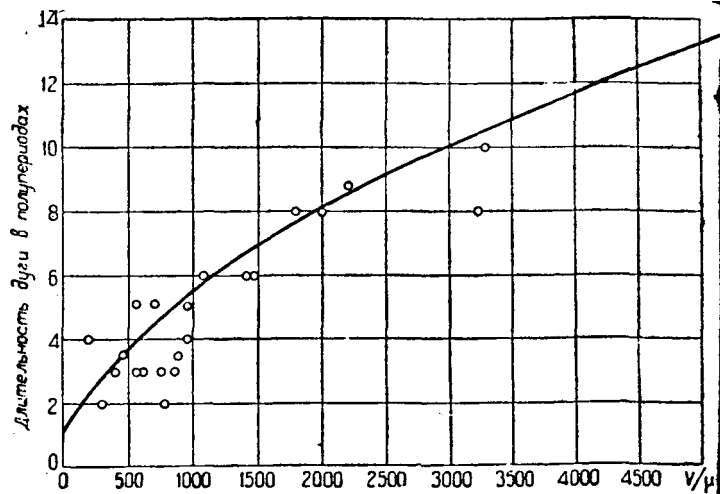


Рис. 14. Длительность дуги ВМ-22

давлении порядка 10 ат. Фотография контактной части этого выключателя приведена на рис. 15.

Номинальная разрывная мощность ВМ-25 в старом исполнении то аналогии с соответствующими конструкциями иностранной фирмы была принята равной 250 MVA.

Первые же испытания этого выключателя, произведенные в лаборатории АЕГ, показали, что при имевших место во время этих испытаний больших скоростях восстановления напряжения (до 5 800 V/μsec) ВМ-25 вообще не может погасить дугу. У влетворительные выключения при напряжении 25 kV имели место только до скорости восстановления напряжения 1 750 V/μsec, причем в этих условиях ВМ-25 выключил мощность 120 MVA.

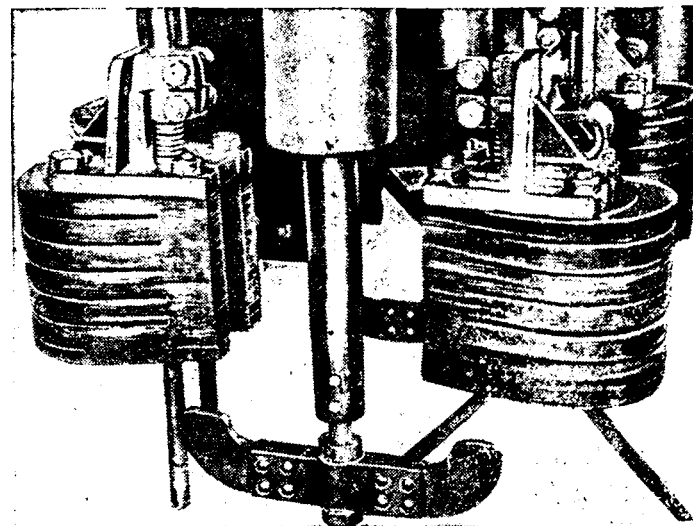


Рис. 17. Контактная система ВМ-35

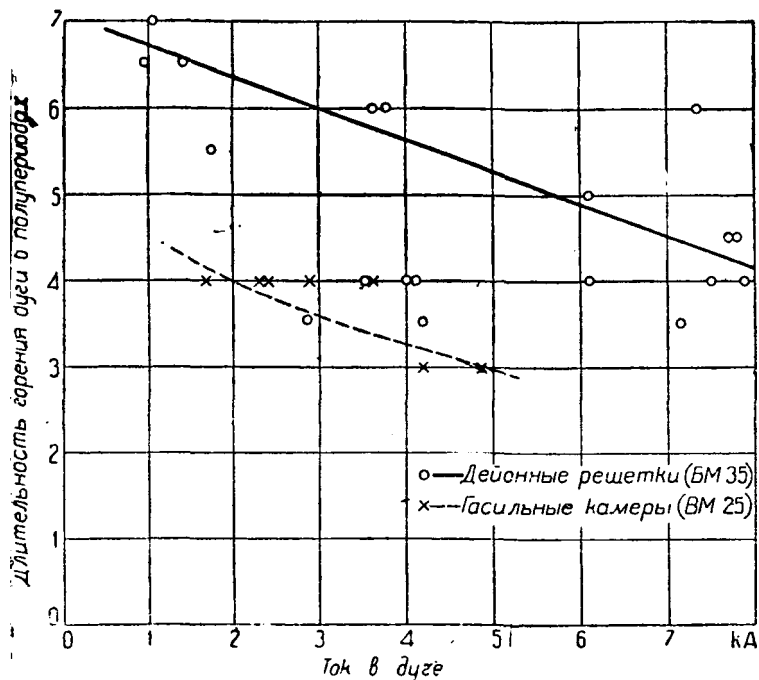


Рис. 18. Зависимость длительности дуги от величины тока для VM-25 с газильными камерами и VM-25 с дейонными решетками

вление в баке достигло 3,8 ат, и выключатель выбросил 4 л масла. В дальнейшем было произведено контрольное испытание сети Мосэнерго при значительно меньшей скорости восстановления напряжения (около 800 В/мкс). Выключаемая мощность в этом случае равнялась 150 MVA при напряжении 36,2 кВ. Длительности дуги достигла 20 полупериодов; и хотя дуга была гашена выключателем, но вследствие значительного повышения давления произошел взрыв с весьма тяжелыми повреждениями выключателя. В результате взрыва произошел разряд поному изолятору, и получившееся однофазное заземление (уставка не имела заземления нейтрали) перешло во вторичное короткое замыкание, выключенное защитным выключателем. Попытки добиться лучшей работы путем увеличения скорости ижения траверсы не дали удовлетворительных результатов. После получения первых же неудовлетворительных результатов при испытаниях в лаборатории AEG были сделаны попытки улучшить выключатель, встроив в него обычные газильные меры, как показано на фотографии рис. 16. Результаты испытаний показали сразу чрезвычайно резкое улучшение работы выключателя, сравнительно легко выключившего мощность в 0 MVA при 37,8 кВ и скорости восстановления напряжения 750 В/мкс.

При следующем выключении 150 MVA при чрезвычайно высокой скорости восстановления напряжения (7 700 В/мкс), несмотря на небольшую длительность дуги и небольшое давление в баке, произошла поломка крышки, и один из изоляторов был сдвинут во фланце вверх на 10—15 мм. Эта авария произошла вследствие значительной отдачи камер при выходе из них стержнеподвижного контакта и передачи соответствующего усилия крышке. Обгорание контактов при этом было весьма незначительным.

Так как добавление газильных камер требовало усиления вышки VM-25, а кроме того, требовало увеличения высоты бака, то заводом «Электроаппарат» было решено идти по другому пути и модернизировать выключатель VM-25 встраиванием него пластинчатых дугогасителей (дейонных решеток).

Контактная система этого типа выключателя, названного VM-35, изображена на фотографии рис. 17.

Предварительные испытания VM-35, произведенные в сети Мосэнерго до разрывной мощности 250 MVA, дали весьма хорошие результаты. Дальнейшие опыты, произведенные в сети Донэнерго при диапазоне разрывных мощностей от 184 до 515 MVA, и опыты в сети Ленэнерго при несколько большей скорости восстановления напряжения и диапазоне разрывных мощностей от 57 до 437 MVA в общем подтвердили результаты первых испытаний в сети Мосэнерго и позволили считать разрывную мощность VM-35 порядка 400 MVA. Оценивая грубо разрывную мощность VM-25 в старом исполнении величиной порядка 100 MVA, мы имеем здесь, таким образом, блестящий пример увеличения разрывной мощности выключателя в четыре раза без изменения габаритных размеров и при одновременном повышении надежности. Таких блестящих результатов удалось добиться благодаря использованию современных методов гашения дуги и проведения систематических испытаний.

Сводка результатов испытаний VM-25 в старом исполнении и с встроенными гасительными камерами и VM-35 дана в табл. 5. Рассматривая данные этой таблицы, можно сделать следующие выводы.

Преимущества гасительных камер и дейонных решеток над простым двукратным разрывом совершенно очевидны. Несколько труднее произвести сравнение гасительных камер и дейонных решеток. Судя по количеству выброшенного масла, выключение в случае применения дейонных решеток происходит значительно легче. В то время как VM-25 с газильными камерами при выключении мощности 320 MVA выбросил 3,5 л масла, выключатель VM-35 с дейонными решетками практически не выбрасывал масла до разрывной мощности 515 MVA. При испытаниях в сети

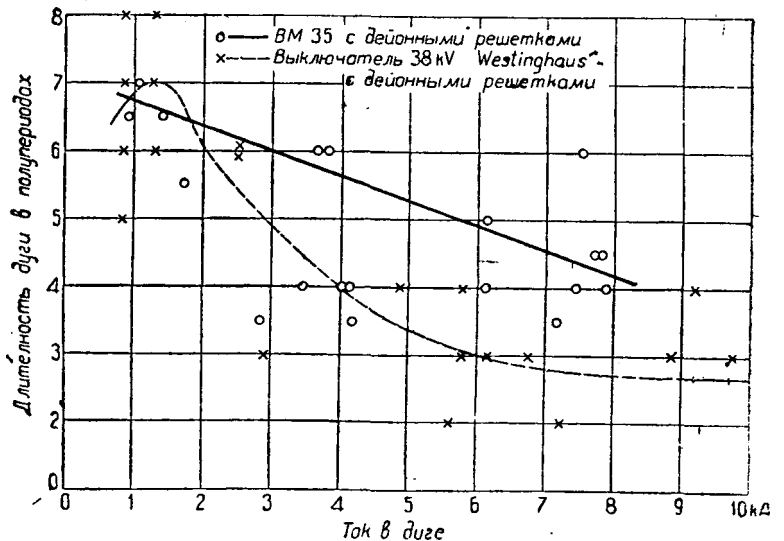
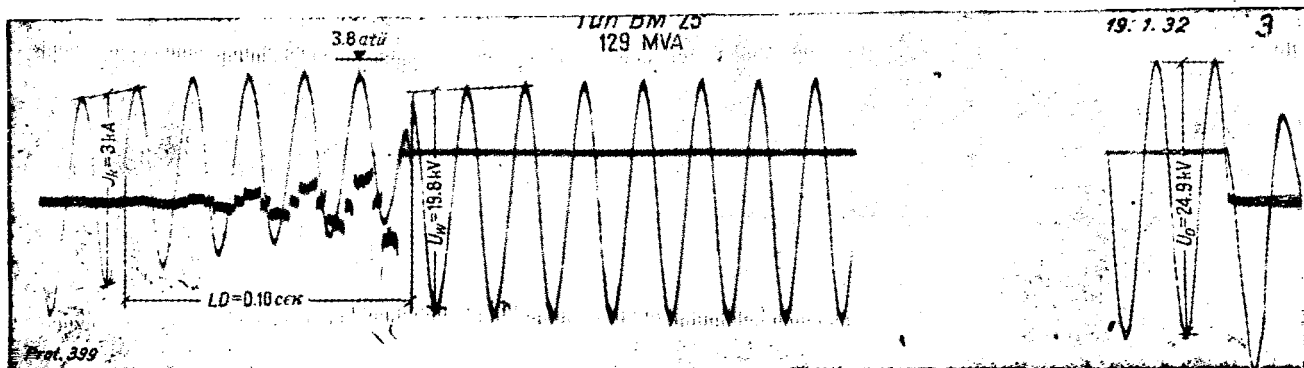


Рис. 19. Зависимость длительности дуги от силы тока для VM-35 и масляного выключателя Westinghouse с дейонной решеткой

Ленэнерго, правда, наблюдались случаи взрыва газов под крышкой, сопровождавшиеся выбрасыванием дыма и пламени, причём в одном случае даже произошло вырывание дна одного из баков. Вырывание дна бака является случайным, так как сварка дна оказалась дефектной, и никаких других повреждений баков и крышек не было обнаружено.

То обстоятельство, что другие случаи взрыва газов под крышкой не сопровождались никакими повреждениями, указывает на весьма небольшое газообразование.



Т И П	Цикл испытания	Напряжение		Ток в дуге кА	Разрывная мощность по американскому определению МВА	Скорость восстановления напряжения V/μsec	Длительность дуги в полупериодах	Давление в баке ат	Количество выброшенного масла л	Скорость траверсы в момент расхождения контактов м/сек	Место испытания	Примечания
		до короткого замыкания кV	восстанавливающее кV									
ВМ-25 нормальный	ОС	19	17,4	0,87	27,6	3,500	8	Не измер.	Мало	1,5	Лаб. АЕГ	
" "	СО	18	16,7	0,098	3,0	3,400	15	0	2	1,7	" "	
" "	СО	18	16,5	0,098	3,0	3,400	8	0	Мало	1,7	" "	
" "	СО	35,6	—	0,162	10,0	5,600	Не выкл.	5,3	Очень много	1,7	" "	Выключатель не пострадал. Короткое ликвидировано радмагнитическим генератором. Выключатель взорвался. В среднем баке вырвано дно. Все баки выпучились.
" "	СО	38,3	34,7	1,12	71,0	5,800	24	Не измер.	—	1,5	" "	
" "	СО	15,7	13,2	1,85	50,0	1,150	7	1,5	0	2,5	" "	
" "	СО	19,5	16,1	2,28	77,0	1,400	8	2,5	0	2,5	" "	
" "	СО	24,9	19,8	3,0	129,0	1,750	10	3,8	4	2,5	" "	
" "	СО	36,2	34,2	2,53	159,0	520	20	—	—	Ок. 1,5	Сеть Мосэнерго	Выключатель взорвался. В результате взрыва произошло вторичное короткое замыкание, выключенное защитным масляником
М-25 с гасительными камерами	СО	15,3	12,5	1,7	45,0	1,100	4	3,0	0	1,6	Лаб. АЕГ	
" "	СО	19,3	16,2	2,3	77,0	1,400	4	1,8	0	1,6	" "	
" "	СО	24,2	20,4	2,9	112,0	1,800	4	3,2	0,25	1,6	" "	
" "	СО	29,2	24,4	3,6	182,0	2,100	4	2,7	0,5	1,6	" "	
" "	СО	33,0	26,2	4,2	240,0	2,300	3	2,3	0,75	1,6	" "	
" "	СО	37,8	31,0	4,9	320,0	2,750	3	3,4	3,5	1,6	" "	
" "	СО	37,5	34,0	2,3	150,0	7,700	4	2,2	0	1,6	" "	Лопнула крышка выключателя. Один из изоляторов выдвинулся во фланце 10—15 мм
ВМ-35 (с пласт. дугогасителями)	СО	36,0	—	2,1	131,0	450	оспил. не получена	—	0	1,2	Сеть Мосэнерго	
Вибровые решетки	СО	36,0	35,3	3,9	243,0	800	4	—	0	1,2	" "	
" "	СО	36,0	31,4	3,8	234,0	800	6	—	Оч. мало	1,2	" "	
" "	СО	36,0	36,0	4,05	231,0	950	4	—	Оч. мало	1,2	" "	
" "	СО	37,4	33,0	2,86	184,0	250	3,5	—	0	1,7	Сеть Домэнерго	
" "	СО	36,0	31,8	3,55	220,0	250	4	—	0	1,7	" "	
" "	СО	36,0	35,0	4,13	258,0	—	3,5	—	0	1,8	" "	
" "	СО	36,0	32,8	7,4	460,0	—	6,0	—	Оч. мало	1,6	" "	
" "	СО	37,8	33,2	7,7	502,0	—	4,5	—	Оч. мало	1,7	" "	
Прессшп. решетки	СО	36,0	осциллограмма не получ.	—	300,0	—	—	—	0	—	" "	
" "	СО	37,0	31,0	7,45	475,0	—	4	—	Немного	—	" "	
" "	СО	36,0	33,3	6,1	380,0	—	4	—	0	—	" "	
" "	ОСО	36,0	34,0	6,1	380,0	—	5	—	1,2	—	" "	
" "	СО	37,8	32,0	7,75	510,0	—	4,5	—	Немного	—	" "	
" "	ОСО	37,8	33,5	7,95	515,0	—	4	—	—	—	" "	
" "	СО	35,0	32,0	0,94	57,0	400	6,5	—	0	—	Сеть Ленэнерго	У крайнего бака вырвано дно. По видимому произошел взрыв газа. Прочность масла при опыте ок. 2÷3 кV. Выброшено небольшое пламя из газоотводной трубы Прочность масла 12÷10 кV.
" "	СО	35,0	32,0	1,45	88,0	520	5,5	—	0	—	" "	
" "	СО	33,0	32,0	1,07	61,0	520	7,0	—	0	—	" "	
" "	СО	33,0	32,0	1,73	99,0	520	5,5	—	0	—	" "	Из газоотводной трубы выбросило дым и пламя. Прочность масла 12 кV
" "	СО	34,6	33,0	3,63	218,0	800	6,0	—	0	—	" "	Взрыв газа под крышкой. Прочность масла 12 кV.
" "	СО	35,2	30,0	7,17	437,0	1000	3,5	—	0	—	" "	Из газоотводных труб выбросило дым и пламя. Прочность масла 12 кV.

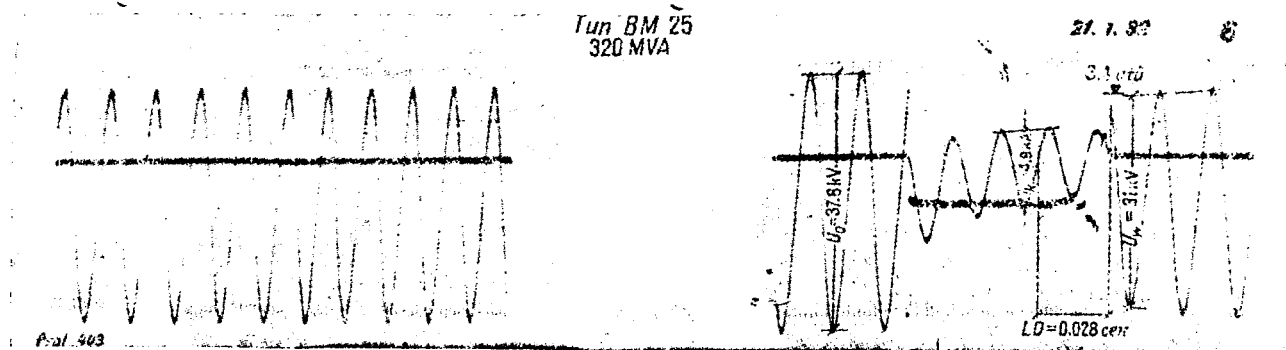


Рис. 21. Осциллограмма выключения VM-25 с гасительными камерами

Сравнивая работу выключателей по длительности горения дуги, мы, однако, получаем обратную картину. Хотя скорость восстановления напряжения в случае выключателей с гасительными камерами была значительно выше, длительность дуги, в особенности при малых токах была меньше. В виде иллюстрации на рис. 18 приведены кривые зависимости длительности горения дуги от величины выключаемого тока для VM-25 с гасительными камерами и для VM-35 с дейонными решетками. На рис. 19 приведены такие же сравнительные кривые для VM-35 и для масляного выключателя Westinghouse на 38 kV с дейонными решетками¹⁾. Рассматривая эти кривые, можно заметить следующие особенности:

а) Хотя длительность дуги в случае дейонных решеток больше, чем в случае гасительных камер, выключения в первом случае получаются более легкими, так как выбросы масла, а следовательно, вероятно, и давление в баке, получается меньше.

