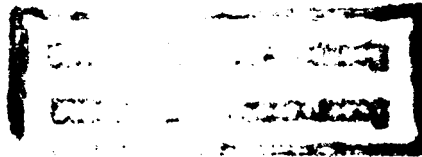


1934

„Коммунизм — есть советская власть
и плюс электрификация всей страны“
ЛЕНИН

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



№ 5

М А Р Т



МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

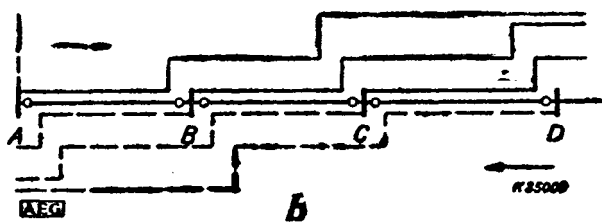
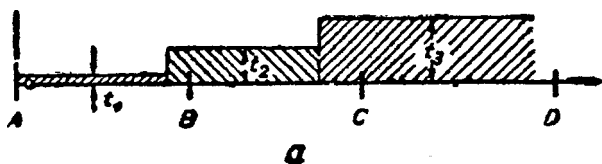
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

AEG

Быстро-действующая дистанционная защита сетей



a = принципиальная ступенчатая характеристика одного комплекта

b = характеристики для трех участков сети

Полная селективность

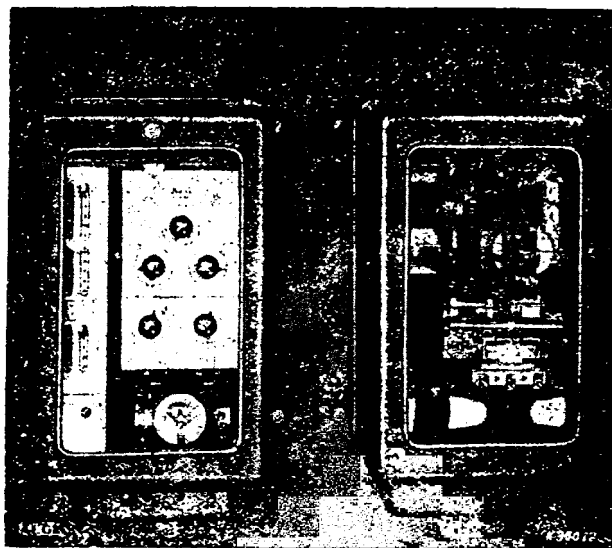
Ступенчатая характеристика

Время выключения в первой зоне — $t_1 = 0,2$ сек.

Свобода в установке времени каждого комплекта

Независимость от сопротивления дуги, поэтому применение при любом напряжении

Для сетей с компенсацией тока заземления



Комплект для одного трехфазного фидера

Для сетей с наглухо или через сопротивление заземленной нейтралью

Требуйте новый печатный материал

Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft

Abt. Rußland / Berlin NW 40

8664

При всех запросах к иностранным фирмам о приеме каталога, образцов и презентаций просим обращаться на № нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.



500 шурупов и гаек

Вы можете ввинтить и завернуть в один час при помощи

ЗАВИНЧИВАЮЩЕГО ПРИБОРА БОША

Возможность приключения к любой осветительной сети, легкое управление, поражающая производительность мотора, равно и незначительная стоимость характеризуют дальнейшие преимущества этого прибора, необходимого для современного экономного массового производства.

Электро-инструментами Боша Вы работаете дешевле и лучше чем до сих пор. Требуйте поэтому высылку нашего проспекта А 640 о программе электро-инструментов Боша, как то: электрических шлифовалок, приборов для ввинчивания, гравировки, полировки, притирки клапанов, ручных мотор и ножниц.

Генеральное представительство для Германии

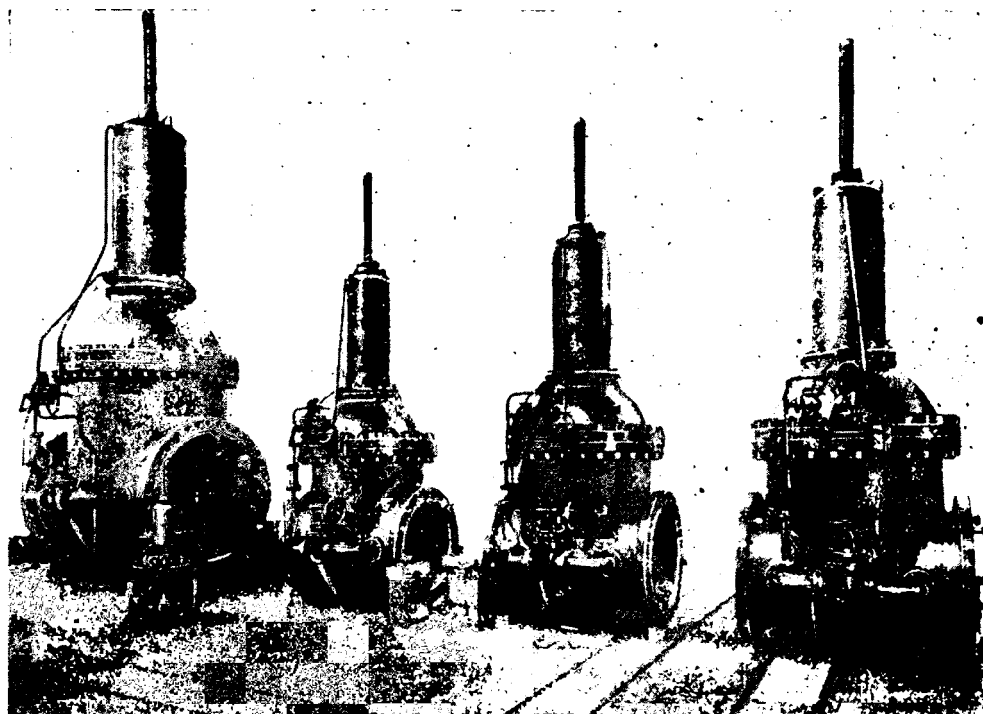
HANN & KOLB, STUTTGART
(ГЕРМАНИЯ)

Заводы Национальн. Общества Савильяно Главное отделение г. ТУРИН, Пр. Мортара 4

ВЕНТИЛИ

с обслуживающими их механизмами для напорного трубопровода
ГИЗЕЛЬДОНА
(С. С. С. Р.)