Для объяснения этого явления обратимся к осциллограммам выключения нормального VM-25, VM-25 с гасительными камерами и VM-35 с дейонными решетками, приведенными на рис. 20, 21 и 22. Осциллограммы выключения нормального VM-25 являются типичными для выключателя с простым двукратным разрывом. Осциллограммы VM-25 с гасительными камерами интересны быстрым нарастанием напряжения на дуге перед ее гашением. Осциллограммы VM-35 с дейонными решетками характеризуются весьма малым напряжением на дуге, так что первые полупериоды горения дуги почти не различимы. Поэтому, повидимому, выделяемая в дуге за полупериод энергия в случае дейонных решеток значительно меньше, чем и объясняются более легкие выключения. Действительно, по данным Van Sickle, выделяемая за полупериод энергия в случае дейонных решеток примерно в 3—5 раз меньше, чем в случае выключателя с быстродействующими контактами и двукратным разрывом. Причина такого уменьшения энергии не вполне ясна, но подтверждается вышеописанными опытами.

б) Длительность дуги в VM-35, в особенности при больших токах, значительно выше, чем у аналогичного выключателя Westinghouse, использующего тот же метод гашения дуги.

Необходимо указать, что длительность горения дуги даже по данным Westinghouse является чрезмерно большой.

Метод гашения дуги в дейонной решетке, форсируя дейонизацию дуги по всей длине дугового промежутка, является теоретически одним из лучших методов гашения дуги, и при его использовании можно было ожидать лучших результатов. Так как дейонизация дугового промежутка в дейонной решетке происходит вследствие быстрого втягивания дуги в щель решетки и быстрого движения ее навстречу свежим слоям масла, то причина

¹⁾ R. C. Van Sickle & L. M. Leeds, Recent Developments in Arc Rupturing Devices, Tr. A. IEE. № 1, 1932, Vol. 51.

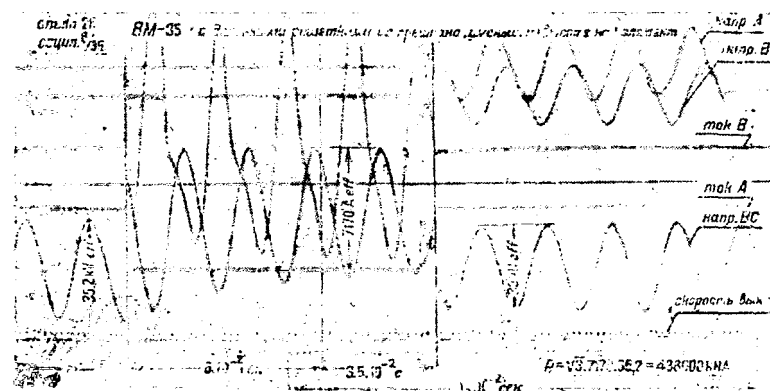


Рис. 22. Осциллограмма выключения VM-35 с дейонными решетками

большой длительности дуги, повидимому, заключается в недостаточной скорости движения дуги. С этой точки зрения вполне понятно уменьшение длительности дуги при увеличении тока, так как при этом усиливается втягивающее действие решетки.

Тщательный анализ явления показал, что в дейонной решетке VM-35 направление тока в неподвижном контакте таково, что его электродинамическое взаимодействие с током в дуге приводит к выбросу последней из дейонной решетки и препятствует, таким образом, втягивающему действию магнитного тока в железных листах решетки.

На рис. 23 представлена фотография ножа VM-35 после выключения нескольких тяжелых коротких замыканий. Эта фотография ясно показывает, что наиболее сильное обгорание и место не со стороны дейонной решетки, а с внутренней стороны ножа, что подтверждает наличие электродинамических усилий препятствующих втягиванию дуги в щель дейонной решетки.

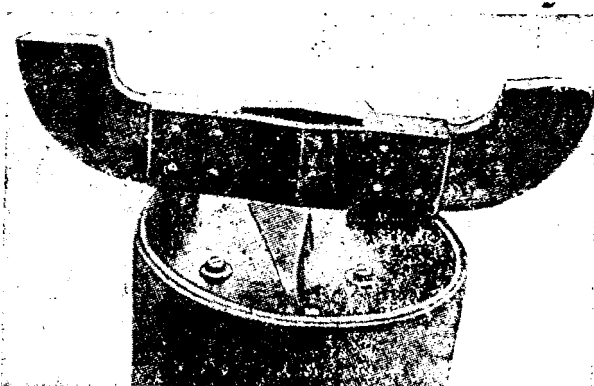


Рис. 23. Нож VM-35 после выключения мощности 515 М

Можно полагать, что при соответствующем изменении конструкции неподвижного контакта условия работы VM-35 могут быть значительно улучшены, и его разрывная мощность, еще выше. К сожалению, к моменту оставления настоящей статьи соответствующие опыты еще не могли быть произведены.

VI. Заключение

На основании изложенных выше результатов почти 100% таний различных выключателей на разрывную мощность сделать следующие общие выводы.

1. Выключатели с простым двукратным разрывом требуют достаточно надежной работы достаточно большого хода контактов и достаточно прочного бака. При этом длительность в таком выключателе зависит от величины выключаемого тока, скорости движения траверсы и скорости восстановления напряжения, причем влияние первых двух факторов проявляется в основном образом, в масляных выключателях с небольшим давлением в баке. Условия дейонизации дуги в таких выключателях благоприятны, и длительность дуги может быть весьма мала, доходя до 15—20 полупериодов при 35 kV. В связи с выключением больших мощностей всегда сопровождается повышением давления и выбрасыванием масла.

2. Применение более совершенных методов гашения дуги (гасительные камеры, масляное дутье, дейонные решетки) и значительно улучшить характеристики выключателей и их разрывную мощность при более спокойной и надежной работе. В связи с этим соответствующая модернизация типов выключателей завода «Электроаппарат» является важной и первоочередной задачей, для проведения которой необходимо постановка ряда испытаний на разрывную мощность.

3. Для развития и усовершенствования конструкций выключателей высокого напряжения систематические испытания на разрывную мощность являются совершенно необходимыми.

живная при этом условии испытания в специальной лаборатории и в сетях, очевидно, что испытания в лаборатории имеют крупное преимущество по следующим причинам:

а) При испытаниях в сетях имеются затруднения с получением нужной градации мощностей.

б) Испытания в сетях почти всегда являются менее суровыми, обычно почти не позволяют регулировать скорость восстановления напряжения. Малые скорости восстановления напряжения во многих случаях не позволяют делать исчерпывающие выводы из результатов испытаний и понижают ценность испытаний.

в) Наличие известного риска для системы при испытаниях в сетях заставляет ограничивать число коротких замыканий, что затрудняет проведение систематических опытов.

В виде иллюстрации укажем, что в то время как заводу «Электраппарат» удалось в течение года провести менее 100 опытов, лаборатория АЕГ количество испытаний за год доходило до 3600.

г) Трудности и большая стоимость организации испытаний в сетях сильно замедляют работу по улучшению выключателей. Можно считать, что в среднем вся работа опаздывает на 1 год по сравнению с темпами, легко достижимыми при наличии лаборатории. Принимая во внимание те достижения, которые мы уже имеем в результате небольшого количества опытов, и стоимость аварий, могущих иметь место за 1 год, очевидно, что организация лаборатории для испытаний на разрывную мощность является крайне необходимой. Можно смело сказать, что постройка такой лаборатории является более рентабельной, чем увеличение производственных площадей завода, и позволит наиболее дешево и просто увеличить выпуск завода не в единицах изделий, а в суммарной разрывной мощности выпускаемых выключателей.

В заключение считаем своим приятным долгом отметить активную помощь и содействие в проведении испытаний со стороны работников ВЭИ, Ленэнерго, Мосэнерго, Донэнерго, значительно способствовавших достижению отмеченных выше успехов аппаратостроения СССР.

9/IX—33 г.

Действие полупроводящих поверхностей и больших сопротивлений на величину разрядного напряжения изолирующих конструкций

Инж. А. А. Аюпян
ВЭК

Настоящая статья, не претендуя на всесторонний анализ явлений, происходящих при поверхностных разрядах на диэлектрике, имеет целью дать сообщение о весьма интересном влиянии полупроводящего слоя или большого сопротивления, облегчающего часть поверхности диэлектрика (проходных втулок, выводных втулок, концевых муфт и т. д.), на начало поверхностного разряда и показать экспериментально возможность увеличения разрядного напряжения у изолирующих конструкций с помощью полупроводящего слоя.

Представим себе два совершенно одинаковых пустотелых цилиндра А (рис. 1а и 1б) с внутренними и наружными металлическими электродами С и D, причем в одном случае (рис. 1а) последовательно с наружным электродом D приключено омическое сопротивление R, облегчающее часть поверхности втулки по всей окружности, а в другом случае (рис. 1б) это сопротивление отсутствует. Заземлив наружные электроды D и присоединив внутренние электроды С к полюсу высоковольтной обмотки трансформатора Т, поднимем в обоих случаях напряжение до начала поверхностного разряда (причем в первом случае по схеме рис. 1а поверхностный разряд будет идти от края сопротивления R по линии КК).

Оказывается, что величина напряжения P_1' , соответствующая началу поверхностного разряда при приключенном сопротивлении R (рис. 1а), больше величины напряжения P_2 , соответствующего началу поверхностного разряда в случае без сопротивления (рис. 1б), т. е.

$$P_1' > P_2$$

откуда вытекает, что величина напряжения между электродами С и D, соответствующая началу поверх-

ностного разряда при приключенном сопротивлении R, гораздо больше, чем в случае без этого сопротивления, т. е.

$$P_1 > P_2$$

То обстоятельство, что $P_1' > P_2$, заставляет думать, что здесь мы имеем налицо помимо выравнивания распределения потенциалов вдоль втулки на участке,

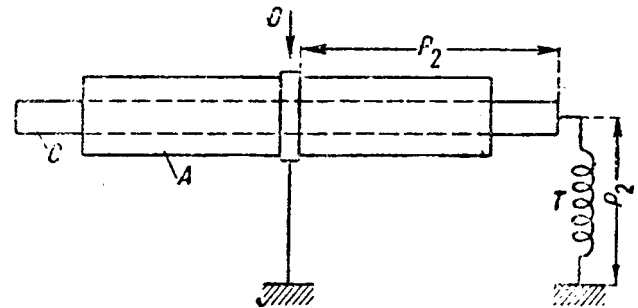


Рис. 1б

покрытом сопротивлением, еще другие явления, способствующие запаздыванию начала поверхностного разряда и увеличивающие начальное напряжение P_1' поверхностного разряда.

В самом деле, за счет принудительного распределения потенциалов на участке, покрытом сопротивлением R, нужно было ожидать увеличения общего напряжения между электродами С и D на величину, соответствующую падению напряжения P_1'' в сопротивлении R, и, следовательно, равенство $P_1' \approx P_2$, но наблюдения нас убеждают в гораздо более эффективном влиянии сопротивления R.

Это обстоятельство побуждает к мысли о возможности повышения разрядного напряжения высоковольтных втулок как при частоте $f = 50$ Hz, так и при импульсах путем приключения к заземленному наружному электроду большого сопротивления.

Ниже приводим целый ряд экспериментов, подтверждающих эту возможность, и надеемся, что эта идея будет применена при построении высоковольтных втулок и им подобных изолирующих конструкций, что даст значительную экономию в материале.

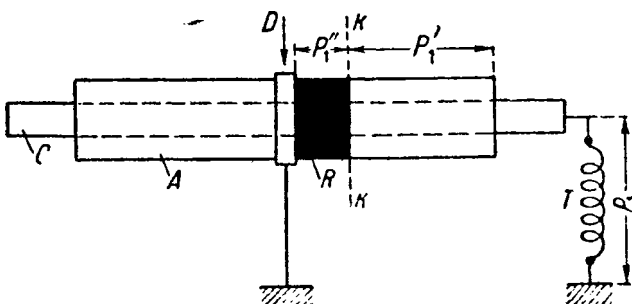


Рис. 1а

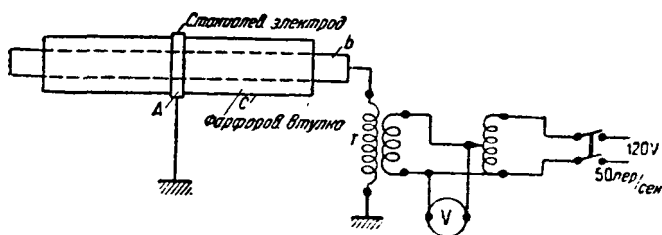


Рис. 2

Описание экспериментов

В качестве объектов были взяты гладкие пустотелые фарфоровые цилиндры с наружным диаметром 60 мм, внутренним диаметром 40 мм, длиной 950 мм. По схеме рис. 2 на 4 фарфоровых цилиндрах (втулках) путем постепенного повышения напряжения определялось начало поверхностного разряда. Результаты сведены в табл. 1:

Таблица 1

№ втулки	Ширина электрода мм	Начало поверхностного разряда кV	Примечание
1	10	39,5	За начало поверхностного разряда можно принять 40 кV
2	10	40,5	
3	10	40	
4	10	40,5	

Для определения наиболее выгодного включения сопротивления были проделаны следующие опыты согласно рис. 3.

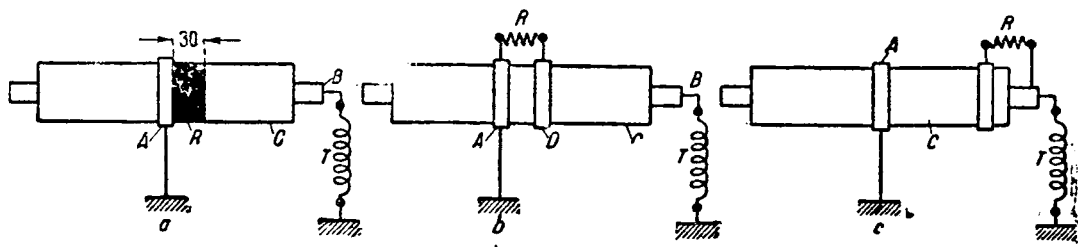


Рис. 3

Сопротивления R для всех трех случаев были равны между собой. Эти сопротивления выполнены из фильтровальной бумажной ленты шириной в 1 см, пропитанной раствором голландской сажи и шеллака в спирте.

На рис. 3 представлены 3 случая присоединения сопротивления R , а именно:

- 1) схема *a*: сопротивление намотано спиралью, фарфоровую втулку на длину 30 мм и с одной стороны присоединено к среднему электроду A ;
- 2) схема *b*: сопротивление включено между средним электродом A и дополнительным электродом D ;
- 3) схема *c*: сопротивление включено между электродом B , несущим высокое напряжение, и дополнительным электродом D .

При включении сопротивления по схемам *b* и *c* никакого влияния не оказывало на величину напряжения, соответствующего началу поверхностного разряда. В этих случаях поверхностный разряд наступал одновременно по обеим сторонам втулки. Напряжение в момент разряда $E_n = 40$ кV.

При включении сопротивления по схеме *a* в случае удачного подбора величины сопротивления поверхностный разряд со стороны сопротивления начинался при более высоком напряжении, чем со стороны без сопротивления.

Итак, представляющим интерес является способ включения сопротивления по схеме *a* рис. 3.

Дальнейшая задача сводилась к выяснению наиболее выгодной величины сопротивления, при котором имелось место максимальное повышение разрядного напряжения.

Если бы можно было располагать таким материалом, сопротивление которого сравнительно мало изменялось бы в зависимости от удельной величины тока и приложенного напряжения, то эта задача достаточно бы упростилась. Благодаря же тому, что таких материалов нет, пришлось много времени уделить вопросу о создании более или менее стойкого сопротивления.

В результате ряда экспериментов выяснилось, что удовлетворительные результаты имеют место при пропитывании фильтровальной бумаги раствором сажи и шеллака в спирте. Такое сопротивление меняет свою величину около 30—50% при переменном токе с частотой 50 герц.

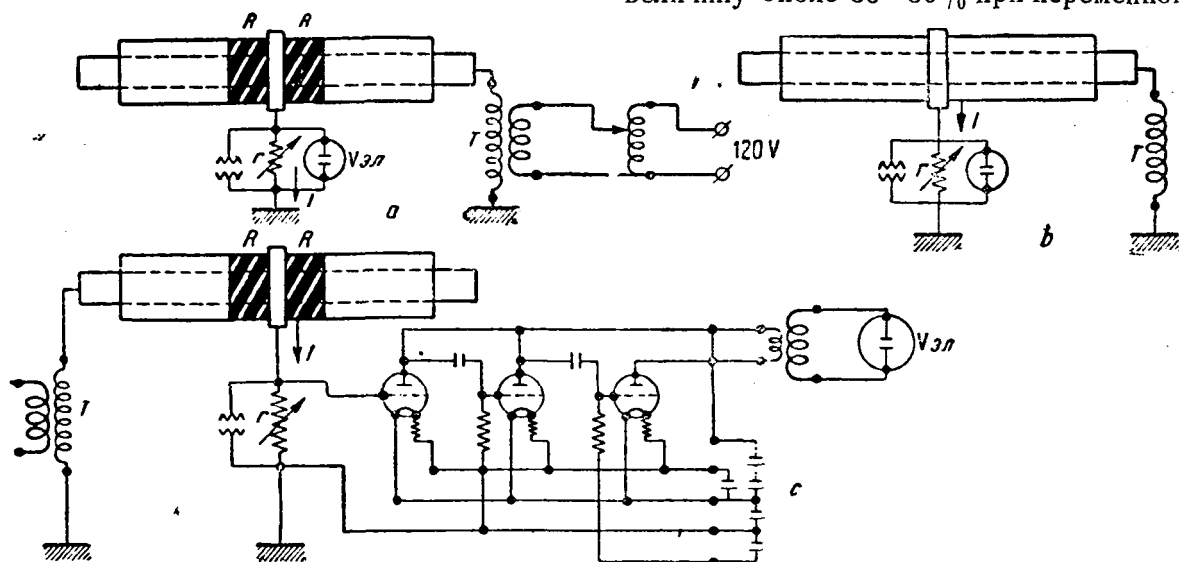


Рис. 4

тою 50 Hz, а при воздействиях импульсами величина сопротивления меняется в очень широких пределах (от ∞ до 0,5 М Ω).

Определение повышения напряжения, соответствующего началу поверхностного разряда

Итак, после установления факта повышения разрядного напряжения путем приключения сопротивления по схеме а (рис. 3) целым рядом экспериментов на

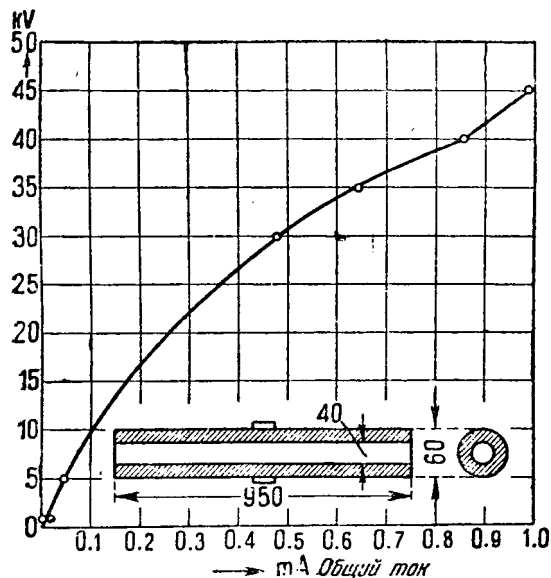


Рис. 5. Фарфоровая втулка № 1. $I_{общ} = f(E)$ без дополнительного сопротивления. Начало поверхностного разряда 40 kV, диаметр равен 60/40 мм, $l = 950$ мм, ширина электрода 10 мм

четырёх образцах фарфоровых втулок, изменением приключенного сопротивления в пределах от $R \approx \infty$ до $R = 10$ М Ω , удалось выяснить, что наибольшее напряжение, соответствующее началу поверхностного разряда, имеет место при $R = 15 \text{ М}\Omega \div 3 \text{ М}\Omega$.

Как видно из табл. 1, началу поверхностного разряда на фарфоровых втулках без вспомогательного сопротивления соответствует напряжение $E_n' = 40$ kV. При дополнительном же сопротивлении с величиной в пределах $R = 15 \div 3$ М Ω началу поверхностного разряда соответствует в среднем $E_n' = 54$ kV.

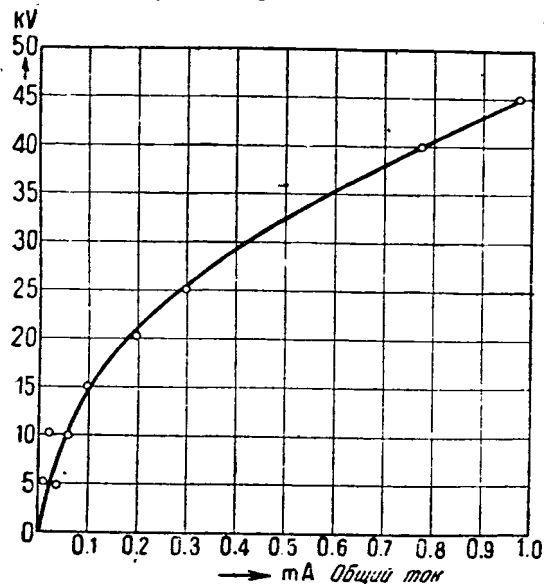


Рис. 6. Фарфоровая втулка № 2. Диаметр равен 60/40 мм, $l = 950$ мм, $I_{общ} = f(E)$ без дополнительного сопротивления. Ширина электрода $S = 10$ мм. Начало поверхностного разряда 40 kV.

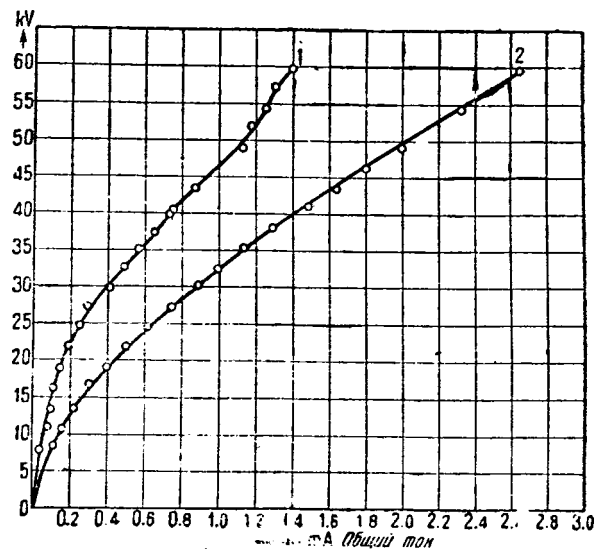


Рис. 7. Фарфоровая втулка № 3. Кривая 1 — $I_{общ} = f(E)$ без дополнительного сопротивления; кривая 2 — $I_{общ} = f(E)$ с дополнительными сопротивлениями 4 М Ω . Ширина электрода $S = 10$ мм, ширина проводящего слоя $l = 40$ мм. Начало поверхностного разряда без сопротивления 40 kV, с сопротивлением — 54,5 kV

Не учитывая падения напряжения, приходящегося на длину втулки, покрытой сопротивлением, можно ориентировочно считать, что приключение дополнительного сопротивления повышает начальное напряжение, соответствующее началу поверхностного разряда, на $\frac{54 - 40}{40} \cdot 100 = 35\%$.

Для выяснения величины падения напряжения в момент возникновения поверхностного разряда, приходящегося на часть фарфоровой втулки, покрытой сопротивлением, была снята зависимость $I = f(E)$ по схемам а, б и с рис. 4, и результаты приведены на рис. 6, 7 и 8.

Для приблизительной оценки степени повышения напряжения, соответствующего началу поверхностного разряда, с учетом падения напряжения, приходящего на участок, покрытый сопротивлением R , предположим, что вектор падения напряжения в сопротивлении совпадает с общим напряжением и что весь ток, иренированный по схемам рис. 4, проходит через сопротивление R .

Как первое, так и второе допущения не соответствуют действительности, но они заведомо уменьшают дей

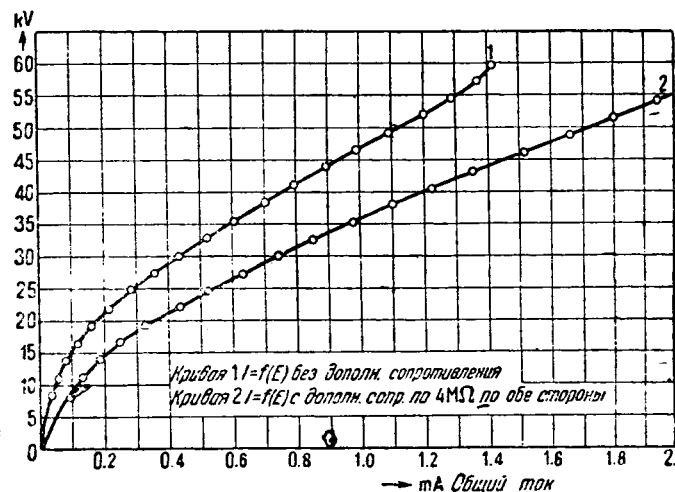


Рис. 8. Фарфоровая втулка № 4. Кривая 1 — $I = f(E)$ без дополнительного сопротивления; кривая 2 — $I = f(E)$ с дополнительным сопротивлением по 4 М Ω по обе стороны. Начало поверхностного разряда при случае без сопротивления 45 kV, с сопротивлением 4 М Ω — 60 kV. Ширина электрода 10 мм, ширина части втулки, покрытой сопротивлением, 30 мм по обе стороны

тельное значение напряжения, приходящегося на втулки, не покрытую сопротивлением, и, следовательно, процент повышения напряжения, вычисленный при таком допущении, всегда меньше действительной степени повышения.

Втулка № 3

На кривых рис. 7 представлена зависимость $I=f(E)$ для случаев с сопротивлениями по 4 МΩ по обе стороны втулки и без сопротивлений. Как видно из кривых, для случая без сопротивлений при напря-

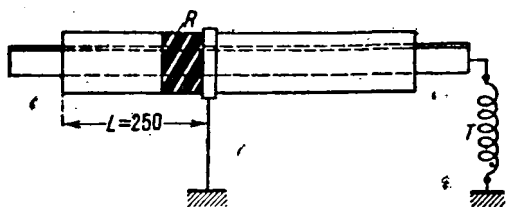


Рис. 9

нии $E=40$ kV, соответствующем началу поверхностного разряда, общий ток $I=0,75$ mA; плотность тока

$$\Delta i = \frac{0,75}{2 \cdot S} = \frac{0,75}{\pi D \cdot 2} = \frac{0,75}{\pi \cdot 6 \cdot 2} = 0,2 \text{ mA/cm.}$$

Для случая с сопротивлениями по 4 МΩ по обе стороны втулки при напряжении 54,5 kV, соответствующем началу поверхностного разряда, общий ток $I=2,3$ mA. Плотность тока

$$\Delta i = \frac{2,3}{2 \pi D} = \frac{2,3}{2 \pi \cdot 6} = 0,06 \text{ mA/cm.}$$

Падение напряжения в сопротивлении R

$$\Delta E = R \frac{I}{2} = 4 \cdot 10^6 \frac{2,3}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 4,6 \text{ kV.}$$

Напряжение, приходящееся на участок втулки, не покрытой сопротивлением,

$$E = 54,5 - 4,6 = 49,9 \text{ kV.}$$

Процент повышения напряжения

$$\Delta E_n = \frac{49,9 - 40}{40} \cdot 100 = 25.$$

Втулка № 4

Кривые зависимости $I=f(E)$ представлены на рис. 8. Начало поверхностного разряда без сопротивлений соответствует напряжению 45 kV. При сопротивлении

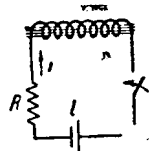
по 4 МΩ начало поверхностного разряда при напряжении $E_n=60$ kV. Падение напряжения в сопротивлении R

$$\Delta E = R \frac{I}{2} =$$

$$4 \cdot 10^6 \frac{2,2}{2} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 4,4 \text{ kV.}$$

Напряжение, приходящееся на участок втулки без сопротивления, $E=60-4,4=55,6$ kV. Процент повышения напряжения

$$\Delta E = \frac{55,6 - 45}{45} \cdot 100 = 23,5.$$



Определение повышения разрядного напряжения

Для определения повышения разрядного напряжения при дополнительном сопротивлении при переменном токе на одной и той же втулке было поднято напряжение до перекрытия в случаях с дополнительным сопротивлением и без него (рис. 9). Данные следующие:

1) без сопротивления R при длине $l=250$ mm. Напряжение перекрытия $E_p'=52,8$ kV,

2) с дополнительным сопротивлением $R=4$ МΩ. Напряжение перекрытия $E_p''=57,2$ kV.

Процент повышения

$$\Delta E_p = \frac{57,2 - 52,8}{52,8} \cdot 100 = 8,33.$$

Примерно такие же результаты получались и на всех остальных втулках.

Определение повышения разрядного напряжения при импульсах

Так как при импульсах намотанное на втулку бумажное сопротивление местами обрывалось, то дополнительное сопротивление осуществлялось покрытием тонким слоем полупроводящей краски поверхности втулки на длину около 40 mm по обе стороны от электрода.

Схема ударного контура представлена на рис. 10.

Время спада максимального значения амплитуды до своего полудвиного значения можно определить из условия

$$E_t = E_{\max} e^{-\frac{t}{CR_2}},$$

где C — эффективная емкость контура, равная $\frac{C_1}{2}$

Принимая $E_t = \frac{1}{2} E_{\max}$, имеем:

$$1 = 2e^{-\frac{t}{CR_2}} \quad \text{или} \quad e^{-\frac{t}{CR_2}} = 2,$$

откуда

$$\frac{t}{CR_2} = \ln 2; \quad t = CR_2 \ln 2,$$

$$t = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 0,69 \cdot 10^{-4} \text{ сек.}$$

Амплитуда E_{\max} измерялась шаровым разрядником.

Установление факта повышения разрядного напряжения при импульсах

Наружный электрод помещался точно по середине фарфоровой втулки. С одной стороны электрода поверхность втулки на длину 40 mm покрывалась сопротивлением $R \approx 4 \div 10$ МΩ.

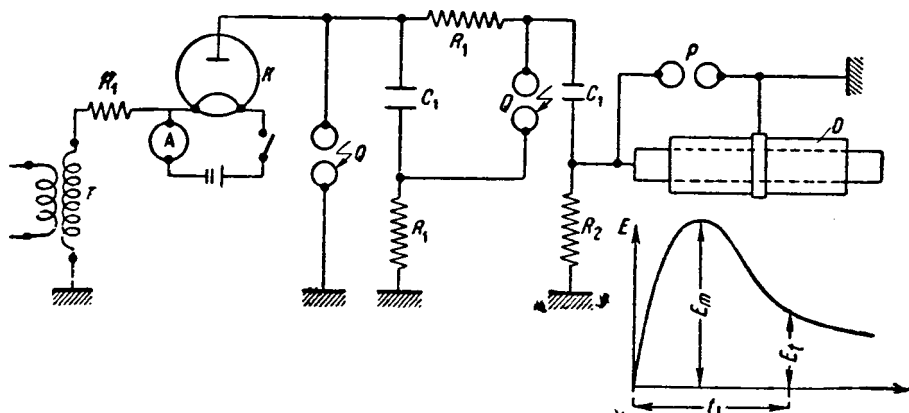


Рис. 10. T — трансформатор; K — кенотрон; R_1 — водяные сопротивления; R_2 — водяное сопротивление 10 000 Ω; Q — зажигательные разрядники; P — измерительный шаровой разрядник; $a=6,25$ см, $S=0,2$ см²; C_1 — конденсатор Мейеревского по 0,02 μF.

На всех четырех втулках перекрывалась разрядами торона без сопротивления.

Разрядное напряжение, измеренное шаровым разрядником, равнялось $E_p' = 113 \text{ kV}$.

Для определения наиболее выгодной величины сопротивления, соответствующей наибольшему повышению

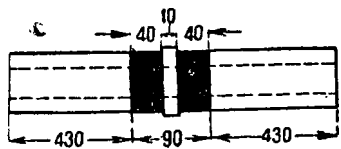


Рис. 11

разрядного напряжения при импульсах, втулки подвергались действию импульсов при наличии сопротивлений с обеих сторон наружного электрода. Ввиду сильного изменения величины сопротивления при воздействии импульсов (сопротивление после действия импульса сильно падает) установить более или менее точно величину сопротивления, при котором имело место наибольшее разрядное напряжение, было чрезвычайно затруднено. Тем не менее, путем следующего опыта удалось выяснить ориентировочно повышение разрядного напряжения.

Фарфоровая втулка покрывалась полупроводящей краской на длину 60 мм (рис. 11). Наружный электрод шириной 10 мм помещен точно в середине. Сопротивление полупроводящего слоя с обеих сторон в начале опыта было очень велико (около ∞). При воздействии импульсами перекрывалась то одна, то другая сторона с последующим снижением сопротивления. После каждого перекрытия измерялись величины сопротивлений обеих сторон отдельно. Таким путем последовательного снижения сопротивлений с обеих сторон удалось установить наиболее выгодное значение сопротивления $R = 4 \div 10 \text{ M}\Omega$ и при этих значениях сопротивление напряжение перекрытия $E_p'' = 122 \div 123 \text{ kV}$.

Превышение

$$\Delta E_p'' = \frac{122 - 113}{113} 100 \div \frac{123 - 113}{113} 100 = 7,96 \div 8,85\%$$

В среднем $\Delta E_p'' = 8\%$.

Необходимо отметить, что цифра 8% отнюдь не является предельным превышением разрядного напряжения, а это минимально возможное превышение, которое удалось нам получить при весьма неустойчивых сопротивлениях. Несомненно, что при наличии более устойчивых полупроводящих материалов удастся на много повысить напряжение перекрытия при той же длине втулки.

Увеличение разрядного напряжения при импульсах с экспозицией порядка $0,5 \cdot 10^{-4}$ сек. с очевидной ясностью доказывает, что это превышение является не результатом принудительного распределения потенциалов вдоль втулки, покрытой полупроводящей краской, а оно имеет место в силу демпфирующего действия сопротивления.

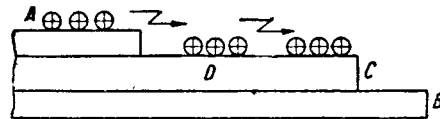


Рис. 12. А и В — электроды; С — диэлектрик

Работа японских инженеров¹⁾ по поверхностному разряду несколько объясняет механизм действия полупроводящей поверхности.

На металлическом электроде А (рис. 12) мгновенные значения зарядов соответствуют мгновенным значениям напряжения, и в момент прохождения напряжения через нуль эти заряды нейтрализуются, а на поверхности диэлектрика заряды задерживаются; изменение мгновенных значений зарядов на диэлектрике происходит с некоторым отставанием по сравнению с изменением зарядов на электроде. В результате этого между А и D создаются высокие градиенты, и промежуток перекрывается. Когда же поверхность диэлектрика вблизи электрода А покрыта полупроводящим слоем, то явление задерживания зарядов ослабляется, и следовательно, не создаются высокие градиенты,

Очевидно, что путем покрытия полупроводящим слоем части поверхности втулок, изоляторов и т. д. можно повысить разрядное напряжение или же соответственно уменьшить их длину.

15/Х1—33 г.

Расчет двухструйной вентиляции турбогенератора¹⁾

Инж. Н. П. Савин и инж. С. В. Крауз
Москва, ВЭИ

Для расчета системы вентиляции турбогенераторов можно взять следующую схему:

- 1) определить необходимое для охлаждения машины количество воздуха;
- 2) подсчитать распределение количества воздуха в машине по участкам;
- 3) определить скорости воздуха в отдельных участках машины;
- 4) подсчитать сопротивления отдельных элементов воздушной цепи;
- 5) определить напор, необходимый для того, чтобы прогнать требуемое количество воздуха и рассчитать вентилятор с учетом диффузора.

I. Определение необходимого для охлаждения машины количества воздуха

Турбогенераторы, как правило, обладают незначительной охлаждающей поверхностью в сравнении с их мощностью. Поэтому этот тип машин требует усиленной вентиляции для отвода образующегося в них при работе тепла. Так как источником тепла являются электромагнитные и механические потери машины, то количество воздуха, необходимое для охлаждения машины, находится в зависимости от величины этих потерь. При этом количество воздуха должно быть достаточным для того, чтобы машина не нагревалась сверх допустимой нормами температуры.

¹⁾ Настоящая работа представляет собой продолжение большой исследовательской работы, проделанной в ВЭИ в течение 1932/33 г., первая часть которой опубликована в ж. «Электротехника» 20, 1933 г.

¹⁾ См. реферат об этой работе в журнале „Revue générale de l'électricité“ за апрель 1930 г. „La production d'effluves de surface et les essais à haute tension“.

В турбогенераторах средней и большой мощностей применяется обычно замкнутая циркуляция воздуха, обуславливающая постоянный объем охлаждающего воздуха. Охлаждающий воздух, нагреваясь при своем течении по воздушным путям машины за счет отведения тепла, проходит затем через охладители. Здесь воздух, проходя через решетку трубочек, по которой циркулирует холодная вода, передает воде воспринятое им тепло от машины, после чего начинается новый цикл нагрева и отдачи тепла. Таким образом температура входящего воздуха, равно как и температура выходящего воздуха, находится в прямой зависимости от температуры охлаждающей воды воздухоохладителя. Очевидно, чем ниже температура охлаждающей среды, тем при прочих равных условиях ниже температура выходящего воздуха.

За стандартную температуру охлаждающей среды по нашим нормам принимают температуру 35°C, соответствующую номинальной мощности электрической машины.

Так как вода для воздухоохладителей берется обычно из естественных водоемов, то температура охлаждающего воздуха будет, очевидно, различной в различные времена года. Нужно заметить, что очень низкая температура охлаждающего воздуха вредна, так как при этом неизбежно появление росы на изоляции обмотки.

В наиболее тяжелых условиях работы генератора перегрев воздуха, т. е. разница между температурами выходящего и входящего воздуха, обычно колеблется в небольших пределах около величины 30°C.

Количество воздуха, необходимого для охлаждения генератора, можно определить из следующего соотношения²⁾:

$$Q = \frac{P}{1,1 \Delta t} \text{ м}^3/\text{сек},$$

где P —суммарные потери генератора (кВт) и Δt —перегрев воздуха (°C).

Распределение количества воздуха в машине по участкам

Разрешение этого вопроса представляет собой большую трудность, а потому вопрос решается лишь приближенно. В основу берется условие, что весь воздух распределяется по каналам поровну. Исходя из этого, считаем, что воздух, идущий через входные каналы, при выходе должен занять столько же выходных каналов; с другой стороны, все выходные каналы пропускают через себя одинаковое количество воздуха. Задается вопрос: какое количество воздуха идет в воздушный зазор со стороны лобовых соединений и какое через входную камеру—сердину машины³⁾.