Диам. 1500 мм
Вес 20000 кг.
Высота вентиля
7,70 мм



6699

При всех запросах к иностранным фирмам о приеме каталога, образцов и проспектов просим сослаться на № нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

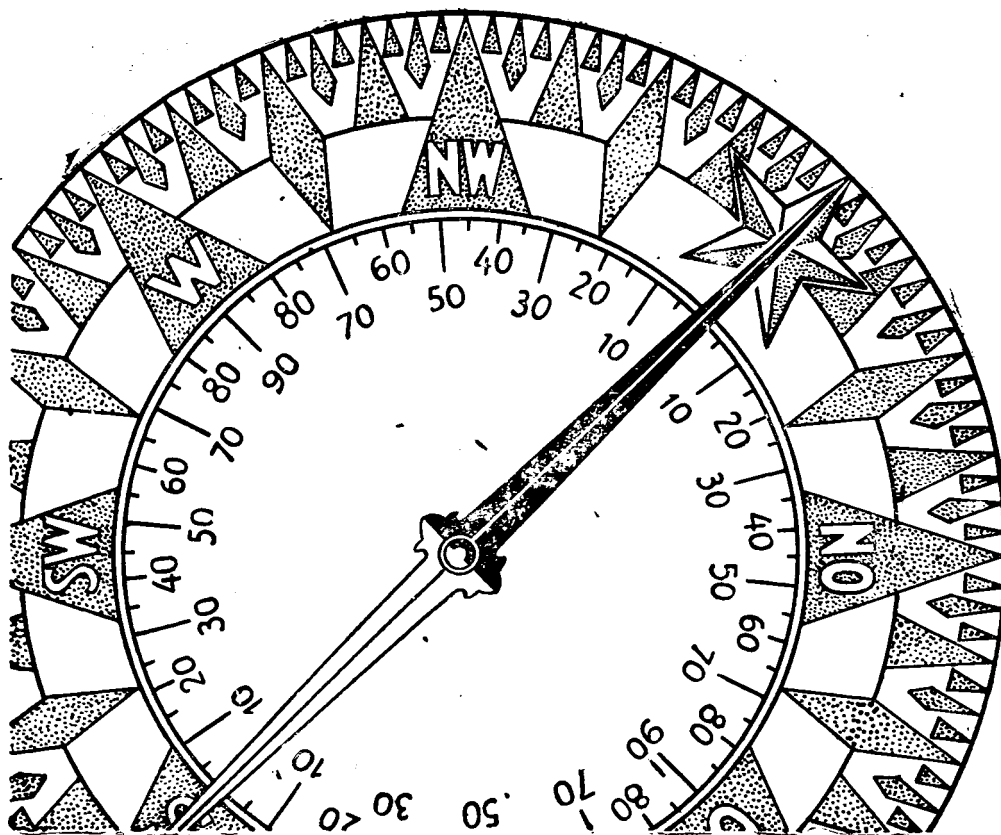
МАГНИТНАЯ СТАЛЬ „САНДВИК“

в разнообразнейших легированиях для постоянных магнитов в зажигательных приборах, телефонных аппаратах, электрических измерительных инструментах и т. д. — отличаются весьма хорошими магнитными свойствами и большой способностью закаливаться.

ЭЛЕКТРО- МАГНИТНОЕ ЖЕЛЕЗО „САНДВИК“

является весьма чистым, изготовленным на древесном угле железом с малым содержанием углерода, и отличается высокой магнитной проницаемостью (пермеабильностью) и незначительной задерживающей силой (коэрцитивной силой).

Запросы просим специфицировать возможно точнее с ясным указанием назначения этой стали; только в таком случае нам возможно предложить самое подходящее качество.



SANDVIKENS JERNVERKS AKTIEBOLAG
SANDVIKEN (ШВЕЦИЯ)

6696

При всех запросах к иностранным фирмам о получении каталога, образцов и протектов просим обращаться на № нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

5

1 9 3 4
М А Р Т

Орган ГЛАВЭНЕРГОПРОМА и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института Академии наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета рабочей, научной и инженерно-технической общественности (ВЭК-РНИТО)

Адрес редакции: Москва, Неглинный пр., 6/2. Тел. 65-84

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
13 РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИН-ТОВ И ЛАБОРАТОРИЙ		ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА	
Инж. А. И. МОСКВИТИН—Электромеханический или соленоидный молоток?	3	Инж. Н. М. КОВАЛЕВ—Электрические вспомогательные судовые механизмы и системы токораспределения на судах	28
Инж. М. С. СОСНОВСКАЯ—Явления в щеточном контакте	8	ЗА ПОВЫШЕНИЕ COS φ	
Инж. Е. Г. КОМАР—Обмотки электрических машин с большим укорочением шага	14	Инж. С. К. БАЖАНОВ—Фазокомпенсация асинхронных двигателей при помощи машин постоянного тока	33
Инж. Н. П. САВИН—К вопросу внутренней вентиляции роторов турбогенераторов	15	ХРОНИКА	36
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ		БИБЛИОГРАФИЯ	39
Инж. С. И. ТЕТЕЛЬБАУМ—Параметрическое возбуждение в электротехнике	21	ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ	40
Проф. А. П. ЧЕРЕВКОВ—Динамическая характеристика дуги	26		

ИЗ РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ И ЛАБОРАТОРИЙ

Электромеханический или соленоидный молоток?

Инж. А. И. Москвитин
Москва, ВЭИ

Разработка типа электрического молотка представляет весьма актуальную проблему для многих отраслей тяжелой и легкой промышленности. В особенности большое значение эта тема имеет для угольной промышленности (отбойный молоток), для монтажно-строительного дела (работы по камню), в кузнечно-слесарном деле, в железнодорожном строительстве и т. п.

При разработке этой проблемы необходимо прежде всего сделать выбор между двумя основными, принципиально различными решениями задачи: между молотком электромеханическим и молотком соленоидным. В молотках первого типа используется обычный электродвигатель, вращательное движение которого при помощи той или иной механической передачи производит удары на рабочем инструменте. В молотках второго типа—соленоидных—весьма наглядно проявляется основная тенденция современного электромашиностроения—сращивание машины-двигателя с машиной-орудием. Здесь нет никакой механической передачи; возвратно-поступательное движение ударного звена (бойка) производится непосредственно за счет тех электромагнитных усилий, которые в нормальном двигателе производят вращательное движение.

Как то, так и другое решение имеет свои достоинства и недостатки, почему они до сих пор и конкурируют на равных основаниях.

Основными преимуществами электромеханических молотков обычно считаются: высокие к п. д. и $\cos \varphi$ двигателя. Недостатки этого типа: сложность, большое число деталей, дороговизна, большой вес.

Основное преимущество соленоидных молотков заключается в отсутствии какой бы то ни было механической передачи. Только одна движущаяся часть—таков девиз молотка соленоидного типа

Отсюда следует: простота, малое число деталей, дешевизна, малый мертвый вес. Недостатком этого типа обычно считаются относительно низкие рабочие характеристики соленоидов как электродвигателей: низкий к. п. д. и $\cos \varphi$. Кроме того, очень много неприятностей в старых молотках такого типа причиняли переключатели или специальные преобразователи, требовавшиеся для этих молотков.