Пусть n_{ax} —число каналов на входной стороне, $n_{вых}$ —число каналов на выходной стороне, Q —общее коли-

²⁾ Эта формула в рассматриваемом случае является приближенной, поскольку она относится к температуре воздуха в 50°C и барометрическому давлению 760 мм Hg. Температура входящего в генератор охлаждающего воздуха всегда ниже 50°C. Поэтому более точно при подсчете количества охлаждающего воздуха пользоваться формулой:

$$Q = \frac{P}{C \gamma \Delta t}.$$

Здесь C —удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, равная 1009 I/kg °C, γ —удельный вес воздуха для данного случая ($\text{kg}/\text{м}^3$), $\gamma = \gamma_0 \cdot \frac{1}{1 + \alpha t_{0x}}$; удельный вес воздуха при $t_{0x} = 0$ °C и барометрическом давлении $h_0 = 760$ мм Hg: $\gamma_0 = 1,293$ kg/м³, h —барометрическое давление у входа охлаждающего воздуха в машину, α —коэффициент расширения воздуха, равный $1/273$, t_{0x} —температура входящего в машину охлаждающего воздуха (°C).

³⁾ Имеется в виду двухступенчатая система вентильная универсальная система охлаждения Large Turbo-Generators—d. Bratt.

чество воздуха. Тогда количество воздуха со стороны лобовых соединений

$$Q_{л.с} = \frac{n_{вых} - n_{ax}}{n_{вых}} Q$$

и со стороны входной камеры

$$Q_{вх} = \frac{n_{ax}}{n_{вых}} Q.$$

По мере проведения нескольких вариантов расчета эти величины необходимо корректировать.

Нужно отметить, что, несмотря на всю примитивность этого метода, результаты получаются довольно близкие, а иногда и совпадающие.

3. Определение скоростей воздуха на отдельных участках

Скорости воздуха в отдельных частях машины определяются, исходя из формулы

$$v = \frac{Q}{F},$$

где F —сечение в месте определения скорости. Как Q так и F должны быть предварительно определены.

Сложным является определение скоростей в воздушном зазоре и в радиальных каналах, так как действительное распределение количества воздуха по радиальным каналам остается пока неизвестным.

Таким образом приходится решать задачу, которая позволила бы определить скорости в каналах и зазоре.

А. Для входной части турбогенератора уравнение Бернулли имеет следующий вид⁴⁾:

$$h_n = h_p + \rho \frac{v_p^2}{2} + \xi_k \rho \frac{v_k^2}{2} + \left[\xi_1 + \varphi \left(1 - \frac{v_3}{v} \right)^2 \right] \rho \frac{v_k^2}{2} + \xi_{mp.з} \rho \int_x^0 v_3^2 dx + \xi_3 \rho \frac{v_p^2 - v_3^2}{2},$$

где h_n —полный напор в камере входа, h_p и $\frac{\rho v_p^2}{2}$ —соответственно статический и динамический напоры в точке раздела, x —переменная длина пути по зазору; причем за начало координат принимается точка раздела.

Решение этого уравнения дает общий интеграл параметрической форме, содержащий корни третьей степени. Практически это решение неприменимо. По этому в уравнении (1) делаем ряд упрощений, а именно пренебрегаем членом, содержащим интеграл, и выражением

$$\varphi \left(1 - \frac{v_3}{v} \right).$$

Тогда уравнение (1) примет вид

$$h_n = h_p + \frac{\rho v_p^2}{2} + \xi_k \frac{\rho v_k^2}{2} + \xi_1 \frac{\rho v_k^2}{2} + \xi_3 \frac{\rho (v_p^2 - v_3^2)}{2}.$$

Полагаем, что из входной камеры воздух поступает бесконечно большое число радиальных каналов статора⁵⁾.

Количество воздуха, проходящее через радиальный канал на стороне входной камеры $v_k f dx$, увеличивает предшествующее количество воздуха в воздушном зазоре на величину $F dv_3$ (здесь f —сечение радиального канала у выхода в зазор, F —сечение воздушного зазора).

Таким образом, если переменную x рассматривать как расстояние от точки раздела в направлении точки баланса на входной стороне, можно написать

$$v_k f dx = -F dv_3,$$

⁴⁾ См. часть 1 настоящей работы.

⁵⁾ См. Journ. AIEE Marck., 1924, p. 185, The Multiple—Radial S.

так как с увеличением x приращение количества воздуха в воздушном зазоре уменьшается (см. кривую распределения количества воздуха по радиальным каналам входной камеры).

Дифференцируя уравнение (2) по x и пользуясь соотношением (3), получим линейное дифференциальное уравнение второго порядка, решение которого дает общий интеграл при переходе к гиперболическим функциям в следующем виде:

$$v_3 = C_1 \operatorname{ch} \sqrt{\frac{b}{a}} x + C_2 \operatorname{sh} \sqrt{\frac{b}{a}} x, \quad (4)$$

где $b = \xi_3$ и $a = (\xi_k + \xi_1) \frac{F^2}{f^2}$. Постоянные интегрирования определяются из следующих пограничных условий. При $x = L$, где L — расстояние точки раздела от точки баланса на входной стороне, выраженное в пакетных шагах, $v_3 = 0$. При $x = 0$, т. е. для точки раздела, $v_3 = v_p$.

В результате

$$C_1 = v_p \text{ и } C_2 = - \frac{v_p \operatorname{ch} \sqrt{\frac{b}{a}} L}{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{b}{a}} L}.$$

Окончательно в результате преобразований имеем: скорость по воздушному зазору

$$v_3 = \frac{v_p \operatorname{sh} \sqrt{\frac{b}{a}} (L - x)}{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{b}{a}} L}, \quad (5)$$

скорость по радиальному каналу у основания

$$v_k = \frac{F}{f} \frac{v_p \sqrt{\frac{b}{a}} \operatorname{ch} \sqrt{\frac{b}{a}} (L - x)}{\operatorname{sh} \sqrt{\frac{b}{a}} L}. \quad (6)$$

Для выходной части уравнение Бернулли имеет вид:

$$h_p + \frac{\rho v_p^2}{2} = \frac{\rho v_{3yx}^2}{2} + \xi_{mp,3} \frac{\rho}{2} \int_y^0 v_3^2 dy + \frac{\rho}{2} k^2 \left(\frac{dv}{dy} \right)^2 + \left[\xi_1 + \varphi \left(1 - \frac{v_k}{v_3} \right)^2 \right] \frac{\rho v_3^2}{2} + \xi_k \frac{\rho v_k^2}{2}. \quad (7)$$

Делая те же упрощения, что и для входной части, и пользуясь соотношением $v_k f dy = -F dv_3$ (количество воздуха, проходящее через радиальный канал, уменьшается последующее количество воздуха в воздушном зазоре на величину $F dv_3$, причем y — расстояние, до рассматриваемой точки от точки раздела), получим также линейное дифференциальное уравнение второго порядка.

Решение этого уравнения дает общий интеграл:

$$v_3 = C_1 \sin \sqrt{\frac{m}{n}} y + C_2 \cos \sqrt{\frac{m}{n}} y, \quad (8)$$

где $m = \xi_1$ и $n = k^2 + \xi_k \frac{F^2}{f^2}$.

Пограничные условия приводят к следующим выводам: при $y = L_1$, где L_1 — расстояние от точки раздела до точки баланса на стороне выходной камеры в пакетных шагах, скорость в воздушном зазоре $v_3 = 0$; при $y = 0$, т. е. для точки раздела, скорость в воздушном зазоре $v_3 = v_p$. Таким образом постоянные интегрирования получают значения:

$$C_1 = - \frac{v_p \cos \sqrt{\frac{m}{n}} L_1}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_1} \text{ и } C_2 = v_p.$$

В результате преобразований имеем: скорость по воздушному зазору на стороне выходной камеры

$$v_3 = \frac{v_p \sin \sqrt{\frac{m}{n}} (L_1 - y)}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_1},$$

скорость по радиальным каналам у основания

$$v_k = \frac{F v_p \sqrt{\frac{m}{n}} \cos \sqrt{\frac{m}{n}} (L_1 - y)}{f \sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_1}.$$

Для скоростей по воздушному зазору и радиальным каналам, расположенным в выходной части со стороны лобовых соединений, можем написать уравнения, аналогичные (9) и (10). Для этого в последнем уравнении вместо L_1 следует подставить L_2 — расстояние от точки входа в воздушный зазор со стороны лобовых соединений до точки баланса в пакетных шагах — и вместо v_p подставить $v_{p,2}$ — скорость воздуха в месте входа в воздушный зазор из камер лобовых соединений:

$$v_3 = \frac{v_{p,2} \sin \sqrt{\frac{m}{n}} (L_2 - y)}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_2}$$

и

$$v_k = \frac{F}{f} \frac{v_{p,2} \sqrt{\frac{m}{n}} \cos \sqrt{\frac{m}{n}} (L_2 - y)}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_2}.$$

В приведенных выше уравнениях является неизвестным положение точки баланса на выходной стороне, другими словами, неизвестными являются величины L_1 и L_2 . При этом $L_1 + L_2 = L$, где L — длина воздушного зазора на всей стороне выхода в пакетных шагах. Величины L_1 и L_2 можно определить, исходя из того, что при $y = L_1$ для уравнения (10) и $y = L_2$ для уравнения (10') имеем следующее соотношение:

$$\frac{v_p}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_1} = \frac{v_{p,2}}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_2}$$

В результате преобразований решение этого уравнения приводит к следующему виду:

$$L_2 = \sqrt{\frac{m}{n}} \operatorname{arc} \operatorname{ctg} \frac{v_p + \cos \sqrt{\frac{m}{n}} L}{v_{p,2} \sin \sqrt{\frac{m}{n}} L}.$$

Необходимо отметить, что при определении (скорости у точки входа в зазор со стороны лобовых соединений) приходится выбирать ту точку зазора, зазор имеет нормальные размеры, а не ту часть, где пакеты статора со стороны выточки имеют ступенчатую форму входа. Таким образом воздух в каналах, находящийся против ступенчатой части воздушного зазора учитывается отдельно. Скорость

$$v_{p,2} = \frac{Q_{a,c} - Q_{cm}}{F} \text{ м/сек,}$$

где Q_{cm} — часть воздуха, выходящая через радиальные каналы в зоне ступенчатой формы воздушного зазора.

$$Q_{cm} = 1,2 \frac{n_{cm}}{n_{вых}} Q;$$

Съ $n_{ст}$ — число радиальных каналов в ступенчатой ти.

Последняя формула, как показал ряд опытов, дает более близкие результаты.

Подсчет сопротивления отдельных элементов воздушной цепи

Чтобы определить напор, требуемый для подачи в моль воздуха, необходимо подсчитать сопротивление и воздушных каналов турбогенератора по отдельным участкам, а потом взять сумму от последовательных участков.

До выходе из диффузора до камеры входа имеем три напора, во-первых, на поворот, во-вторых, на вход в аксиальные трубы, соединяющие камеру лобовых соединений с камерой входа, в-третьих, на трение в аксиальных трубах.

Потери на поворот, на вход и на трение в аксиальных трубах представляют сравнительную небольшую величину

$$\Delta h = 1,1 \rho \frac{u_1^2}{2} + \xi_p \frac{u_2^2}{2} + \xi_{mp} \frac{u_2^2}{2},$$

$\xi = 0,4 \div 1$ и $\xi_{mp} = 0,3 \div 0,5$ на 1 м, u_1 — скорость воздуха из диффузора, u_2 — скорость в трубах.

Следующий участок — участок входа. Здесь для подсчета потерь напора необходимо выбрать канал, по направлению которого будет проведен просчет последовательно соединенных участков воздухопровода. Выберем каналы, расположенные в точке баланса как на стороне входа, так и на стороне выхода. Тогда имеем следующие потери напора:

на стороне входа:

1) в радиальном канале

$$\xi_{k1} \frac{\rho v_{k1}^2}{2} = 0,19 \frac{\rho v_{k1}^2}{2},$$

2) на поворот из канала в воздушный зазор

$$(\xi_1 + \varphi) \frac{\rho v_{k1}^2}{2} = 0,95 \frac{\rho v_{k1}^2}{2},$$

3) на трение в воздушном зазоре

$$\xi_{mp} \frac{\rho}{2} \sum_L v_{s1}^2 = 0,06 \frac{\rho}{2} \sum_L v_{s1}^2,$$

4) на внезапное увеличение скорости

$$\xi_3 \frac{\rho v_p^2}{2} = 0,43 \frac{\rho v_p^2}{2}.$$

на стороне выхода:

1) на трение в воздушном зазоре

$$0,06 \frac{\rho}{2} \sum_0^L v_{s2}^2,$$

2) на внезапное уменьшение скорости

$$\sum_0^L \frac{\rho}{2} (v_n - v_{n+1})^2,$$

3) потери в радиальных каналах

$$\xi_{k2} \frac{\rho v_{k2}^2}{2} = 1,5 \frac{\rho v_{k2}^2}{2}.$$

Суммируя все эти потери, получим полное сопротивление воздушной цепи

$$\begin{aligned} \sum \Delta h_1 = & 1,1 \frac{\rho u_1^2}{2} + \xi \frac{\rho u_2^2}{2} + \xi_{mp} \frac{\rho u_2^2}{2} + \xi_{k1} \frac{\rho v_{k1}^2}{2} + (\xi_1 + \varphi) \frac{\rho v_{k1}^2}{2} + \\ & + \xi_{mp} \frac{\rho}{2} \left[\sum_{L_{sx}}^0 v_{s1}^2 + \sum_0^{L_{syx}} v_{s2}^2 \right] + \xi_3 \frac{\rho v_p^2}{2} + \\ & + \sum_0^{L_{syx}} \frac{\rho}{2} (v_n - v_{n+1})^2 + \xi_{k2} \frac{\rho v_{k2}^2}{2}. \end{aligned}$$

Для проверки того, насколько правильно заданы распределением воздуха по частям машины, делаем такой же просчет со стороны лобовых соединений.

При движении воздуха из камеры лобовых соединений к точке баланса имеем следующие потери напора:

1) на трение в воздушном зазоре

$$0,06 \frac{\rho}{2} \sum_{л.с} v_3^2,$$

2) на внезапное уменьшение скорости

$$\sum_{л.с} \frac{\rho}{2} (v_n - v_{n+1})^2,$$

3) потери в радиальных каналах

$$\xi_{k2} \frac{\rho v_{k2}^2}{2} = 1,5 \frac{\rho}{2} v_{k2}^2.$$

Таким образом полная потеря напора на этом участке

$$\sum \Delta h_2 = \xi_{mp} \frac{\rho}{2} \sum_{л.с} v_3^2 + \sum_{л.с} \frac{\rho}{2} (v_n - v_{n+1})^2 + \xi_{k2} \frac{\rho v_{k2}^2}{2}.$$

При равенстве $\sum \Delta h_1 = \sum \Delta h_2$ можно считать расчет законченным.

Для определения напора, создаваемого вентилятором в конце диффузора, необходимо к $\sum \Delta h_1$ прибавить потерю напора на выход из радиального канала, соответствующего точке баланса, в камеру выхода. Эта потеря напора

$$\Delta h_{вых} = 8 \frac{\rho u_3^2}{2},$$

где u_3 — скорость в месте выхода воздуха из радиального канала.

5. Сопоставление расчетных значений с опытными данными

На основании данных исследования вентиляции модели турбогенератора Thomson-Houston количество охлаждающего воздуха (расход) на половину модели $Q = 1,36 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Расходы воздуха, проходящего через камеру входа и в воздушный зазор модели со стороны камеры лобовых соединений, принимаем отвечающими соотношениям:

$$Q_в = Q \frac{n_{вх}}{n_{сх}} = 0,453 \text{ м}^3/\text{сек}$$

и

$$Q_{л.с} = Q \frac{n_{сх} - n_{вх}}{n_{сх}} = 0,907 \text{ м}^3/\text{сек},$$

где число каналов камеры входа $n_{вх} = 6$ и число каналов камеры выхода $n_{сх} = 18$.

Количество воздуха, проходящего через радиальные каналы статора в зоне ступенчатой части воздушного

зазора со стороны лобовых соединений, определяем из соотношения

$$Q_{cm} = 1,2 \frac{n_{cm}}{n_{вых}} Q = 0,1813 \text{ m}^3/\text{sec},$$

где число радиальных каналов в ступенчатой части воздушного зазора $n_{cm} = 2$.

Таким образом скорость воздуха по воздушному зазору в точке раздела

$$v_p = \frac{Q_{ax}}{F} = 21 \text{ m/sec},$$

где сечение воздушного зазора $F = 0,0216 \text{ m}^2$ и скорость воздуха по воздушному зазору в точке, соответствующей нормальному сечению воздушного зазора со стороны лобовых соединений.

$$v_{p.a} = \frac{Q_{a.c} - Q_{cm}}{F} = 33,579 \text{ m/sec}.$$

Находим распределение скоростей по воздушному зазору на длине входной камеры

$$v_s = v_p \frac{\text{sh} \sqrt{\frac{b}{a_1}} (L-x)}{\text{sh} \sqrt{\frac{b}{a}} L}.$$

Этим определяются также величины скоростей по отдельным радиальным каналам входной камеры, поскольку количество воздуха в каком-нибудь радиальном канале равняется разности расходов в воздушном зазоре после радиального канала в направлении течения потока и до радиального канала.

Таблица 1

Распределение расхода и скоростей воздуха по воздушному зазору и радиальным каналам статора на стороне входной камеры

Расстояние точки раздела в пакетных шагах x	Скорость воздуха по воздушному зазору v m/sec	Расход воздуха по воздушному зазору Q m ³ /sec	Расход воздуха по радиальным каналам m ³ /sec	Скорость воздуха по радиальным каналам v m/sec
0	21,3	0,46	—	—
1	16,58	0,358	0,1018	17,37
2	12,53	0,271	0,0875	14,93
3	8,98	0,194	0,0767	13,09
4	5,8	0,125	0,0688	11,74
5	2,84	0,061	0,0638	10,89
6	0	0	0,0614	10,48

Находим положение точки баланса в воздушном зазоре на стороне выходной камеры

$$L_2 = \sqrt{\frac{n}{m}} \text{arc ctg} \frac{v_p + \cos \sqrt{\frac{m}{n}} L}{v_{p.a} \sin \sqrt{\frac{m}{n}} L} = 10,4$$

$$L_1 = 5,6.$$

Таким образом принятое в начале расчета предположение о характере распределения количества воздуха между входной камерой и воздушным зазором со стороны лобовых соединений достаточно хорошо согласуется с полученными расчетными данными.

Далее, определяем скорости по воздушному зазору в зоне выходной камеры как при течении воздуха из камеры входа, так и при течении воздуха из камеры лобовых соединений, пользуясь следующими соотношениями соответственно рассматриваемым случаям:

$$v_{s.ax} = \frac{v_p \cos \sqrt{\frac{m}{n}} (L_1 - y)}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_1}$$

$$v_{s.a.c} = \frac{v_{p.a} \cos \sqrt{\frac{m}{n}} (L_2 - y)}{\sin \sqrt{\frac{m}{n}} L_2}.$$

Таблица

Распределение расхода и скоростей воздуха по воздушному зазору и радиальным каналам статора в зоне выходной камеры со стороны камеры входа

Расстояние от точки раздела в пакетных шагах y	Скорость воздуха по воздушному зазору v m/sec	Расход воздуха по воздушному зазору Q m ³ /sec	Расход воздуха по радиальным каналам m ³ /sec	Скорость воздуха по радиальным каналам m/sec
0	21,3	0,46	—	—
1	18,02	0,3893	0,0707	12,0
2	14,44	0,3119	0,0774	13,2
3	10,62	0,2293	0,0826	14,1
4	6,21	0,1428	0,0865	14,7
5	2,49	0,0539	0,0889	15,1

Таблица

Распределение расхода и скоростей воздуха по воздушному зазору и радиальным каналам статора в зоне выходной камеры со стороны камеры лобовых соединений

Расстояние от точки раздела в пакетных шагах y	Скорость воздуха по воздушному зазору v m/sec	Расход воздуха по воздушному зазору Q m ³ /sec	Расход воздуха по радиальным каналам m ³ /sec	Скорость воздуха по радиальным каналам m/sec
0	33,57	0,7253	0,0270	4,0
1	32,33	0,6983	0,0389	6,0
2	30,53	0,6594	0,0499	8,0
3	28,22	0,6095	0,0602	10,0
4	25,43	0,5493	0,0695	11,0
5	22,21	0,4798	0,0776	13,0
6	18,62	0,4022	0,0844	14,0
7	14,71	0,3178	0,0897	15,0
8	10,56	0,2281	0,0936	15,0
9	6,23	0,1345	0,0959	16,0
10	1,79	0,0386	0,0965	16,0

Сопоставление расчетных значений распределения количества воздуха по радиальным каналам статора по воздушному зазору модели турбогенератора с указанными данными приведено на рис. 1.

Определяем потери напора на отдельных участках вентиляционной системы модели турбогенератора, зная для этого те значения коэффициентов сопротивления, которые получены опытным путем и являются выше.

Найденная таким образом суммарная потеря напора по участкам первой параллельной линии нагнетания (сторона входа и сторона выхода, примыкающая к камере входа)

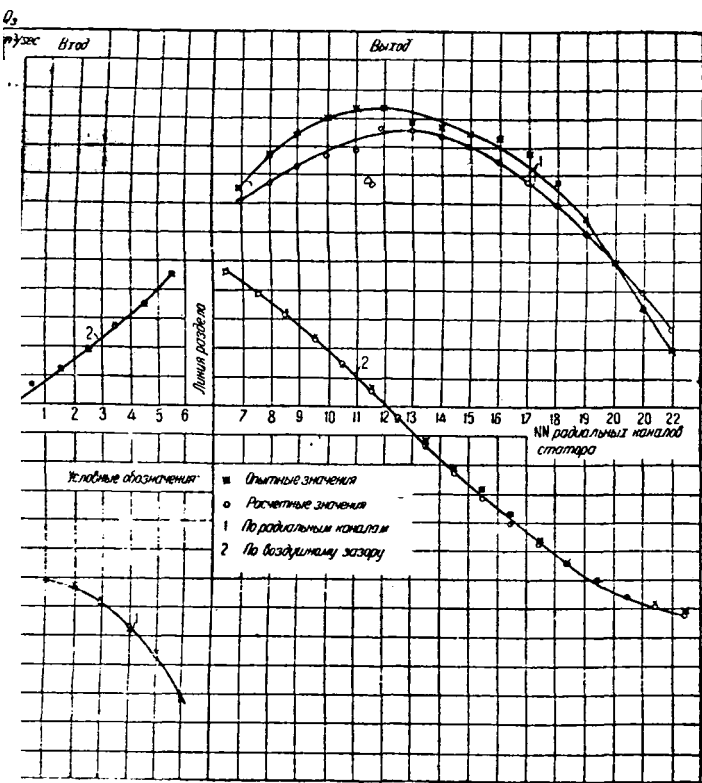
$$\Sigma \Delta h_1 = 80,06 \text{ mm H}_2\text{O}.$$

Суммарная потеря напора по участкам второй параллельной линии нагнетания (сторона выхода, примыкающая к камере лобовых соединений)

$$\Sigma \Delta h_2 = 81,34 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Расхождение в полученных значениях суммарной потери напора составляет 1,59%, что указывает на высокую точность удовлетворительность проведенного расчета.

Таким образом приходим к выводу, что напор, который должен быть создан вентилятором в конце фюзеляжа, составляет величину порядка 80 ÷ 81,5 mm H₂O. Чтобы убедиться в этом, проведем расчет фюзеляжа



1. Расчетные и опытные значения распределения количества по радиальным каналам и воздушному зазору

рис. 2 приведено распределение напоров по радиальным каналам статора и воздушному зазору модели турбогенератора на основании расчетных данных.

6. Расчет диффузора

Известно, абсолютная скорость потока воздуха выходе вентилятора c является результирующей составляющих: 1) так называемой меридиональной скорости c_m , лежащей в плоскости, перпендикулярной оси вала вентилятора, и 2) тангенциальной, иначе, скорости закручивания c_u :

$$c = \sqrt{c_m^2 + c_u^2}$$

Условленный скоростью закручивания c_u так называемый скоростной или динамический напор закрутки $\frac{\rho c_u^2}{2}$ при отсутствии за вентилятором какого-

направляющего приспособления является потерянным. С целью рационального использования этого остаточного напора закручивания, а именно превращения части его в полезный статический напор, обычно вентилятором устанавливают приспособление, которое в простейшем случае представляет собой два диска. Последние расположены так, что поток воздуха по выходе из вентилятора продолжает свое движение между параллельными стенками, образованными этими дисками (рис. 4).

Это направляющее приспособление, часто именуемое диффузором⁵⁾, находит все большее применение, особенно за последнее время, и в вентиляционной системе турбогенераторов.

Процесс трансформации скоростного напора в статический напор определяется законом сохранения энергии.

Диффузор представляет собой аппарат, стенки которого постепенно расширяются в направлении течения воздуха. Поэтому хотя форма диффузора и преследует ту же самую цель, что и направляющее приспособление, последнее, однако, с конечной точки зрения, строго говоря, нельзя назвать диффузором.

гии, который в данном случае может быть выражен следующим уравнением⁶⁾:

$$h_{cm} + h_{\Delta} + h_{\Delta u} + H_{mp} = h_{cm_2} + h_{\Delta_2} + h_{\Delta u_2}$$

Здесь h_{cm} — статический напор, $h_{\Delta} = \frac{\rho c_m^2}{2}$ — скоростной напор от меридиональной составляющей c_m абсолютной скорости, $h_{\Delta u} = \frac{\rho c_u^2}{2}$ — скоростной напор от тангенциальной составляющей c_u абсолютной скорости, H_{mp} —

⁶⁾ Данные с индексом 2 относятся к сечению в месте входа в диффузор; данные с индексом 3 относятся к сечению в месте выхода из диффузора.

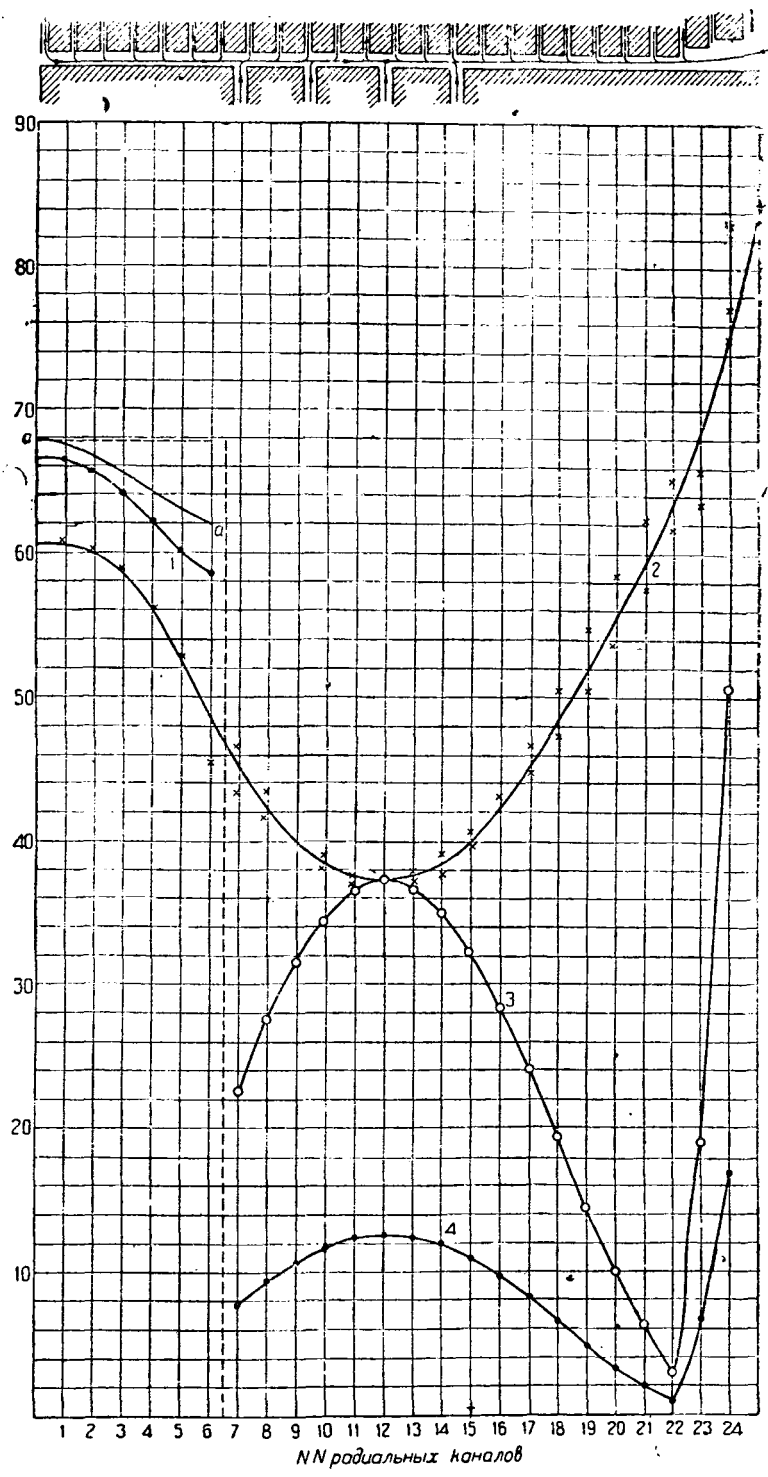


Рис. 2. Распределение напоров по каналам и в зазоре по расчетным данным:

- ax — напор в камере входа,
- 1 — напор в радиальных каналах входа,
- 2 — напор в воздушном зазоре,
- 3 — напор в радиальных каналах выхода,
- 4 — напор в камере выхода

потери напора, идущая на преодоление сопротивления от места входа в диффузор до места выхода диффузора.

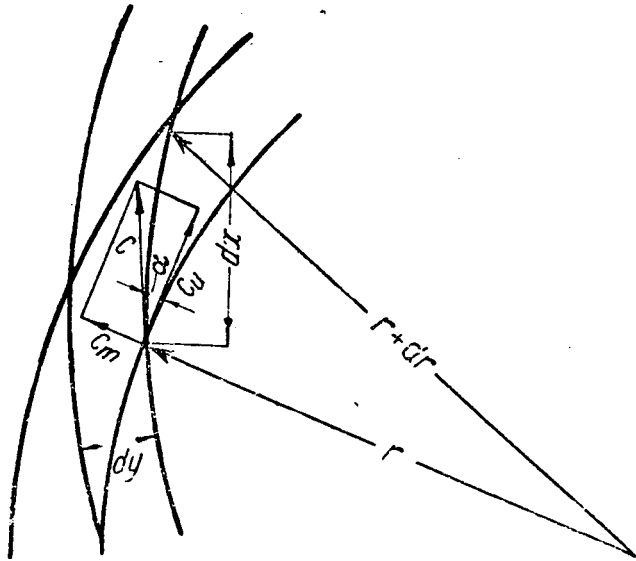


Рис. 3. Абсолютная скорость потока воздуха на выходе вентилятора

В месте выхода из диффузора скоростной напор от меридиональной составляющей h_{∂_3} меньше скоростного напора от меридиональной составляющей в месте входа в диффузор h_{∂_2} , так как меридиональная составляющая в любой точке диффузора определяется из условия непрерывности потока

$$c_m = \frac{Q}{\pi D b},$$

где Q — расход воздуха (m^3/sec), который является постоянным от сечения 2 до сечения 3, D — диаметр (m), на котором находится рассматриваемое сечение диффузора от оси вала вентилятора, b — ширина диффузора (m).

Одновременно с этим скоростной напор закручивания в месте выхода из диффузора $h_{\partial_{u3}}$ меньше, чем скоростной напор закручивания в месте входа в диффузор $h_{\partial_{u2}}$, так как изменение скорости закручивания c_u связано с изменением диаметра, на котором располагается рассматриваемое сечение диффузора, следующим уравнением ⁷⁾:

$$c_u D = \text{const},$$

так что $c_{u2} D_2 = c_{u3} D_3$ или

$$c_{u2} = c_{u3} \frac{D_3}{D_2} \text{ m/sec.}$$

Отсюда становится понятным, почему статический напор при установке диффузора увеличивается по сравнению с тем случаем, когда диффузор отсутствует.

Установив предварительные понятия, можно перейти к расчету диффузора. Расчет диффузора ставит своей задачей определение полного статического и динамического напоров в месте выхода из диффузора. Чтобы разрешить эту задачу, необходимо предварительно определить величину скорости потока воздуха в рассматриваемом месте.

В действительных условиях работы диффузора, т. е. при наличии трения, закон, выражаемый уравнением $D = \text{const}$ и имеющий место при отсутствии трения, же не применим; уменьшение скорости закручивания по мере приближения потока воздуха к выходу из диффузора происходит не только за счет увеличения диаметра, но и за счет трения частиц воздуха о стенки

диффузора. Следовательно, задача сводится к определению c_{u3} в действительных условиях, или, другими словами, к определению угла α между действительным направлением абсолютной скорости c_3 в месте выхода из диффузора с окружной скоростью, так как величина меридиональной составляющей c_m от трения не зависит и определяется, как было сказано, из условий непрерывности потока.

Здесь можно воспользоваться методом, изложенным проф. Pfeleiderer'ом в его работе „Untersuchung aus dem Gebiet der Kreiselpumpen“⁸⁾, внося в него некоторые дополнения.

Однако этот метод расчета в применении к диффузорам, которые устанавливаются в турбогенераторах, нельзя признать удовлетворительным по двум причинам: 1) основную потерю напора составляет потеря на удар в результате смешения струй с различными скоростями, а именно скорость потока, выбрасываемого вентилятором, значительно больше той скорости, которой обладает поток при входе в диффузор; 2) приходится задаваться коэффициентом трения, что, несомненно, вносит элемент неопределенности в проведении расчета.

Приняв во внимание эти соображения, расчет диффузора может быть проведен следующим образом:

Во-первых, определяем полный теоретический напор, развиваемый вентилятором, во-вторых, полный действительный напор, равный полному теоретическому напору за вычетом внутренних потерь вентилятора (последними при наклонных лопатках, которые обычно и при меняются в турбогенераторных вентиляторах, можно пренебречь), и, в-третьих, потерю напора на удар, которая по теореме Карно-Борда выражается следующим соотношением:

$$\Delta H_{\text{уд}} = \psi \frac{\rho}{2} (c_{2m} - c_m)^2,$$

где c_{2m} — меридиональная скорость на выходе вентилятора (m/sec), c_m — меридиональная скорость в том сечении диффузора, где поток уже установился после явления смешения. Так как эта скорость c_m мала, то ею можно пренебречь и считать приближенно, что на удар затрачивается напор

$$\Delta H_{\text{уд}} \approx \psi \frac{\rho}{2} c_{2m}^2.$$

Тогда полный напор в месте выхода из диффузора H'' равен полному действительному напору, создаваемому вентилятором, минус потери на удар.

С другой стороны,

$$H'' = h_{cm3} + h_{\partial_3} + h_{\partial_{u3}},$$

где h_{cm3} — статический напор в месте выхода из диффузора, $h_{\partial_3} = \frac{\rho c_{3m}^2}{2}$ — скоростной напор от меридиональной скорости (которым пренебрегаем), $h_{\partial_{u3}} = \frac{\rho c_{3u}^2}{2}$ — скоростной напор от скорости закручивания, причем:

$$c_{3u} = \frac{c_{2u} r_2}{r_3}.$$

Таким образом, зная $h_{\partial_{u3}}$, определяем статический напор в месте выхода из диффузора.

⁸⁾ См. журнал „Forschungsarbeit“ 1927, Н. 259.

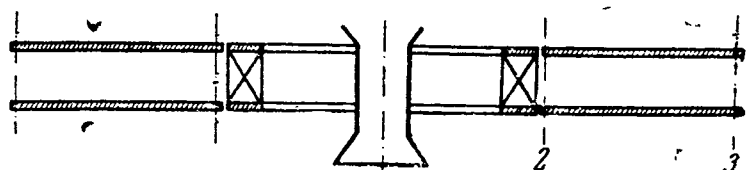


Рис. 4. Схема диффузора

⁷⁾ Pfeleiderer, Die Kreiselpumpen, S. 8.

Применим это выводы к расчету диффузора, употребившегося при испытании модели. Расход воздуха

$$Q = 1,36 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Сечение входа на лопастки вентилятора

$$F_1 \pi D_1 (b_1 + b_2) = \pi \cdot 0,39 \cdot 0,65 = 0,0796 \text{ m.}$$

Скорость входа на лопастки

$$c_1 = \frac{Q}{F_1} = \frac{1,37}{0,0796} = 37,1 \text{ m/sec.}$$

Окружная скорость на входе

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,39 \cdot 3000}{60} = 61,3 \text{ m/sec.}$$

Окружная скорость на выходе

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,463 \cdot 3000}{60} = 72,9 \text{ m/sec.}$$

Относительная скорость

$$w_2 = w_1 = \sqrt{c_1^2 + u_1^2} = \sqrt{17,1^2 + 61,3^2} = 63,6 \text{ m/sec.}$$

Скорость закручивания с учетом того, что при переходе от вентилятора с бесконечным числом лопаток к вентилятору с конечным числом происходит уменьшение полного теоретического напора:

$$c_{2u} = 51 \text{ m/sec.}$$

Тогда полный теоретический напор, развиваемый вентилятором,

$$H_{т. н} = \rho u_2 c_{2u} \approx 464 \text{ mmH}_2\text{O.}$$

Полный действительный напор вентилятора, учитывая потери в линии всасывания,

$$H_n = 464 - 48 = 416 \text{ mmH}_2\text{O} \text{ *)}$$

Меридиональная скорость по выходе вентилятора

$$c_{2m} = 60 \text{ m/sec.}$$

Потеря напора на удар

$$\Delta H_{уд} = \psi \frac{\rho c_{2m}^2}{2} = 303 \text{ mmH}_2\text{O.}$$

Полный напор в месте выхода из диффузора

$$H'' = 416 - 303 = 113 \text{ mmH}_2\text{O.}$$

Скоростной напор от скорости закручивания в месте выхода из диффузора

$$H_{двз} = \frac{\rho c_{3u}^2}{2} = \frac{\rho}{2} 23,6^2 = 35 \text{ mmH}_2\text{O.}$$

Таким образом статический напор в месте выхода из диффузора

$$h_{стз} = H'' - h_{двз} = 78 \text{ mmH}_2\text{O.}$$

Сопоставляя найденное значение статического напора с тем его значением, которое было получено раньше путем суммирования потерь напора на отдельных участках, видим достаточно хорошее совпадение

*) Эти потери приняты равными скоростному напору в линии всасывания:

$$\frac{\rho c^2}{2} = \frac{\rho}{2} \cdot 27,8 = 48 \text{ mmH}_2\text{O.}$$

13/ХІ—33 г.

ХРОНИКА

М. А. Шателен

К 40-летию его профессорской деятельности

Широкая масса электротехников и читателей «Электричества» хорошо знает имя профессора Михаила Андреевича Шателена — одного из крупнейших работников советской электротехники — по его многогранной деятельности на протяжении 40 лет.

Сорок лет профессорской деятельности Михаила Андреевича дали Союзу многочисленную школу его учеников, которые охватили своей работой самые разнообразные отрасли электротехники и многие из которых приобрели мировое имя либо личными работами, либо коллективным трудом над осуществлением электрификации Союза.