Настоящая работа, произведенная в ВЭИ, имела целью произвести сравнительное испытание наиболее совершенных молотков по одному—из типа электромеханических и из типа соленоидных, чтобы на основе этого исследования получить указания при разработке типа советского электрического молотка¹⁾. В качестве таких образцов были испытаны электромеханический молоток фирмы „Сименс-Шуккерт и соленоидный молоток компании „Синтрон“. Испытание имело целью, главным образом, определить следующие данные: 1) к. п. д. на рабочем инструменте („на пике“), т. е. отношение механической мощности молотка на рабочем инструменте к мощности, подведенной к молотку; 2) живую силу удара; 3) $\cos \varphi$ молотка; 4) нагрев. Кроме того, по молотку „Синтрон“ было проведено несколько опытов, имеющих целью выяснить теорию работы этого молотка и возможности к повышению мощности вообще соленоидных молотков и повышению их рабочих характеристик.

Вследствие того, что подобные испытания в мировой литературе описаны весьма мало, а в СССР производятся впервые, методика большей части опытов разработана нами, а существующая методика исследована критически.

¹⁾ В постановке экспе. именов участвовали научные сотрудники ВЭИ—т. Булгаков, Иваненко и Корякин.

А. Испытание электрического отбойного молотка фирмы Сименс-Шуккерт

Из всех электрических отбойных молотков моторного типа, предложенных до настоящего времени для электрификации горной промышленности, молоток Сименса Е-900 считается одним из наиболее совершенных благодаря высокому к. п. д. его мотора и совершенству шиферштейновского принципа преобразования вращательного движения в резонансные колебания ударного инструмента, положенного в основу механизма этого молотка.

1. Принцип действия конструкции молотка

Молоток Сименса принадлежит к типу моторных или электромеханических, т. е. в нем возвратно-поступательное движение ударного инструмента получается за счет вращательного движения мо-

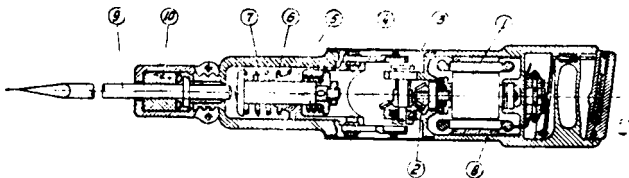


Рис. 1. Разрез молотка Сименса типа Е-900

тора при помощи механической передачи. В основу механической передачи положен шиферштейновский принцип преобразования вращательного движения в резонансные колебания.

Мотор (рис. 1) (асинхронный, короткозамкнутый, трехфазный 2 800 об/мин, 0,35 kW) через понижающую зубчатую передачу (2:1), приводит во вращение вал кривошипного механизма 3. Салазки 5 этого механизма скреплены при помощи пружин с ударным инструментом-бойком 7. Особенность шиферштейновского принципа состоит в том, что пружины настроены в резонанс с колебаниями бойка, благодаря чему уменьшается отдача на вал кривошипа, увеличивается амплитуда колебаний бойка и увеличивается к. п. д. передачи.

Все части молотка заключены в кожух, который в основном изготовлен из легкого металла, что дало возможность значительно облегчить конструкцию. Та часть кожуха, в которой заключены салазки, изготовлена из стали. Общий вес молотка с пикой и кабелем—20,5 kg, вес молотка без кабеля 15,6 kg, вес молотка без пик и без кабеля 14,37 kg.

II. Рабочие характеристики мотора

Рабочие характеристики мотора были определены по круговой диаграмме (рис. 2). Как видно из этих характеристик, мотор, примененный для молотка, обладает довольно хорошими рабочими свойствами: максимальный к. п. д. составляет 0,775 при мощности 350 W, т. е. несколько выше норм. Довольно высок также и $\cos \varphi$ (0,88). Такие относительно высокие показатели объясняются быстроходностью мотора и применением шарикоподшипников.

III Нагрев молотка

Нагрев определялся при различных условиях работы (длительная, повторно-кратковременная), а также при различных нагрузках. Результаты опытов приведены на прилагаемых кривых рис. 4 по 6, показывающих нагрев различных частей молотка в зависимости от времени. Нагрев определялся при помощи термометра, и для проверки снимались кривые охлаждения наружных частей при помощи термометров и термопар. В некоторых опытах в качестве контрольного метода кривые охлаждения обмотки определялись методом сопротивления (эти кривые служили также для определения постоянной времени охлаждения). Всего было произведено три опыта нагрева.

В первом и втором опытах нагрузка мотора осуществлялась при помощи специальной установки, изображенной на рис. 3. Как видно из этого рисунка, к концу зубка вместо обычного наконеч-

ника (копья) был приделан диск П. Силой ударов молотка этот диск—поршень—прогонялся сквозь песок в ящике. Изменяя диаметр диска, можно было изменять степень нагрузки, и ток молотка. В зависимости от сорта песка и его количества можно было получить различную скорость проходки и, таким образом, изменять режим работы от повторно-кратковременной до длительной нагрузки.

Таким образом описанная установка позволяла осуществлять режим работы молотка, весьма близкий к действительности.

Третий опыт был произведен при холостом ходе молотка. Кривые, полученные при первом опыте (рис. 4), показывают нагрев различных частей молотка при длительной номинальной нагрузке (2,5 А) в зависимости от времени. Схема расположения термопар указана на рис. 3. Для практики наибольший интерес представляют нагрев корпуса и нагрев меди мотора. Как видно из кривых, корпус молотка (кривые 5 и 6 рис. 4) уже после 25 мин. непрерывной работы перегрелся на $52,5^\circ$ выше окружающей температуры (нагрева 74°), т. е. до такой температуры, что его стало невозможно держать руками. Нагрев меди статора также весьма высок (сверхтемпература 67°). Таким образом этот опыт показывает, что молоток по нашим техническим условиям непригоден для длительной работы.

Кривые, полученные при втором опыте (рис. 5), показывают нагрев различных частей молотка при повторно-кратковременной нагрузке с $\epsilon = 69\%$ и при номинальном токе 2,5 А, т. е. при условиях, весьма близких к действительному режиму. В этом случае нагрев молотка был значительно ниже, однако все же превышал нормы, допускаемые нашими техническими условиями. Нагрев корпуса составлял в этом случае $57,8^\circ$ через 30 мин., т. е. практически даже и при этом режиме работы корпус молотка через 30 мин. нельзя было держать в руках. Таким образом этот опыт показывает, что по нагреву молоток непригоден по нашим техническим условиям также и для работы при повторно-кратковременном режиме с $\epsilon = 69\%$.

Третий опыт (нагрев при холостом ходе молотка) был произведен при вставленной пике, но при отсутствии нагрузки на пикку. При этом работа молотка шла, главным образом, на трение в механической передаче (шестерни, кривошип, салазки) и на удар о буфер молотка. Как оказалось, при этом холостом ходе потребляемый ток, и потребляемая мощность молотка были лишь немного ниже

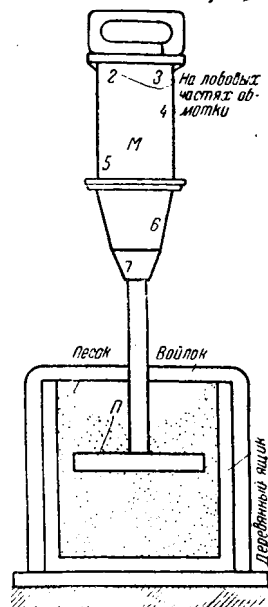


Рис. 3. Калориметрическое определение к. п. д.

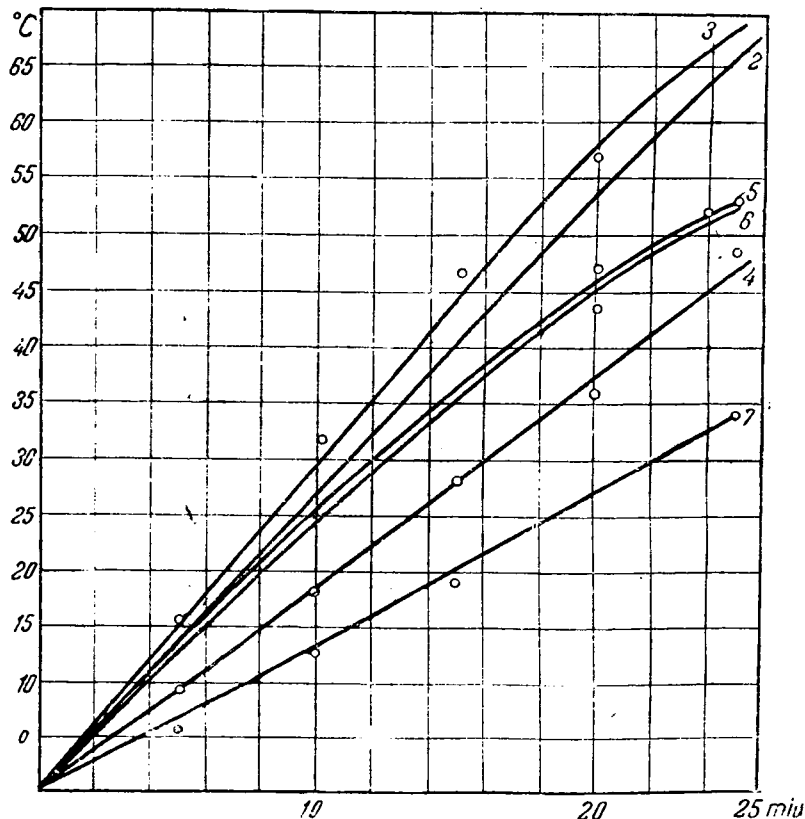


Рис. 4. Превышение температур молотка Сименса при опыте длительной нагрузки

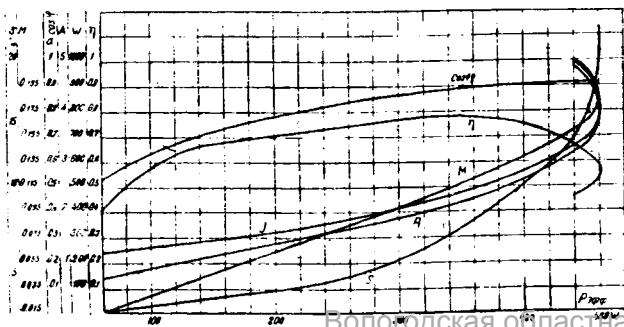


Рис. 5. Рабочие кривые мотора молотка Сименса

чем при полной нагрузке (ток 2,05, А вместо 2,5 А и мощность 360 W вместо 480 W). Таким образом работа молотка при отсутствии нагрузки на пику может быть названа режимом холостого хода молотка только лишь условно. Нагрев различных частей молотка при этом опыте представлен кривыми рис. 6. Как видно, и при холостом ходе корпус молотка перегревается выше норм, поставленных нашими техническими условиями (77° через 50 мин.).

Характерно, что при этом опыте корпус молотка нагрелся выше, чем мотор, отсюда видно, насколько велики при этом были механические потери в передаче.

IV. Определение живой силы удара и к. п. д.

Живая сила удара и к. п. д. являются одним из наиболее важных характеристик молотков, обуславливающими их производительность. Поэтому определение этих величин было произведено несколькими методами, чтобы избежать возможных ошибок. Следует отметить, что в литературе имеются лишь весьма скудные указания на методику определения живой силы удара. Поэтому большая часть методов разработана нами, а методы, описанные в литературе, были нами исследованы критически.

1. Определение живой силы удара и к. п. д. калориметрическим методом. Этот метод аналогичен известному методу определения механического эквивалента теплоты. Расположение опыта показано на рис. 3. Как видно из этого рисунка, сущность метода состояла в том, что молоток *M* силой своих ударов прогонял поршень *П* сквозь песок, находящийся в ящике. Песок в данном случае играл роль жидкости с весьма большим коэффициентом внутреннего трения; таким образом работа удара молотка шла на преодоление трения частиц песка и превращалась в теплоту (за исключением небольшой части на размол песка). Ящик со всех сторон был хорошо изолирован в тепловом и механическом отношении и поэтому вся выделяющаяся теплота шла на нагрев песка. Зная теплоемкость песка, ящика, поршня, их веса и температуры до и после опыта, можно было по механическому эквиваленту теплоты подсчитать отданную молотком работу.

Деля эту работу на общее время работы молотка, можно было подсчитать мощность на рабочем инструменте (отдаваемую мощность молотка), а деля эту мощность молотка на число ударов в секунду, можно было определить живую силу удара. Разделив отданную молотком работу на работу, полученную им из сети, можно было определить к. п. д.

Ввиду того что поршень периодически, примерно через 1½ мин., проходил до дна ящика, приходилось на короткое время выключать молоток и поднимать его снова вверх. Таким образом режим работы при опыте был повторно-кратковременный, т. е. соответствовал действительным условиям работы молотка. Отсчет времени работы молотка производился по секундомеру и по записи регистрирующего амперметра (с большой скоростью ленты). Отсчет потребляемой мощности производился при помощи прецизионных приборов включенных по схеме Арона, с учетом собственного потребления приборов. Работа молотка происходила при номинальном напряжении у клемм 125 V, которое все время поддерживалось постоянным, при помощи потенциал-регулятора. Результаты опыта приведены на табл. 1. Контрольные опыты, повторенные несколько раз, дали примерно те же результаты.