Свою научную работу М. А. Шателен начал на заре электротехники. Он был одним из первых профессоров по электротехнике в России и начал свою профессорскую деятельность в Электротехническом институте еще в прошлом столетии, в 1893 г. Однако полное проявление инициативы, энергии, организационного таланта и научной работы М. А. Шателена связываются не с Электротехническим институтом или другими вузами (Высшие женские политехнические курсы, Женский медицинский институт), где он в течение ряда лет был профессором, а с б. Политехническим и нынешним Электромеханическим институтом. Электротехнический институт М. А. Шателену как участнику резкого протеста против полицейских репрессий в высшей школе, подписанного им вместе с профессором В. В. Скобельциным и др., пришлось оставить в 1901 г. по распоряжению министра внутренних дел.

В Политехническом институте с момента его возникновения (1902 г.) Михаил Андреевич занял кафедру электротехники и основную свою научную работу по-



вел в области электрических измерений. Он создал здесь курс электрических измерений и выпустил в 1907 г. книгу «Электрические счетчики». Ведя одновременно курс энциклопедии электротехники, М. А. Шателен напечатал руководство и по этому курсу. Исключительное значение в преподавании М. А. Шателен придавал живому слову и поэтому постоянно изменял курсы в соответствии с прогрессом техники, заражая слушателей интересом к электротехнике и открывая перед нами светлые перспективы на будущее. Курсы неоднократно переиздавались с изменениями и расширениями.

Электрические измерения интересуют М. А. Шателена и сейчас: еще в 1931 г. совместно со своими учениками он выпустил лучшую до сих пор на русском языке книгу «Руководство к лабораторным занятиям по электрическим измерениям». Попробуйте свежо и увлекательно ведет он лекции по энциклопедии и электротехники.

Вопросы передачи электрической энергии и техники высокого напряжения нашли в М. А. Шателене горячего пропагандиста и исследователя. Занимаясь этими вопросами, он в 1911 г. создает при Политехническом институте первую в России научно-исследовательскую лабораторию высокого напряжения и выступает пионером в области высоконапряжения.

Эта лаборатория быстро развернула свою работу и создала крупнейшую в нашем Союзе школу специалистов по высокому напряжению, виднейшим представителем которой является академик А. А. Чернышев. Сам Михаил Андреевич вел в лаборатории исследование явления короны на проводах линии передачи.

М. А. Шателен вел и ведет научную работу и в целом ряде других областей электротехники. По электросварке, например, Михаил Андреевич работал вместе с Бенардосом и Славяновым, и ряд статей об «электрическом паянии», помещенных в «Электричестве» в 1896 г. и позднее, принадлежит М. А. Шателену. Электрическим освещением М. А. Шателен занимается с начала своей деятельности, и в 1897 г. им была написана книга о проектировании установок для электрического освещения; в 1922—1925 гг. Михаил Андреевич также много сделал для развития современной светотехники. Доклад «Об электрификации нефтяных промыслов», сделанный им на VIII всероссийском электротехническом съезде в 1921 г., дал толчок к работе по электрификации и переоборудованию нашей нефтяной промышленности, в настоящее время столь блестяще завершенному. В самое последнее время М. А. Шателен разработал вопрос об использовании свободной мощности электростанций в часы минимума графика для питания аккумуляторных автомобилей.

Научные труды М. А. Шателена были отмечены в 1930 г. избранием его членом корреспондентом Всесоюзной академии наук, и это избрание он понял как обязательство взять на себя новый труд. В Академии наук М. А. Шателен в качестве заместителя председателя Энергетического института им. Г. М. Кржижановского, активно верет работу по институту и по созданию Энергетического музея.

Исключительной является организационная деятельность М. А. Шателена. Он был организатором и первым деканом электромеханического отделения Политехнического института. Именно ему принадлежат основные идеи организации и постановки преподавания на отделении. Эти идеи, будучи проведены в жизнь, сделали электромеханическое отделение образцовым для всех вновь потом создававшихся в СССР электротехнических вузов. Мы можем констатировать, что эти идеи, бывшие 30 лет назад революционными и вызвавшие ожесточенное сопротивление со стороны приверженцев старой школы, не устарели до настоящего времени. Наоборот, только при советской власти они достигли своего полного развития. Постановку дела преподавания и организацию высшей школы Михаил Андреевич изучал в своих частых поездках по Европе и Америке, и этим вопросам посвящен ряд его статей, печатавшихся в разное время.

М. А. Шателен всегда принимал активное участие в жизни б. Политехнического института. В 1918 г., в один из наиболее тяжелых для института годов, он был ректором института. По его инициативе и при самом горячем участии организованы четыре новых факультета: механический и инженерно-строительный в 1908 г. и физико-механический и факультет индустриального земледелия в 1921—1923 гг., превратившиеся сейчас в крупные самостоятельные институты.

М. А. Шателен был один из немногих профессоров, правильно оценивших исторически прогрессивную роль Октябрьской революции и вступивших на путь творческой помощи победившему пролетариату уже с первых

лет существования советской власти. В 1920 г. Михаил Андреевич вошел в состав Гоэдро и активно работал в ней по составлению плана электрификации; с момента образования Госплана он состоит его членом; ни одно крупное строительство — Волхов, Днепр, Свирь и т. д. — не проходит без деятельного участия или содействия М. А. Шателена; наконец, крупнейшая работа по Генплану, которая велась в 1931—1932 гг. и ведется теперь, имеет в М. А. Шателене активного участника в работе.

Особо следует упомянуть о работе М. А. Шателена в Центральном электротехническом совете, заместителем председателя которого и председателем ленинградского отделения он состоял бессменно с основания ЦЭС в 1918 г. Здесь М. А. Шателеном организована и развернута большая работа по стандартизации и нормам, а также научно-технической экспертизе проектов электрических станций, линий передач и заводов, которая сохранила СССР многие десятки, если не сотни миллионов рублей.

Крупна и особо должна быть отмечена заслуга М. А. Шателена в деле развития электротехнической печати. С момента окончания университета М. А. Шателен состоял в числе работников редакции «Электричества» как секретарь редакции, а позднее стал для «Электричества» одним из основных его руководителей. Вплоть до настоящего времени участие Михаила Андреевича в редакции журнала сохраняет активный и исключительно полезный характер.

Ведя чрезвычайно многостороннюю научно-техническую, педагогическую и организационную работу, М. А. Шателен в течение всех 40 лет находит время также для весьма активной общественной деятельности. В VI отделе Русского технического общества он более 10 лет был председателем, и эти годы связываются с расцветом деятельности отдела. После революции М. А. Шателен исключительно активен в работе Всесоюзного энергетического комитета и организует здесь ряд конференций (по высоковольтным передачам, метеорологическую и пр.), руководит секцией научных работников Электромеханического института, состоит членом совета ленинградского Дома ученых с момента его основания и т. д.

Доклады на фабриках, заводах и в частях Красной армии, статьи в ленинградских и всесоюзных газетах по вопросам электрификации СССР и общим электротехническим и энергетическим дополняют характеристику М. А. Шателена как общественника, понимающего необходимость серьезной массовой работы.

М. А. Шателен как большой ученый, прекрасный педагог, выдающийся организатор и инженер и широкий общественник, известен не только СССР, но и за границей, где он часто бывает в качестве представителя СССР на международных электротехнических и энергетических конференциях. На всех всесоюзных электротехнических и энергетических съездах Михаил Андреевич является не только активным участником, но почти всегда членом оргкомитета и членом президиума.

Все, лично знающие М. А. Шателена и работающие вместе с ним, всегда находят в его лице человека исключительной отзывчивости, теплоты и высокого товарищеского чувства.

В день сороколетнего юбилея профессорской деятельности М. А. Шателена пожелаем ему еще на многие годы плодотворной работы на благодарном поприще специализированной электрификации Советского союза.

Совещание по вопросам метеорологии, связанным с задачами проектирования и эксплуатации высоковольтных линий электропередачи

26 октября 1933 г. закрылось Первое всесоюзное совещание по вопросам метеорологии, связанным с проектированием и эксплуатацией линий электропередачи высокого напряжения. Совещание, созданное Всесоюзным энергетическим комитетом, происходило в помещении Энергетического института Академии наук. Это было первое совещание не только в Союзе, но и во всем мире, где электрики и метеорологи сошлись для совместного обсуждения вопросов метеорологии, имеющих исключительно важное значение для электроснабжения.

На всех международных конгрессах, посвященных электропередачам, делались отдельные доклады по вопросам, связанным с метеорологическими явлениями, но почти нигде в обсуждениях не участвовали специалисты-метеорологи. Лишь на бывшем в 1932 г. Всемирном конгрессе по электротехнике участвовали физики, работающие в области атмосферного электричества, но и там все доклады этого типа были выделены в особую секцию, в работах которой электрики принимали очень мало участия.

В нашем совещании принимали фактическое участие 119 делегатов из различных местностей Союза, главным образом из тех, в которых климатические и метеорологические условия особенно неблагоприятны для работы линии электропередачи.

Совещание открылось приветствием Президента Академии наук А. П. Карпинского, сказавшим несколько слов о значении совещания для народного хозяйства Союза. Первый доклад был сделан председателем совещания, проф. М. А. Шателеном, в котором он коснулся прежде всего тех потерь, которые несет народное хозяйство Союза вследствие недоучета при проектировании и сооружении линий электропередач метеорологических и климатических условий, а также о тех еще больших потерях, которые вызываются перебоями в снабжении промышленности электрической энергией. На нескольких примерах докладчик показал, к каким результатам приводит неточное знание величин давления ветров, температуры, гололеда, грозových условий и т. п., и какой «коэффициент запаса» приходится принимать проектировщикам и строителям для компенсации нашего незнания.

Еще большие потери вызываются перебоями в электроснабжении промышленности, являющиеся также очень часто результатами недоучета влияний метеорологических факторов. Статистика аварий на линиях электропередач показывает, что весьма значительный процент аварий обязан своим происхождением грозovým разрядам, ветрам и гололеду. При правильном учете этих явлений можно значительно увеличить надежность сооружений и во многих случаях значительно уменьшить их стоимость. Для этого надо только иметь, с одной стороны, хорошо разработанные характеристики районов электропередач, проектируемых и строящихся в отношении основных метеорологических явлений и иметь хорошо организованную систему предупреждений в район электропередач об ожидаемых метеорологических явлениях.

Выяснению влияний отдельных метеорологических факторов на электропередачу, организации требуемых метеорологических наблюдений и организации передачи предупреждений были посвящены доклады совещания. Доклады эти, напечатанные заранее и розданные членам совещания, были представлены как метеорологам, так и электрикам. Наличие заранее напечатанных докладов позволило применить систему генеральных докладчиков по группам докладов, что освободило

время для прений и позволило развить их очень широко, не ограничивая число выступлений участников совещания.

Представители районов Ленинградского, Московского, Донбасса, Северного Кавказа, Урала и др. сообщили о тех авариях, которые в сетях этих районов вызываются метеорологическими явлениями, и перечислили те сведения метеорологического характера, которые необходимы для предупреждения аварий. Представители проектирующих организаций со своей стороны дали ряд сообщений относительно своих требований; с другой стороны, представители метеорологических организаций познакомили электриков подробно с тем, что у них делается, какие наблюдения ведутся, какие результаты этих наблюдений имеются и демонстрировали ряд карт и графиков, характеризующих эти наблюдения.

Весьма большой интерес вызвали доклады Главной геофизической обсерватории, Бюро погоды и Института климатологии относительно современного состояния и о методах долгосрочных и краткосрочных предсказаний погоды и о материалах для климатического районирования СССР для дальнейшего строительства и эксплуатации высоковольтных линий электропередач. Научно-исследовательские институты сделали также ряд докладов о своих работах и, в частности, о разработанных ими методах изучения атмосферных разрядов и измерения токов молнии. Управления электрическими сетями разных районов сообщили о весьма широко поставленных на некоторых сетях наблюдениях за грозowymi разрядами при помощи специально сконструированных приборов. Из обмена мнений выяснилось, что мы уже теперь имеем достаточно сведений, которые надлежащим образом обработаны и систематизированы и позволяют найти путь к правильному решению многих вопросов строительства электропередач. Но все-таки имеющиеся материалы далеко недостаточны, и совещание в своих резолюциях признало необходимым в самом срочном порядке развернуть широко метеорологические наблюдения и экспериментальные исследования. Совещание разработало подробно план исследовательских работ на ближайшее время и разработало проект стандарта наблюдательных станций различных категорий.

Как выяснилось на совещании, у нас в Союзе уже разработан и в единичных экземплярах построен ряд приборов, весьма точных, дающих возможность вести вполне надежные по своим результатам наблюдения. Необходимо только поставить перед соответствующими учреждениями вопрос о серийном производстве этих приборов в достаточном количестве. При правильной постановке этого производства оборудование всех станций может быть выполнено исключительно средствами промышленности Союза без затраты валюты за границы.

К метеорологическим наблюдениям совещание признало необходимым широко привлечь не только специальные метеорологические учреждения, но и организации, эксплуатирующие линии электропередач. Вся оперативную работу по методологии наблюдений, ин- структированию и т. п., по мнению совещания, должно взять на себя гидрометеорологическое управление Союза. Для связи этого управления с электротехниками и выяснения всех их нужд совещание постановило просить Академию наук организовать в Энергетическом институте Академии наук им. Г. М. Кржижановского особый сектор по вопросам метеорологии, связанным с проектированием, сооружением и эксплуатацией линий

электропередач, и привлечь к работе академиков, энергетиков, физиков и гидрологов, а также образовать в Энергетическом музее АН особый отдел, посвященный этим вопросам. Совещание признало также необходимым и впредь периодически собирать подобные совещания.

Для нашего Союза, все народное хозяйство которого развивается на базе электрификации всей страны, вопросы, рассмотренные совещанием, имеют особое значение при строящихся и проектируемых линиях электропередач длиной во многие тысячи километров. Небольшие упрощения и удешевления, которые явятся следствием более точных знаний метеорологических условий районов, по которым проходят и будут проходить линии, дадут многие миллионы экономии, как это четко выяснил ряд докладчиков, и особенно своевременное осведомление эксплуатирующих организаций о надвигающихся грозах, о надвигающемся гололеде и т. п. значительно, по мнению выступавших представителей этих организаций, поможет увеличить бесперебойность электроснабжения, позволив своевременно принять ряд предупредительных мер. А какое экономическое значение имеет бесперебойность электроснабжения крупных заводских районов и районов горных разработок, само собой понятно.

Привлечение Всесоюзной академии наук к этому большому делу обеспечит первоклассное научное руководство. Участие Всесоюзного энергетического комитета обеспечит связь со всеми центральными и местными рабочими организациями. Участие Главного гидрометеорологического управления с его громадным опытом и громадной сетью наблюдательных пунктов даст возможность собрать, обработать и передать для пользования электриков столь необходимые им метеорологические данные.

В заключительном собрании Совещание приняло две резолюции: одну общую по всем докладам (резолюция I) и вторую по докладу Комиссии, представившей на совещание по поручению Оргкомитета проекты метеорологических станций по наблюдению явлений, интересующих электротехников, проект на оборудование и ориентировочную программу работ (резолюция II).

Из резолюций совещания видно, что оно наметило ряд конкретных мероприятий и работ, которые начнутся теперь же, и результаты их будут использованы при ведущихся уже проектировках и при переработке норм, правил и стандартов, касающихся линий электропередач.

Проф. М. Шателен

РЕЗОЛЮЦИЯ I

1. Совещание по вопросам метеорологии, связанным с задачами проектирования и эксплуатации высоковольтных линий электропередачи, заслушав доклады и обсудив их, констатирует исключительно большое значение учета метеорологических факторов при проектировании и сооружении электроснабжающих систем, а также влияния этих факторов на надежность и бесперебойность электроснабжения. Вместе с тем совещание обращает внимание на очень малое знакомство метеорологов с работами, произведенными в электроснабжающих системах, а также весьма малое знакомство электриков с результатами работ метеорологических и климатологических организаций. Совещание считает, что имеющиеся уже теперь результаты работ метеорологических организаций надлежащим образом обработанные, могли бы оказаться весьма полезными при проектировании и эксплуатации электроснабжающих систем, однако эта польза может быть значительно увеличена, если расширить и уточнить программы метеорологических работ и связать работы метеорологических учреждений с работами, ведущимися различными ведомствами и электроснабжающими организациями как по тематике и методам наблюдений, а также в отношении разработки и сводки результатов.

Совещание считает, что для этой цели должен быть организован единый центральный орган, объединяющий работников метеорологических учреждений, научных институтов и ведомств, заинтересованных в работе метеорологов по вопросам, связанным с проектированием, сооружением и эксплуатацией электроснабжающих систем и систем связи. Все оперативную работу

по сборанию и обработке материалов Совещание считает целесообразным сосредоточить в Единой гидрометеорологической службе СССР, которая должна использовать результаты работ различных ведомств и организаций, ведущих метеорологические наблюдения, как НКС, НКПС, Главэнерго, НКЗ и т. д.

Центральное управление Единой гидрометеорологической службы СССР должно взять на себя работу по инструктированию, по составлению программы наблюдений и т. п., увязав свои работы с работами организуемого центрального органа. Этот центральный орган совещание считает наиболее целесообразным образовать в составе Академии наук при Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского, в котором должен быть для этой цели образован особый сектор, к работе в секторе необходимо привлечь также академиков-энергетиков, физиков и гидротехников. В состав работников центрального органа должны войти специалисты электрики и метеорологи.

2. Совещание считает необходимым теперь же поставить на очередь перед соответствующими организациями (ЕГМС СССР, НКПС, НКС, Главэнерго, НКЗ и т. д.) вопросы о начале и проведении ряда работ, срочная необходимость которых выяснилась из докладов и их обсуждений, перечисленных в прилагаемом списке.

3. Поручить Бюро по высоковольтным электропередачам обратиться в президиум Академии наук с просьбой о возможности скорейшей организации особого сектора при Энергетическом институте.

4. Поручить Бюро по высоковольтным электропередачам опубликовать в ближайшее время материалы Метеорологического совещания с приложением демонстрированных карт и прочего графического материала.

5. Признать крайне необходимым созыв периодических совещаний электротехников с метеорологами.

6. Считать крайне необходимым организацию при Энергетическом музее Академии наук специального отдела, отображающего своим материалом совместную работу метеорологов и электриков для нужд электрификации.

7. Совещание поручает Бюро по высоковольтным электропередачам выполнение всей работы по реализации настоящих постановлений совещаний.

СПИСОК

работ, необходимых к проведению в ближайшее время (приложение к резолюции I)

I. Гололед и изморозь

1) Организовать работу по физико-метеорологической природе гололеда.

2) Начать изучение образования гололеда и изморози на различных высотах от поверхности земли (10, 15, 25, 50, 75 м и выше).

3) Вести регулярные наблюдения за гололедом и изморозью и обмен опытом по имеющим место авариям путем систематизации и опубликования материалов.

4) Уточнить и расширить наблюдения над определением удельного веса гололеда.

5) Просить НКПС внести постройку гололедных станций в Дебальцево в число ударных строек.

6) Изучить зависимость отложения гололеда и изморози от величины тока в проводе, от диаметра провода и материала его.

II. Ветер

1) Организовать возможно полные анемометрические измерения на различных высотах от поверхности земли.

III. Температура

1) Начать изучение вопроса о нагревании проводов под непосредственным действием солнечных лучей.

2) Начать изучение температур почв различного типа под снежным покровом и без него для обычно принятых глубин.

3) Организовать систематическую и широко развернутую работу по определению проводимости почвы разных грунтов и в разных условиях.

IV. Атмосферное электричество

1) Поставить экспериментальные лабораторные работы по исследованию возникновения разряда при больших электрических градиентах при наличии ионизирующего фактора в форме лучей.

2) При постановке работ по изучению ионизации воздуха желательно производить наблюдения во время прохождения грозовых облаков.

3) Согласовать тематику работы сектора атмосферного электричества и земного магнетизма ГГО с запросами электротехников.