Как видно из табл. 1, живая сила удара получилась равной 0,576 kgtm, а к. п. д.—27,5%. Такой результат опыта, в особенности поразительно низкий к. п. д. на рабочем инструменте, идет вразрез с общераспространенным мнением, что моторные молотки имеют высокий к. п. д. Следует, впрочем, отметить, что по большей части фирмы не дают величины к. п. д. и живой силы удара. Во всех каталогах ставится только потребляемая мощность молотков. Поэтому убеждение о высоком к. п. д. моторных молотков основывается, повидимому, только на том, что моторы, применяемые для этих молотков, имеют высокий к. п. д., а к. п. д. механической передачи, повидимому, неизвестен.

Таблица 1

Определение к. п. д. калориметрическим способом

Напряжение $U = 125$ V
 Ток $I = 2,47$ A
 Общая продолжительность опыта (за вычетом пауз) $T = 671$ sec.
 Работа, подведенная к молотку из сети за все время опыта $A_1 = 322\ 370$ Wsec

Повышение температуры частей, поглощавших энергию ударов за все время опыта:

песок $\Delta t_1 = 8,4^\circ$
 железный поршень и стержень $\Delta t_2 = 4,4^\circ$
 деревянный ящик $\Delta t_3 = 5,2^\circ$

Веса этих частей:

песок $G_1 = 7,02$ kg
 железный поршень и стержень $G_2 = 2,61$ " "
 деревянный ящик $G_3 = 2,54$ " "

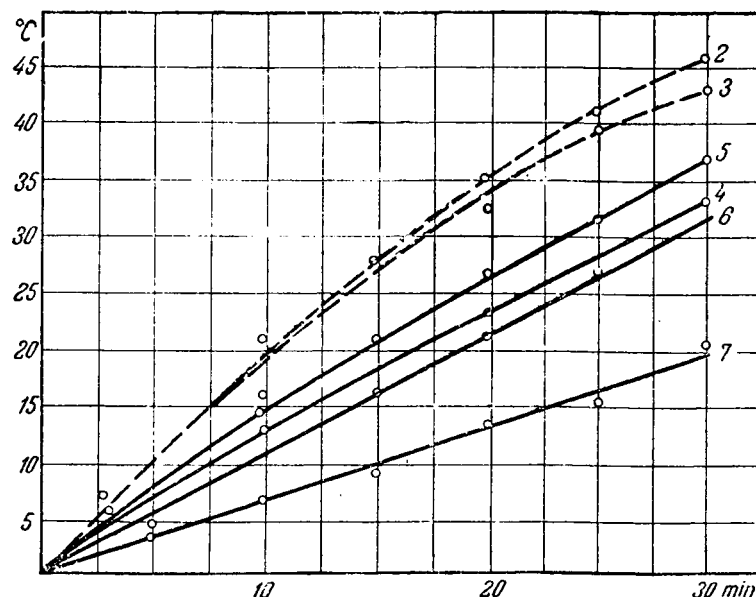


Рис. 5. Превышение температур молотка Сименса при опыте повторно-кратковременной нагрузки. Окружающая температура 20,8° C ток 2,5 А

Теплоемкости:

песка $C_1 = 0,191$ cal / kg 1° C
 железа $C_2 = 0,115$ " "
 дерева $C_3 = 0,65$ " "

Энергия, отданная молотком за все время опыта:

песку $\Delta t_1 \cdot G_1 \cdot C_1 = 8,4 \cdot 7,02 \cdot 0,191 = 11,26$ cal
 железу $\Delta t_2 \cdot G_2 \cdot C_2 = 4,4 \cdot 2,61 \cdot 0,115 = 1,32$ cal
 деревянному ящику . $\Delta t_3 \cdot G_3 \cdot C_3 = 5,2 \cdot 2,54 \cdot 0,65 = 8,58$

Сумарная энергия A_2 21,16 cal = 88 620 Wsec

Коэффициент полезного действия молотка $\eta = \frac{A_2}{A_1} = \frac{88\ 620}{322\ 370} = 0,275$

Мощность, поглощаемая молотком (средняя) $P_1 = 482$ W

Мощность на рабочем инструменте $P_2 = 482 \cdot 0,275 = 132$ W

Число ударов в секунду $n = 23,4$

Живая сила удара

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{P_2}{n} = \frac{132}{23,4} = 5,65 \text{ Wsec} = 0,576 \text{ kgtm.}$$

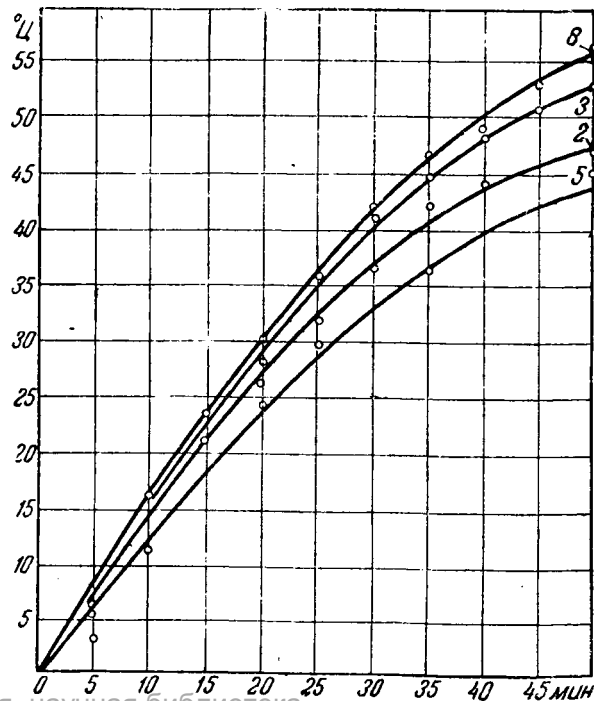


Рис. 6. Превышение температур молотка Сименса при холостом ходе. Окружающая температура 20° ток 2,05 А

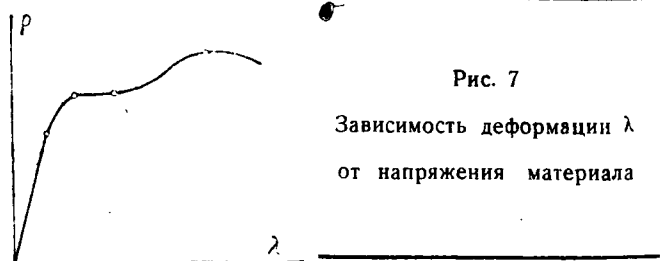


Рис. 7

Зависимость деформации λ от напряжения материала

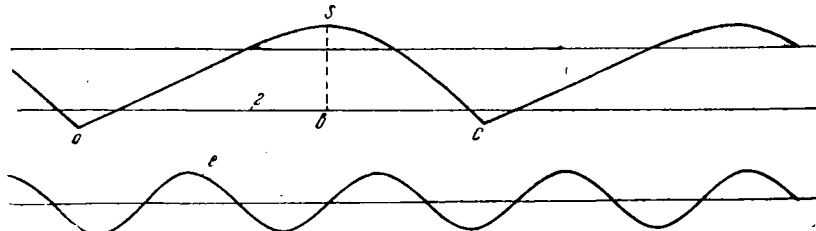


Рис. 9. Осциллограмма движения бойка в молотке Сименса: s —пути бойка; 1 и 2 —масштаб пути; e —масштаб времени (синусоида 50 Hz)

2. Калориметрическое определение потерь. В виде проверки результатов первого опыта было произведено калориметрическое определение потерь молотка. Сущность этого метода состояла в том, что молоток закутывали со всех сторон войлоком и таким образом изолировали в тепловом отношении, а затем нагружали его работой на песок по предыдущему опыту. Все потери шли при этом на нагрев молотка. Зная веса, материал и нагрев отдельных частей молотка, можно было определить энергию потерь и, таким образом, получить критерий в отношении первого опыта.

Если обозначить мощность потерь через P_3 , подводимую мощность молотка P_1 , то к. п. д. определится из соотношения

$$\eta = \frac{P_1 - P_3}{P_1}$$

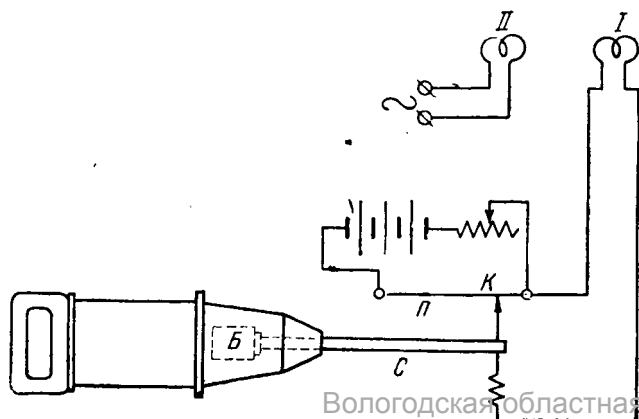
Ввиду того что веса некоторых частей молотка (например, вес меди мотора) можно было определить только расчетным путем с некоторым приближением, этот метод, конечно, не может претендовать на абсолютную точность, но все же дает некоторый материал для проверки первого опыта. Ошибки при этом опыте возможны, главным образом, в сторону преуменьшения потерь, т. е. преувеличения к. п. д. за счет части энергии потерь, рассеявшейся из-за несовершенства тепловой изоляции молотка.

Перед опытом все части молотка, а также смазочное масло были тщательно взвешены. Нагрев внутренних частей определялся при помощи термомпар, приложенных к лобовым частям обмотки моторчика и к железу, и наружных термомпар, установленных в различных частях кожуха (см. рис. 3). Результаты опыта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Калориметрическое определение потерь

Название частей молотка	Вес G kg	Удельные теплоемкости C $\frac{\text{cal}}{\text{kg} \cdot 1^\circ \text{C}}$	Повышение температуры за время опыта Δt $^\circ \text{C}$	Энергия потерь $G \cdot C \cdot \Delta t$ cal
Медь мотора . . .	1,8	0,094	43	7,3
Железо мотора . .	3,7	0,115	43	18,3
Части ударного механизма	2,33	0,115	36	9,65
Смазка	0,8	0,5	36	14,4
Железо кожуха . .	3,54	0,115	30	12,2
Алюминиевый колпак	0,72	0,21	22	3,33
Алюминиевый кожух	2,62	0,21	38	20,1
	15,41			85,28



Общая энергия потерь $A_3 = 85,28 \cdot 4188 = 358000$ Wsec
Общая энергия, подводенная к молотку из сети за время опыта $A_1 = 501900$ Wsec
Потери в процентах от подводенной энергии

$$\frac{A_3}{A_1} = \frac{358000}{501900} \cdot 100 = 71,2\%$$

Кoeffициент полезного действия $\eta = 100 - 71,2 = 28,8\%$.

Полученная величина к. п. д. довольно близко совпадает с результатами предыдущего опыта.

3. Определение живой силы удара методом деформации. В литературе имеются указания, что некоторые лаборатории определяют живую силу удара по деформации (обсадке) цилиндров из мягкой стали определенных размеров. Этот способ представляется наиболее простым и быстрым, хотя уже с первого взгляда видно, что такой режим работы для отбойного молотка не совсем соответствует действительности (так как отбойный молоток работает по более податливому неупругому грунту).

Нами были поставлены опыты по исследованию этого метода, причем в основном было решено вести опыт следующим порядком, вырезать из одинакового материала (красной меди) два цилиндрика; диаметром 20 мм и высотой 40 мм. Один из цилиндров обсаживать некоторое время на наковальне испытуемым молотком Сименса с торца. Измерить время работы молотка и потребляемую мощность. Измерить обсадку (укорочение) цилиндрика за время опыта. Затем произвести обсадку другого цилиндрика на наковальне ручным молотком, падающим в специальной установке с определенной высоты. Зная вес ручного („градуировочного“) молотка, высоту его подъема и число ударов, можно определить работу, потребную для того, чтобы произвести ту же обсадку, что и молотком Сименса. Зная работу и время, затраченное на обсадку молотком Сименса, можно определить мощность, отдаваемую им при опыте, живую силу удара и к. п. д. Опыты дали довольно неожиданные результаты.

Сначала (опыт 3) в качестве материала для цилиндров была взята красная прутковая (твердотянутая) медь. Однако даже несколько минут работы молотка Сименса не показали никакой усадки. Тогда оба цилиндрика были отожжены, после чего был произведен опыт четвертый.

Цилиндрик № 1 имел размеры до опыта длина 40 мм и диаметр 20 мм; после обсадки его молотком Сименса в течение 60 сек. он уменьшился по длине до 37,8 мм, при этом диаметр увеличился до 20,8 мм. Цилиндрик № 2 до обсадки имел размеры; длина 40,2 мм, диаметр 20 мм. После обсадки его ручным молотком (после 30 ударов) длина уменьшилась до 37 мм, диаметр увеличился до 21,2 мм.