4) Поставить наблюдения в высокогорных районах по всем метеорологическим факторам, выделив отдельно вопросы по изучению атмосферного электричества.

5) Проверить в эксплуатации метод измерения токов молнии, предложенный ЛЭФИ, обратившись за содействием в Главэнерго.

V. Общие и организационные вопросы

1) Учитывая важность заблаговременного предсказания погоды, просить Бюро погоды СССР давать прогнозы погоды как длительные, так и краткосрочные эксплуатирующим электроорганизациям.

2) Установить связь эксплуатирующих электроорганизаций с органами синоптической метеорологии.

3) Начать изучение вопроса о влиянии метеорологических факторов на вибрацию проводов.

4) Пересмотреть имеющиеся в эксплуатации приборы по измерению параметров молнии для установления стандартов для массового их производства.

5) Пересмотреть существующие инструкции для учета и записи гроз, гололедов, ветра и других метеорологических явлений, составить единые инструкции, удовлетворяющие конкретным нуждам электрификации.

6) Уточнить методы анализав аварий в электроснабжающих системах и принять меры для их унификации путем тесной увязки электроснабжающих организаций с существующими геофизическими и метеорологическими учреждениями.

7) Учитывая необходимость для наблюдений соответствующих измерительных приборов в достаточном количестве, поручить организуемому центральному органу связаться с промышленностью по вопросу постановки серийного производства этих приборов как-то: клидографов, анемографов, динамографов и т. д.

8) Организовать сбор сведений о грозовых ударах с возможно более полным описанием пути грозового удара и его последствий. Сведения эти должны быть доставляемы эксплуатационным персоналом линий электропередачи, а также метеорологическими станциями.

9) Привлекать к наблюдению за метеорологическими явлениями дежурный персонал подстанций и линий передачи, для чего поручить образуемому центральному органу разработать программу наблюдений, инструкции несложных приборов и составить инструкцию по работе с ними. Необходимо к наблюдениям привлечь персонал колхозов, совхозов, МТС, краеведческие организации и агрометкорреспондентов.

РЕЗОЛЮЦИЯ II

по докладу «Технические условия на сооружение и эксплуатацию стандартных метеорологических станций для нужд электрификации»

Совещание считает намеченные в проекте типы станций наблюдательных постов в основном правильными, но полагает необходимым внести следующие дополнения:

1) Учитывая крайнюю актуальность исследования геофизических элементов (в частности, ветра, температуры и электрических явлений) на высоте подвески проводов и выше, признать совершенно необходимым сооружения на испытательных станциях специальных вышек, а также использование для этих наблюдений некоторых из имеющихся уже опор и радиомачт, находящихся в эксплуатации.

2) Необходимо на каждой станции как опорной, так и основной подвесить несколько (не менее 2) пролетов проводов. В эти пролета включаются регистрирующие или в крайнем случае простые с максимальной стрелкой динамометры для измерения давления ветра на провода. Должна также измеряться температура этих проводов электрическим методом. В случае более чем двух проводов желательно иметь провода из разных материалов (медь, железо, алюминий и сталь-алюминий). Величина пролетов должна быть стандартизована (100 м). Высота подвески проводов порядка 8—10 м. Пролеты должны быть довольно перпендикулярны.

3) В программу работ опорных станций должны быть включены работы по измерению проводимости почвы.

4) Метеорологическая сеть станций должна быть обеспечена необходимыми и достаточными средствами связи.

5) В программу работ метстанций должны быть включены регистрация и обследование мест, поражаемых молнией.

6) Во всех пунктах, где имеются высокие мачты, должны быть поставлены регистрирующие приборы для определения величины тока молнии.

7) На всех станциях необходимо вести наблюдения за высотой грозовых облаков и, где возможно, проводить измерения толщины их.

8) Наблюдательные метпосты основной метеорологической сети в районах электропередач должны располагаться на станциях и подстанциях с внесением в их программу ряда специальных наблюдений.

Комиссия считает необходимым осуществить постройку в 1934 г. по крайней мере одной опорной станции (в районах Донбасса, Урала, Москвы).

Ленинградский электромеханический институт (ЛЭМИ)

Лаборатория высокого напряжения им. проф. Смурова А. А.

Катодно-осциллографические полевые станции

Лабораторией на основании опыта предыдущих лет выполнены две катодно-осциллографические полевые станции и луцены в эксплуатацию, — одна на Штеровской и вторая на Зуевской электростанциях для наблюдений в грозовом сезоне 1933 г. перенапряжений на линиях.

Каждая станция состоит из двух автоматических катодных осциллографов со всеми необходимыми аппаратами и приборами. Один катодный осциллограф со шкалой до 40 μcm^2 и другой на 200 μsec .

Осциллографы вертикального типа с железным корпусом.

Каждый осциллограф откачивается тремя ртутными насосами: два для катодной трубки и третий для корпуса.

Осциллограммы наблюдаются или на экране через окно, или же снимаются на фотопластинку. В камеру может закладываться 12 фотопластинок. Смена пластинок производится при помощи соленоида. Для постоянного наблюдения за вакуумом каждый осциллограф снабжен вакуумметром видоизменной системы Пирани, изготовленным силами лаборатории.

Ртутные насосы запроектированы и изготовлены в лаборатории и при испытании показали отличную работу при входной температуре охлаждающей воды до 35° С. Откачивают осциллограф в течение 10 минут с момента включения напряжения на нагрев холодного насоса. При действующих ртутных насосах напушенный в осциллограф воздух до давления 0,1 мм рт. ст. откачивался до рабочего состояния в продолжение не свыше 10 сек.

Для масштаба времени при каждой полевой установке лабораторией запроектированы и заполнены генератор высокой частоты на 500 килоциклов. Генератор имеет полное питание от сети переменного тока, стабилизирован кварцем, что позволяет иметь гарантированную устойчивость системы генератора до 0,1% и освобождает от добавочных волномерных устройств.

Управление генератором осуществляется при помощи кнопки и одной рукоятки для настройки.

Обе установки находятся в работе, зарегистрировано уже довольно значительное количество перенапряжений грозового характера и дают очень хорошие записи, которые будут опубликованы в ближайшее время после обработки.

Стреляющие предохранители для разрядников

Лабораторией разработаны стреляющие предохранители на гарантированные разрывные силы тока до 3000 А для рабочих напряжений 22, 38 и 110 кВ.

Предохранители устанавливаются в автоматическом приборе, позволяющем автоматически переменить предохранитель после того как он сработает.

Автомат на 22 и 35 кВ имеет шесть предохранителей и автомат для 110 кВ имеет три предохранителя.

Ввиду отсутствия фибровых трубок для предохранителей используются бакелитовые трубки, которые имеют внутреннюю фибровую прокладку.

Стреляющие предохранители испытывались лабораторией в сетях Ленэнерго, Донсевукрэнерго и показали хорошую работу, причем величина выключаемого тока доходила до 11000 А. Дуга рвалась за время от 0,01 до 0,03 сек.

Промышленный образец стреляющего предохранителя на 110 кВ был испытан в 110-кВ сети Мосэнерго. Образец выключал ток от 2500 до 3600 А за время 2—3 полупериода.

Исследование импульсных характеристик изоляторов

В лаборатории было исследовано около 70 изоляторов подвесных, штыревых, проходных и опорных различных фирм, типов, применяющихся в электрических установках СССР. Помимо определения разрядных напряжений при промышленной частоте и импульсах для всех изоляторов были определены по разработанному лабораторией методу импульсные характеристики в дугах искрового промежутка. Величина искрового промежутка в зависимости от амплитуды падающей волны напряжения импульса и обуславливается длиной пути разряда по поверхности

изолятора. На основании опытов построены обобщающие кривые для данной конструкции изоляторов зависимости искрового промежутка от высоты изоляторов для 6,38 и 110 кВ стационарных, опорных, проходных, аппаратных, проходных и линейных, штыревых и полевых изоляторов.

Пользуясь обобщающими кривыми для данного типа и конструкции изоляторов при заданной высоте его, можно находить

непосредственно ту величину искрового промежутка, который будет предшествовать разряд по изолятору при любых значениях амплитуды волны импульса до значений амплитуды в 1500 кВ.

В результате испытаний на каждый исследованный объект составлена паспортная карточка, дающая полное представление об исследуемом объекте и его электрических свойствах.

Инж. Г. М. Коновалов

Постоянное бюро по электрификации железных дорог ВЭК — РНИТО

Президиум Постоянного бюро по электрификации железнодорожного транспорта в заседании от 9/X 1933 г. постановил созвать в Москве расширенный третий пленум бюро в январе 1934 г.

Основной задачей работ пленума является обсуждение, главным образом, организационных вопросов, выдвинутых развитием электрификации железных дорог во втором пятилетии.

Длительность работы пленума рассчитывается на 3 дня.

В соответствии с этим сообщения и доклады по вопросам, включаемым в повестку, должны сосредотачивать внимание на сжатом изложении положения дела электрификации железных дорог в настоящее время и имеющихся достижениях, на выявлении неполадок и узких мест в строительстве, производстве и проектировании на мероприятиях по их преодолению в целях согласованного осуществления количественных и качественных показателей второго пятилетия.

Предварительная программа пленума:

1. Техничко-экономические задания второй пятилетки электрификации железных дорог.

2. Итоги работ по электрификации железных дорог в 1933 г. и перспективы 1934 г. (докл. т. Худяков А. Н.).

3. Электрификация транспорта на международных энергетических конференциях 1933/34 г. (докл. проф. Шателен М. А.).

4—5. Результаты эксплуатации магистральных и пригородных железных дорог на электрической тяге.

6. Производственная база электрификации железных дорог СССР («Динамо», Мытищи, Коломенский завод «Электросила», Завод ртутных выпрямителей, «Электровозстрой»).

7. Электрификация Московского узла и увязка пригородного электрифицированного транспорта с внутригородским московским транспортом (докл. т. Овчининский Д. В. и т. Мышенко К. С.).

8. Проект электрификации пригородного движения Ленинграда и Харькова и увязка его с внутригородским транспортом.

9. Ход работ по сооружению опытной линии и программа испытаний при однофазном и постоянном токе высокого напряжения (доклад Института электрической тяги НКПС).

10. Электровозы тока нормальной частоты (докл. акад. Шенфер К. И.).

11. Итоги работ НИИ в области электрификации железных дорог за 1933 г. и план работ на 1934 г. (ЦЭИ, ЦИС, ВЭИ, ЛЭФИ, Института электрификации Промтранспорта, Электровозного бюро, завода «Динамо»).

12. Отчет Постоянного бюро, его секций и ленинградского филиала о работе в 1933 г. и план работ 1934 г.

Постоянное бюро просит все заинтересованные организации и отдельных лиц, желающих принять участие в работах Пленума, направить заявки по адресу: Москва, Красная площадь, 9/2 ВЭК—РНИТО, Постоянное бюро по электрификации железных дорог.

Одновременно Бюро просит внести свои пожелания к намеченной программе и вносить дополнительные доклады.

БИБЛИОГРАФИЯ

С. Л. ХОЕЦКИЙ, Электротехнические изоляционные материалы. ОНТИ, Энергоиздат, 1933. Л.—М. 316 стр. Цена 5 руб., перепл. 75 коп. Тир. 5 000 экз., 19/4 п. л.

Составлению книги по электротехническим изоляционным материалам необходимо должна предшествовать ясная и продуманная установка, позволяющая целесообразно организовать коллессальный материал, накопившийся в указанной отрасли.

Здесь можно идти или путем подробного описания свойств, применения и технологии электроизоляционных материалов, или же путем углубления в соответствующие вопросы физики и химии, связывая их с конкретными и типичными примерами и характеристиками электроматериалов. Третий путь, соединяющий две указанные точки зрения и, очевидно, здесь избранный автором, изобилует затруднениями, с которыми автор, несомненно, не справился. Вместе с тем надо заметить, что электротехническое материаловедение, по существу, охватывает всю химию в чистом виде (минеральную, органическую, коллоидную) и ее прикладные отрасли (химию и технологию смол, масел, нефти, лаков, целлюлозы, каучука, растворителей, силикатов и т. д.), почти всю физику, включая ее обширную часть — электрофизику, и также охватывает основную часть современной электротехники.

Попыток составления книг по всему электроматериаловедению, насколько нам известно, до сего времени не было. Результаты составления книг по химии электроизолирующих материалов (Штегер), по их технологии (Варрен) и электрофизике (Гемант, Вальтер и др.) в общем неудовлетворительны и оставляют желать многого. Опыт С. Л. Хоецкого, хотя и ограничившегося областью электроизоляционных материалов, весьма смел, но в конце концов не вполне удачен. Несмотря на сравнительное превосходство книги С. Л. Хоецкого над появившимися в последние 2 года книгами Окулова, Александрова и Тареева, Ренне и Карандеева и другими руководствами, прежде напечатанными в СССР, несмотря на известный многим большой опыт, компетенцию и эрудицию автора в данной области, надо признать, что книга имеет много недостатков, происходящих от пренебрежения путем коллективного создания книги с привлечением соответствующих специалистов. Поэтому в книге сведения неполны, и во многих случаях устарели, местами нет критического подхода к ним со стороны автора, нет многих сведений о последних достижениях и о научных данных по затронутым вопросам.

Из большого количества неправильностей, неясностей и неточностей, имеющих в рецензируемой книге, укажем хотя бы на следующие:

*) Из материалов критико-библиографического Научно-исследовательского института ОГИЗ. Вологодская областная универсальная библиотека

В разделе о восках, смолах и компаундах с точки зрения химии неверно отнесены к воскам озокерит (стр. 107), стеарин (стр. 109), балхашит, линолин и парафин. Правда, речь может идти об ином принципе классификации восков, выражаемом термином «технические воски», но соответствующей оговорки автор не делает. О синтетических восках, играющих крупную роль в промышленности Европы и Америки, ничего не говорится. Определение естественных смол неверно; в определении смол непонятна фраза: «кроме того, они (т. е. смолы) обладают способностью выделяться (?) из растворов в соответствующих растворителях, образуя пленки при испарении этих последних».

Смолы и битумы объединены без объяснения различия между ними. Указана неверная температура плавления канифоли (около 100°) и неверны сведения о ее растворимости; не указано, в каком виде обычно канифоль применяется в лаковом деле. Нет сведений о химическом старении шеллака, о работах в этой области Гарриса, Тигриха, Штегера и др.

Что такое «смола гарнета»? Автор, вероятно, слово «гарнет» принимает за фамилию какого-нибудь исследователя, тогда как слово «гарнет» по-английски означает гранат и здесь применяется в смысле шеллака гранатного цвета.

Не указаны другие виды шеллака, методы его добытия, очистки и фальсификации.

Грубой ошибкой является утверждение, что наилучшие заменители шеллака — суть асфальтовые лаки и фенольно-формальдегидные смолы (стр. 112). Нет сравнения свойств миканита на шеллаке и других клеющих веществах. Нет объяснения изменениям физических свойств шеллака при нагреве. В соответствующей книге Штегера глава о шеллаке довольно хорошо изложена, и заимствование сведений из нее было бы для автора лучшим выходом.

Ошибочно сообщение автора, что копалы — суть смолы из рода Coniferae; следовало бы сказать в книге о твердости, старении, о прессовке копалов.

Объяснение образования фенольно-формальдегидных смол, приводимое автором, достаточно устарело. Лучше было бы соответствующее объяснение заимствовать у Штегера или из книги Шейбера «Синтетические смолы».

Что такое «парафармин» (стр. 118)?

Розовый цвет не является характерной особенностью фенола: бывает и бесцветный фенол; нет указаний на различие в образовании и свойствах фенольно-формальдегидных смол, а также на различие в электрических свойствах у полимеризованных и неполимеризованных смол, несмотря на то, что в литературе по этому вопросу можно найти достаточно данных. Дано неверное определение глифталевам (по автору — глифтальевым) смолам как смолам из «глицерина и ароматических кислот» (?). Неверно, что глицерин — это спирт, а не продукт, что и глицерин. В отношении

глифталевых смол — также, нет их классификации, не приведены способы варки, не указаны недостатки глифталая как клеящего вещества для миканитов. Неудачно изложен абзац об акролите. Нет никаких сведений о физических и электрических свойствах мочевино-формальдегидных смол и о применении их в электротехнике. Нелепостью является утверждение, что кумарон и инден (может быть это опечатка?) получают при действии крепкой серной кислотой на сольвентнафту (стр. 125).

В одной главе смешаны сведения о сиккативах и методах облагораживания канифоли путем образования солей. Весьма неудовлетворительна глава о соединениях целлюлозы; нет данных о сравнительной стойкости нитро- и ацетил-целлюлозы; нет ничего об этил- и бензил-целлюлозе, между тем как эти материалы среди эфиров целлюлозы один из лучших для электротехники. Неудачно составлена глава о лаках; нет сведений о наших союзных лаках, об их составе, применении, замене и недостатках. Нет рецептов эмалей; спутаны в одном месте эмали битуминозные для проволоки с эмалью пигментированными. Нет данных о коллоидной структуре лаков и эмалей, их старении, механизме сушки, действии озона и т. д. Весьма рискованным является рекомендуемое автором применение жиропота (ланолина) при составлении компаундов, так как известно, что ланолин является хорошим эмульгатором. Почему автор не изложил опытов своей лаборатории по составлению компаунда 225 (для компаундирования), не сказал о свойствах гильсонита и о его заменителях среди союзных асфальтов?

Испытания лаков, компаундов и сырья освещены в одной главе, без указаний, относится ли данное испытание к лаку, компаунду или сырью.

В главе «Волокнистые материалы» (стр. 190—221) также имеются недостатки. Хотя в отношении тканей изложены общие сведения, характеризующие поведение органического волокна в отношении влажности (набухание) и температуры (термическое старение), но их нет о бумагах. При описании процесса варки разных типов бумаги (§ 64, а) имеется ряд грубых ошибок. Никогда сульфатная целлюлоза не получится «клячением» древесины в растворе сернокислого кальция... Сульфатный процесс — есть щелочной процесс, как натронный, но потому, что получается нужный едкий натр путем закаливания натрисульфата (никогда не сернокислого кальция), этот процесс называется сульфатным. Наоборот, в сульфитном процессе, который является кислым, едкий натр (вопреки указанию автора) не добавляется. Никогда нельзя к целлюлозе добавлять серной кислоты, так как от нее целлюлоза испортится: здесь, очевидно, перепутана серная кислота с сернистой.

Безусловно ошибочно замечание (стр. 200), что «электрические испытания бумаг не представляют никаких специфических особенностей»... гигроскопичность, пористость, слоистость и специфические условия применения были причиной многих специальных исследований и требуют особого освещения и даже стандартизации электрического испытания бумаги.

Сведения о конденсаторной бумаге в книге неточны и устарели. В Союзе давно уже изготавливается конденсаторная бумага и не «главным образом на основе высокосортной химической целлюлозы» (стр. 193), но исключительно из льняного и хлопчатобумажного тряпья. Американская конденсаторная бумага для статических конденсаторов имеет толщину 0,009—0,091 мм, а не 0,15 мм (табл. 38, стр. 193).

Глава «Слюдяные материалы» (стр. 247—257) в себе содержит весьма скудные указания о месторождениях слюды, ее обработке, свойствах, классификации слюдяных материалов, их технологии и применении. В отношении каждого из рассматриваемых в главе материалов (твердый миканит, формовочный, микафолит, микалента, гибкий миканит, термостойкий и микалекс) даны крайне ограниченные сведения.