Обсадка производилась при помощи кувалды весом 8 кг, падающей (в специальной установке) с высоты 0,3 м. Таким образом живая сила удара ручного молота составляла 2,4 кг.

Как видно из этих данных молоток Сименса после 60 сек. работы произвел обсадку (укорочение) цилиндрика на 2,2 мм. Чтобы получить обсадку 3,2 мм, потребовалось сделать 30 ударов кувалдой. Чтобы получить такую же обсадку, как молотком Сименса, потребовалось бы сделать 21 удар кувалдой, т. е. затратить работу 50,4 кгм. Молоток Сименса за время обсадки сделал 1400 ударов, следовательно, живая сила одного удара составляет $\frac{50,4}{1400} = 0,036$ кгм.

Такое низкое значение живой силы удара, не совпадающее с результатами первого и второго, опытов, заставляет критически отнестись вообще к этому методу.

Действительно, правильно ли основное положение этого опыта, что для получения одной и той же обсадки необходима одна и та же суммарная живая сила ударов?

Ответ на этот вопрос дает диаграмма деформаций, известная из курса сопротивления материалов (рис. 7). Эта диаграмма представляет зависимость относительной деформации λ' (удлинение, укорочение, изгиб, скручивание) от напряжения материала p . Вначале диаграмма дает линейную зависимость, характеризующуюся коэффициентом пропорциональности (модулем Юнга). Если приложенное усилие таково, что предел пропорциональности не превзойден, то вообще никаких остаточных деформаций не получится, сколько бы раз мы ни сжимали тело. Затем кривая начинает загнаться, появляются остаточные деформации, и наконец, когда превзойден предел текучести, кривая идет параллельно оси абсцисс, т. е. для дальнейшего увеличения деформации не требуется увеличивать напряжение материала.

Применим эту диаграмму к нашему случаю. Легко видеть, что

следа на пробном цилиндрике. При этом живая сила удара возвращается обратно бойку молотка из-за упругости цилиндрика. Если удары будут несколько сильнее, то в результате произойдет некоторая деформация цилиндрика. Однако на деформацию будет затрачиваться лишь небольшая часть живой силы удара, именно та, которая соответствует разности между наибольшим напряжением материала, получаемым при ударе, и напряжением, соответствующим пределу упругости. Эта часть будет тем больше, чем ниже предел упругости пробного цилиндрика.

Отсюда делаем важный вывод. Для получения правильных результатов по этому методу упругость пробного цилиндрика должна быть как можно меньше; кроме того, для уменьшения ошибок живая сила градуировочных ударов должна быть примерно равна живой силе испытуемого молотка. Исходя из этих предпосылок, нами было разработано следующее видоизменение метода деформации (опыт 5): рабочий инструмент молотка Сименса (держатель копы), имеющий на конце вид цилиндра диаметром 18 мм, вгоняли в свинцовую пластинку размерами 100 × 50 × 35 мм. Сначала это делали силой ударов молотка Сименса, а затем (в новое место)—ударами градуировочного молотка. Молотком Сименса за 40 сек. работы сделано углубление высотой $h = 9,9$ мм, диаметром $D = 18$ мм. Градуировочный молоток весом 8 кг после 1 200 ударов падением с высоты 0,05 м сделал углубление с размерами $h = 9,1$ мм и $D = 18$ мм.

Как видно из этих данных, инструмент диаметром 18 мм вошел в свинцовую пластинку на глубину 9,9 мм через 40 сек. работы молотка Сименса, т. е. после 936 ударов. Для того чтобы вогнать этот инструмент градуировочным молотком на глубину 9,1 мм, потребовалось 1 200 ударов, каждый с живой силой по 0,4 кгм. Отсюда живая сила удара молотка Сименса получилась

$$0,4 \cdot 1\,200 \frac{9,9}{9,1 \cdot 936} = 0,56 \text{ кгм},$$

Эти величины близко совпадают с данными первого и второго опытов. Следует отметить, что если не принять во внимание условий, указанных нами, то метод деформации может привести к самым неверным результатам как преуменьшенным, так и преувеличенным. Последнее может получиться в том случае, если при относительно упругом пробном цилиндрике живая сила градуировочного молотка будет слишком мала.

Испробовано было также и другое видоизменение метода деформации—рабочий инструмент молотка Сименса вместо свинца вгоняли в землю. При этом опыте условия работы близко подходили к естественным. Результаты этого опыта получились следующие:

При действии отбойного молотка в течение 4,4 сек. рабочий инструмент вошел в грунт на 140 мм. Градуировочный молоток весом 8 кг при падении с высоты 0,065 м за 85 ударов вогнал этот же рабочий инструмент в тот же грунт на глубину 145 мм.

За время 4,4 сек. молоток Сименса сделал 98 ударов. По данным этого опыта живая сила ударов молотка Сименса получилась

$$8 \cdot 0,065 \cdot \frac{85}{98} \cdot \frac{140}{145} = 0,437 \text{ кгм}.$$

Несколько пониженное значение живой силы, измеренное при этом опыте, объясняется относительно малой сопротивляемостью грунта. Из-за быстрого продвижения рабочего инструмента вниз некоторая часть живой силы непроизводительно затрачивалась на сжатие резинового буфера молотка Сименса.

Этот метод можно вообще применять для быстрого и ориентировочного определения живой силы удара.

4. Осциллографическое исследование движения бойка. Живую силу удара бойка можно также подсчитать, если определить скорость бойка в момент удара и его массу. Определение скорости бойка было произведено нами по способу, разработанному нами для аналогичного исследования молотка „Синтрон“. К бойку *Б* был прикреплен деревянный стержень *С* (рис. 8). На конце стержня был укреплен контакт *К*, скользящий на никелиновой проволоке *П*. Концы проволоки были присоединены к аккумулятору. Шлейф осциллографа *I*, присоединенный к точкам *a* и *к*, измерял падение напряжения на участке *aк*, пропорциональное расстоянию *a—к*.

Таким образом на осциллограмме непосредственно записывалась кривая пути бойка по времени. Шлейф *II* записывал масштаб времени (синусоиду сети).

Одна из полученных осциллограмм представлена на прилагаемом рис. 9. Здесь кривая *S* означает путь бойка и кривая *e*—синусоиду сети. Прямые линии *1* и *2* означают крайние положения бойка при несжатой пружине (прямая *1* положение ближе к ручке, *2*—к копы). Эти прямые служат для ориентировки и для определения масштаба пути. Точки *a* и *с* соответствуют удару бойка.