Следует указать, что заграничный опыт, а тем более, опыт электромашиностроительных заводов Союза, почти совершенно не отражены в этом разделе. Автор преимущественно основывается на экспериментальных данных, полученных на заводе «Электросила» (Ленинград), и, как видно, они лишь в самом грубом приближении характеризуют материал, а в некоторых случаях являются ошибочными. Например, автор указывает, что «флогопит более гибок, чем мусковит», между тем как экспериментальные данные Отдела электротехнических материалов ВЭИ показывают, что наибольшей гибкостью обладает мусковит. Точно так же, например, удельное объемное сопротивление флогопита указывается от 10^{11} до $5 \cdot 10^{12}$ Ом/см, в то время как это сопротивление для флогопита среднего качества равно 10^{13} — 10^{14} Ом/см.

В главе о методике испытаний нет никаких сведений об испытании слюдяных материалов.

Необходимо отметить ошибочность выражения: «Слюда — минерал, обладающий высокой степенью спайности» (разрядка наша), где автор, вероятно, имел в виду совершенную спайность кристаллов слюды. Также указание автора на «Уральское месторождение при ст. Слюдянка» ошибочно, потому что ст. Слюдянка находится не на Урале, а близ оз. Байкала.

Отмеченные недостатки главы о слюдяных материалах снижают ее ценность.

Глава XIV (испытания изоляционных материалов) (стр. 288—315) достаточно тщательно обработана, несмотря на то, что общим вопросом этой области не уделено должного внимания.

В § 109 (стр. 296) влияние температуры на сопротивление упоминается, очевидно, с точки зрения рассмотрения этого фактора как источника ошибок при измерении. Но это влияние недостаточно освещено указанием на то, что стекло при 700° «дает весьма заметный ток проводимости». Не более определенно доказывает это и рис. 165, показывающий лишь качественное изменение и при температурах выше 400° , когда вряд ли можно говорить о температуре как источнике ошибок при нормальном измерении. Все это гораздо проще было бы выразить примерно так: «Обычно для твердых диэлектриков разница в температуре на 1° обуславливает изменение сопротивления на 10%...»

В книге такого подчеркнутого практического характера можно было бы ограничиться указанием на определение диэлектрического коэффициента, главным образом, только при 50 пер/сек. И, ввиду того что мост Шеринга в § 112 описывается как наиболее часто применяемый, можно было бы указать на возможность его применения для измерений ϵ . Следовало бы также сказать более подробно об усилителе, — этом важнейшем и распространенном добавлении к мосту Шеринга.

На стр. 308 указывается на замазку из титановых белил на олифе как на хорошее средство в борьбе с краевым эффектом. Но ряд опытов не позволяет столь оптимистически расценивать указанную замазку. Здесь также нет сведений о возможности применения полупроводящих слоев и о целесообразном выборе формы краев как пока единственно надежном средстве борьбы с краевым эффектом.

В книге нет данных по одному из важнейших вопросов испытания лаковых пленок, т. е. о стандартном изготовлении их. В крайнем случае этот вопрос заслуживает хотя бы упоминания, как один из самых спорных вопросов методики испытания изоляционных материалов.

В расчете на стр. 314 ток потребления в 20 МА (в тексте опечатка — 20 А) слишком велик, а теоретическая формула (98) неточна, как это уже выявлено путем экспериментов. Формула исходит из представления об идеальном конденсаторе, между тем как ток после действия в реальных конденсаторах с твердым диэлектриком значительно улучшает действие конденсатора. Конденсатор емкостью 80 μ F по нашему мнению вполне достаточен для установки в 100 kV, и т. д., и т. п.

Кстати упомянем, что автор, к сожалению, в отношении многих утверждений не указывает источников заимствования, что иногда дезориентирует читателя.

Литература в книге указана в чрезвычайно малом объеме, а решение издательства опустить иностранную литературу — весьма неудачно и является выражением одного из распространенных в издательствах недостатков — недоучета значения технической библиографии.

С точки зрения литературного оформления книги следует сожалеть об отсутствии при ней указателя именного и предметного.

При относительной дешевизне книга вместе с тем издана удовлетворительно, с достаточным количеством иллюстраций, с небольшим количеством опечаток.

Заключая, отметим, что автором выполнена несомненно большая работа по составлению столь необходимой книги.

Несмотря на ряд недостатков, книгу можно широко рекомендовать.

Б. В. Максоров, М. И. Мантров, Ф. А. Квитнер, А. П. Примаковский

(Отдел электротехнических материалов ВЭИ)

Ch. Lavanchy, Etude et construction des lignes électriques aériennes, Librairie J. B. Baillière et Fils, Paris, 1932, 728 стр., 302 рис.

Цена 150 фр.

На развитие техники применений электричества в нашей стране оказала влияние, главным образом, германская и в несколько меньшей мере американская электротехника. В связи с этим из иностранных книг по электротехнике наибольшим распространением в электротехнических кругах Союза пользуются немецкие и американские книги. Книги же по электротехнике на французском языке у нас распространены довольно мало. Об этом надо пожалеть. Правда, французские издания уступают немецким и американским в отношении систематичности расположения материала и внешнего оформления (слабым местом французских книг является обычно качество бумаги, на которой они печатаются: не плохая, но толстая бумага увеличивает объем книг, делая их менее портативными и удобными для пользования). Зато французские авторы владеют секретом сочетания глубины трактовки предмета с удивительным изяществом математического анализа при максимальной доступности изложения.

Блестящим примером в этом отношении может служить рецензируемая книга. Она представляет собой один из выпусков «Энциклопедии промышленной электротехники», входящей в состав серии «Больших промышленных энциклопедий», издаваемых под наблюдением Французского общества гражданских инженеров и Общества поощрения национальной промышленности.

Автор книги, один из виднейших французских электротехников, хорошо знаком нашим инженерам своими многочисленными журнальными статьями по вопросам канализации электрической энергии и докладами на различных международных электротехнических и энергетических съездах, активнейшим участником которых он неизменно является.

Воздушные электрические линии и сети, которым посвящена книга, занимают крупное место в нашем плане великих работ. Рецензируемый весьма объемистый том распадается на три части: часть I содержит электрический расчет линий передач и сетей, часть II — механический расчет и конструктивное выполнение, и наконец, часть III — экономику воздушных линий. Много внимания в изложении уделено описанию графических способов расчета и особенно методов и номограмм, предложенных самим автором, зачастую весьма остроумных и дающих большую экономию времени, затрачиваемого на расчеты. Всесторонне разобраны вопросы, касающиеся расчета и конструкции опор. В этой книге читатель находит впервые в систематизированном виде и с числовыми примерами сведения о расчете опор из железобетона, сведения, которые до сего времени приходилось собирать из журнальных статей. Поэтому данный отдел для нас представляет особый интерес: удачный опыт заграницы с железобетонными опорами позволяет считать весьма желательным более широкое распространение их в СССР в целях суррогатирования железа. Более интенсивному применению опор из железобетона препятствовали пока не совсем благоприятные результаты редких применений их в нашей стране, недостаточное пока развитие цементной промышленности, отсутствие удобных местных путей сообщения, а в значительной мере и недостаточное знакомство с их свойствами и способами расчета. Много места в книге отведено вопросу о фундаментах опор. Наконец, специальная глава трактует цепное подвешивание проводов (для целей тяги).

Изложение методов расчета иллюстрируется достаточным числом подробно просчитанных числовых примеров. Кроме того, читатель найдет в книге порядочное количество ценных практических табличных данных. В отделе о механическом расчете интересны сопоставления норм расчета в различных странах (только данные о союзных нормах отсутствуют). Довольно значительную ценность представляют сравнительно многочисленные, но, к сожалению, не систематизированные, библиографические ссылки. Книга снабжена подробным алфавитным предметным указателем, который можно найти далеко не во всякой французской технической книге.

Рецензируемая книга призвана занять место в ряду таких капитальных изданий, как книги Герцога и Фельдмана и Тейхмюллера, которые приобрели значение классических трудов в науке о канализации электрической энергии. По серьезности трактовки и ширине охвата материала книга Lavalley может смело сравниться с ними, в некоторых случаях превосходя их большей доступностью изложения.

Главный интерес книги представляет для проектирующих инженеров, хотя в конце ее помещено немало ценных сведений и по вопросам постройки воздушных линий.

Проф. В. Хацинский

Нормы по испытанию синхронных машин „AIEE“ January, 1933

Нормы по испытанию синхронных машин, разработанные под руководством Комитета электромашиностроения института американских инженеров-электриков (AIEE), являются дальнейшим развитием норм по испытанию основных типов электрических машин и аппаратов.

Эти нормы содержат указания относительно проведения большинства обычно применяемых испытаний для определения характеристик синхронных машин; при этом они касаются только тех методов, которыми обычно пользуются при проведении промышленных и приемочных испытаний. Нормы охватывают испытания синхронных генераторов, синхронных моторов, синхронных конденсаторов.

Отличительной чертой рассматриваемых норм является полнота изложения применяемых при испытании методов с достаточно подробным изложением выбора методов в зависимости от местных условий и тех предосторожностей, которые должны быть соблюдены при пользовании тем или иным методом для получения надежных результатов.

Нормы включают методику проведения следующих испытаний, применяемых к указанным выше машинам: измерение сопротивления изоляции; измерение омического сопротивления обмоток; токи подшипников; определение отдельных потерь следующими четырьмя методами: а) отдельный мотор, приводящий испытываемую машину во вращение, и соединенный с последней или непосредственно или с помощью ременной передачи, б) испытываемая машина вращается вхолостую в качестве синхронного мотора при $\cos \varphi = 1$, в) метод выбега, г) метод

калориметра; форма кривой напряжения; установление зависимости скорости от крутящего момента: а) методом загрузки на генератор постоянного тока, б) методом ускорения моменты выпадения в синхронизм и выпадения из синхронизма; снятие U-образных кривых; определение добавочных потерь методом выбега; испытание на повышенное число оборотов; регулирование напряжения; определение реактанцев и постоянных времени; тепловые испытания; диэлектрические испытания; определение к. п. д.

Не имея возможности описания методов, предусматриваемых указанными нормами хотя бы в сжатой форме, необходимо все же остановиться в кратких чертах на вопросах определения потерь машины методом калориметра и определения реактанцев рассеяния.

Метод калориметра особенно применим к большим высокоскоростным машинам, для которых применение более точных методов в силу целого ряда причин является трудно осуществимым.

В основном этот метод сводится к определению количества охлаждающего воздуха, проходящего через машину. При этом используется труба, служащая для отвода воздуха из машины. Труба выполняется из какого-либо металла или дерева и может иметь круглое или прямоугольное сечение.

Поперечное сечение трубы должно быть таково, чтобы средняя скорость потока воздуха достигала порядка 4000 фут/мин. Для того чтобы удовлетворить этим условиям, необходимо приблизительно оценить предполагаемый расход воздуха, подлежащий измерению, на основании потерь, которые обычно приблизительно известны из расчета, и принимая при этом разницу между температурами выходящего и входящего воздуха равной 25° С.

Скорости воздуха на выходе из трубы измеряются посредством трубки Пито, дающей непосредственно в соединении с манометром показание скоростного напора в месте замера. Трубка Пито устанавливается своим носиком навстречу и строго параллельно потоку. При этом лучше употреблять трубку Пито, имеющую полусферическую головку, благодаря чему эта трубка не так чувствительна к направлению потока воздуха, и следовательно, при этом можно ожидать более точных результатов измерений.

Определив затем среднюю скорость потока воздуха и зная сечение трубы в месте замера, находят таким образом количество воздуха (расход), проходящего через машину.

Полные потери машины в киловаттах подсчитываются, пользуясь следующим соотношением: $kW = \frac{Q\theta}{1765}$, где Q — расход

воздуха в фут³/мин при стандартных условиях, т. е. при температуре 25° С и давлении 29,9" Hg, θ — превышение температуры воздуха за счет поглощения потерь машин в градусах Цельсия.

Реактанцы рассеяния определяются следующим образом: синхронный реактанц по продольной оси x_d равен отношению тока возбуждения в условиях установившегося симметричного короткого замыкания при нормальном токе якоря к току возбуждения, соответствующего нормальному напряжению холостого хода.

Переходный реактанц по продольной оси x'_d определяется из условий внезапного симметричного короткого замыкания машины, работающей вхолостую при нормальной скорости, и равняется отношению напряжения при холостом ходе к соответствующей величине тока якоря, получаемого экстраполированием кривой тока на момент внезапного короткого замыкания, пренебрегая при этом быстро спадающей компонентой в кривой тока в течение первых нескольких периодов.

Подпереходной реактанц по продольной оси x''_d определяется из тех же условий, что и переходной реактанц x'_d не пренебрегая при этом быстро спадающей компонентой в кривой тока в течение первых нескольких периодов.

Реактанц нулевой последовательности x_0 определяется из следующих условий: ротор неподвижен, обмотка возбуждения короткозамкнута, три фазы соединены последовательно. x_0 равняется одной трети приложенного напряжения, деленного на соответствующий линейный ток.

Реактанц отрицательной последовательности x_2 определяется из условий однофазного короткого замыкания машины, работающей при нормальной скорости. Импеданс отрицательной последовательности равняется отношению напряжения к току, деленному на $\sqrt{3}$. Чтобы приблизиться к условиям насыщения, это испытание проводится при токе, увеличенном в $\sqrt{3}$. Однако при этом испытании ротор необходимо предохранить от сильного перегрева, и в случае турбогенераторов испытание необходимо проводить при низких значениях токов.

В заключение нужно пожелать, чтобы перевод этих норм был издан отдельной брошюрой, и таким образом, эти нормы стали бы достоянием широкого круга электротехников.

Инж. Н. П. Савин

Электроматериалы

R. ZIEGENBERG, ЭЛЕМЕНТ С ЕДКИМ НАТРОМ, „ETZ“ № 6, 1933, стр. 131.

Элемент с раствором едкого натра в качестве электролита и с воздушной деполяризацией, изобретенный французским электротехником Fègu, в последнее время выпускается в заводском масштабе фирмой Carbone. Разработанный этой фирмой тип элемента имеет цилиндрический сосуд из щелочестойкого стекла высотой 300 мм и диаметром 175 мм. Анодом служит специальный весьма пористый уголь, катодом — цинк. Напряжение на зажимах элемента в зависимости от тока нагрузки дается в следующей таблице:

Нагрузка А	Напряжение V
0,2	1,28
0,5	1,20
1,0	1,15
2,0	1,05
3,0	1,02

Емкость элемента 500 Ah, это значение относится к емкости по цинку и электролиту, так как одного и того же угольного анода хватает на 5 зарядок, т. е. на 2500 Ah.

Стоимость энергии, получаемой от элемента, около 1,2 марки за 1 Wh.

Таким образом мы имеем дело с дешевым переносным источником электрической энергии для установки малой мощности.

В настоящее время разрабатываются типы элементов на 100, 300 и 100 Ah.

Инж. Б. М. Тареев

E. ALBERS SCHÖNBERG UND C. SCHUSTERIUS. Пробой керамических материалов при высоких температурах „Elektrowärme“, июль 1933 г.

В статье излагаются результаты обширного исследования, проведенного фирмой Steatit-Magnesia совместно с Институтом исследований в области силикатной техники (Берлин). Цель работы — исследование изоляционных материалов, работающих при высоком нагреве в электрических печах, нагревательных приборах и т. п. В статье приведено много графиков и числового материала. Меньший интерес представляет описание методики измерений.

Пробой керамических материалов при температурах порядка 500–900° представляет собой типичный тепловой пробой. Во всех случаях пробойное напряжение сильно уменьшается при возрастании температуры.

Главное внимание уделено выяснению влияния химического состава массы и режима обжига на электрические свойства получающихся материалов. Исследовались используемые для электрических нагревательных приборов материалы (стеатит, силпа, фреквентит и т. п.), а также и специальные составы.

Большое влияние на пробойное напряжение оказывает содержание щелочей или щелочных земель. Например, были изготовлены фарфоры следующего состава (табл. 1).

Пробойное напряжение (в киловольтах на 1,5 мм) для этих образцов дано на рис. 1 в функции температуры. Как видно, увеличение содержания щелочи снижает диэлектрическую прочность, так как приводит к образованию стекловидного сплава, обладающего низкими диэлектрическими качествами. Отметим, что аналогичное явление было известно уже ранее для стекла 1).

Были изготовлены также фарфоры, в композиции которых калийный полевой шпат заменился натриевым. Выяснилось, что при прочих равных условиях фарфор, в составе которого щелочью является K₂O, дает диэлектрическую прочность, примерно на 50% выше, чем фарфор, содержащий Na₂O.

1) Моона. Norcross, „JAIEE“, № 125, 1930.

KV/1,5 mm

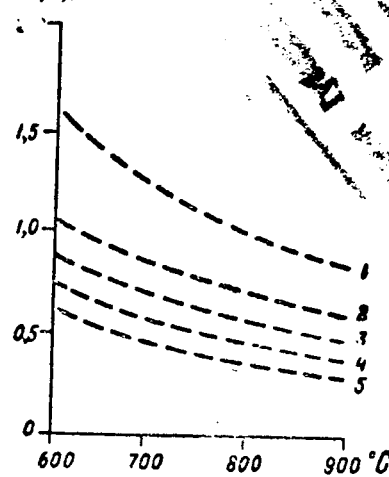


Рис. 1. Пробойное напряжение для образцов в функции от температуры

KV/1,5 mm

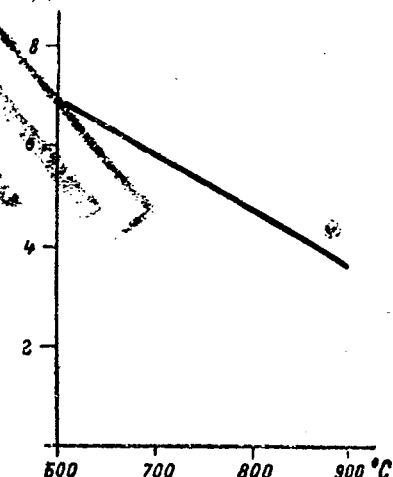


Рис. 2. Кривая для состава из 85% жиролика и 15% каолина

Таблица 1

	1	2	3	4	5
Норвежский калийный полевой шпат, %	5	15,8	21,6	32	38,1
Каолин, %	60	52,6	49,0	50	54,6
Песок, %	35	31,6	29,4	18	7,3

При малом содержании полевого шпата (например 5%) диэлектрическая прочность фарфора при высоких температурах может быть повышена добавкой жиролика (стеатита 9–10%).

Массы с содержанием CaO показывают хорошие данные.

Для фарфоров измерялось также объемное удельное сопротивление ρ в функции температуры. Эти измерения сами по себе не дали ничего нового. Авторы выводят формулу для связи пробойного напряжения E с объемным сопротивлением ρ фарфоров при различных температурах:

$$\frac{E}{\sqrt{\rho}} = \text{const.}$$

Стеатитовые материалы дают весьма хорошие значения пробойной крепости. Так, для состава из 85% жиролика и 15% каолина получается кривая рис. 2.

Сведения эти относятся к материалам с плотным черепком. Режим обжига, создающий пористость, естественно, понижает пробойную крепость. Так, для одной из масс при 600° С получены следующие данные:

При объеме пор в процентах	0,5	7	16	20
Пробойное напряжение kV на 1,5 мм	1730	1640	1490	1320

Инж. Б. М. Тареев

Весь графический материал к настоящему номеру выполнен коллективом графиков графического бюро Энергоиздати в подарок XVII съезду ВКП(б).

ОНТИ — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технический редактор Г. Г. Андреев

РЕДКОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аватков, проф. В. И. Войц, инж. В. Н. Главанов, инж. М. Н. Грановская, инж. Я. А. Климовичкий, акад. Г. М. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. Н. А. Сазонов, проф. М. А. Шателен, проф. Я. Н. Шпальрейн.
ОТВ. РЕДАКТОР: инж. Н. А. Сазонов

Сдано в набор 21/XI 1933 г. Подписано к печати 28/XII 1933 г. Бумага 62x94. Печатных листов 7, печатных знаков в листе 78 800