Полученная кривая кроме непосредственного прикладного значения для определения живой силы удара имеет также весьма большой интерес и с более широкой точки зрения, так как выясняет картину движения бойка и баланс энергии. Кривая эта весьма характерна. Прежде всего можно видеть, что колебания бойка несинусоидальны. Время прямого хода (часть *bc*) меньше времени обратного хода (часть *ab*), так как при ударе боек теряет свою живую силу, которая накапливается за время своего предыдущего движения.

Скорость по общему правилу выражается первой производной пути по времени, т. е. тангенсом угла касательной в данной точке с осью абсцисс. Как видно, наклон кривой до удара (налево от точки *a*) круче, чем после удара (направо от точки *a*). Затем за счет работы мотора наступает период движения с ускорением. Следовательно, скорость за время обратного хода будет ниже, чем при прямом ходе, а отсюда и получается отмеченная выше несимметричность кривой.

По осциллограмме пути была определена скорость бойка в момент удара (обычным методом касательных), оказавшаяся равной 3,34 м/сек. Вес бойка равен 0,872 кг, вес пружины прямого хода 0,48 кг. Условно считаем, что при ударе отчасти работает и пружина половиной своей массы. Следовательно, суммарный вес равен 0,962 кг; масса

$$m = \frac{0,962}{9,81} = 0,098 \frac{\text{кг сек}^2}{\text{м}}$$

Отсюда живая сила удара

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{0,098 \cdot 3,34^2}{2} = 0,542 \text{ кгм}.$$

Полученная величина довольно близко совпадает с предыдущими опытами,

Таблица 3

Сводка данных испытания молотка Сименса

Коэффициент полезного действия мотора	77,5%
Живая сила удара (средняя из calorиметрических опытов и опыта деформации)	0,568 кгм
Коэффициент полезного действия на рабочем инструменте	28,6%
Температура нагрева корпуса после 25 мин. непрерывной работы при номинальной нагрузке	74°
Сверхтемпература	52,5°

Заключение

Живая сила удара при рабочих условиях составляет 0,568 кгм (средняя из трех calorиметрических опытов и одного опыта деформаций) и к. п. д. 28,6%. Полученная сила удара весьма невелика, если принять во внимание большой вес молотка. Низкой величины живой силы объясняется и малая производительность молотка. Коэффициент полезного действия молотка на рабочем инструменте невысок, несмотря на высокий к. п. д. примененного быстрогоходного мотора (77,5%).

Таким образом, несмотря на все совершенство примененного шиферштейновского принципа преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное, все же потери в механической передаче настолько велики, что поглощают все преимущества моторного молотка.

Большими потерями объясняется также и сильный нагрев молотка.

Данный тип молотка непригоден, следовательно, для электрификации нашей угольной промышленности, и его недостаток необходимо учесть при разработке советской конструкции.

(Окончание в следующем номере)

Проблема скользящих контактов играет огромную роль в электромашиностроении. Эта чрезвычайно важная, специальная область в нашей технической печати не нашла еще того отражения, которое получила в мировой литературе.

Народное хозяйство предъявляет требования на все более и более мощные машины для обслуживания электроэнергией огромного

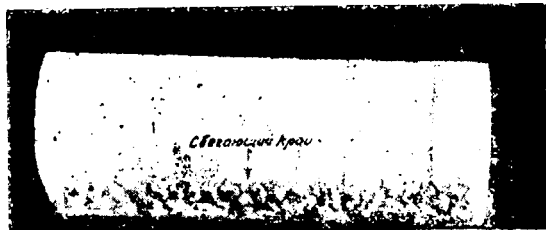


Рис. 1

энергетического хозяйства Союза. Нашими заводами запроектированы и выполняются турбогенераторы на 100 ÷ 200 MW, машины постоянного тока на 26 000 А и больше; достигнуты окружные скорости на коллекторах и кольцах 50 ÷ 70 м/сек и т. д., но наряду с этим щеточная проблема отстает от запросов электромашиностроения. В отношении экономичности эта проблема приобретает весьма большое значение. Статистический учет показывает, что выход из строя как крупных, так и мелких единиц вследствие применения недоброкачественных и неправильных подобранных марок щеток велик.

Конструктивное совершенство, надежность в эксплуатации и долговечность службы машин обуславливаются знанием значительного числа явлений, часто скрытых и переменных, происходящих на контактных поверхностях. Щетки, щеткодержатели должны быть максимально усовершенствованы, так как они имеют значение для машин, совершенно не пропорциональное их стоимости.

Задачей данной статьи не ставится всестороннее освещение теории скользящего контакта, так как последняя обширна и еще далеко не исследована.

В основу плана положено ознакомление с целым рядом статей иностранной литературы, а также с выводами экспериментальных работ, проводящихся в машинном отделе ВЭИ. Приведены описания:

I. Несколько аварийных примеров с целью указать, что часто сорт щеток, предусмотренный конструктором, оказывается непригодным в эксплуатации, в результате чего машина выходит из строя. Также есть примеры, которые показывают, что не всегда при порче коллектора и разрушении щеток или при сильном искрении последних нужно искать причину аварии в щетках. Эти примеры несколько ориентировочно могут также послужить указателем, в каком направлении нужно идти при выборе марки щеток для различных машин. Вопрос этот в настоящее время весьма актуален, так как щетки больше не импортируются даже для заграничного оборудования.

II. Конструкций аппаратов для испытания щеток на кольцах, коллекторе и на износ, сконструированных и выполненных в лабораториях ВЭИ.

III. Теории износа материалов, образования „политуры“ и притирки щеток.

IV. Переходного падения напряжения в контактном слое.

V. Распределения тока в отдельных частях контактной поверхности щетки при толчкообразной нагрузке.

I. Разрушение щеток при толчкообразной нагрузке

Вопросы улучшения условий коммутации и соответственно правильный подбор марки щеток для двигателей, предназначенных для



Рис. 2

прокатных станков и тяговых целей, представляют в настоящее время известный интерес как у нас, так и за границей. При толчкообразной нагрузке опыты показали, что больше всего нагружается и разрушается сбегающий край щетки, когда машина работает генератором.

Наблюдения велись 1) на машине постоянного тока, для которой искусственным путем создавались условия толчкообразной нагрузки, и 2) на одноякорном преобразователе (для сварки пульсирующим током) (см. гл. V).

Исследования производились со щетками Кудиновского завода различной твердости „Z-2006“ и „Т“ — твердые, „А“ — средней твердости и „W“ — мягкие.

Результаты экспериментов показали, что при часто и резко меняющейся нагрузке щетки подвергаются резким температурным изменениям, что неблагоприятно сказывается на структуре щеток.

При одинаковом времени и других равных условиях эксплуатации интенсивность разрушения щеток зависит от их сорта.

Началом видимого процесса разрушения можно считать, когда от сбегающего края щетки начинают отделяться мелкие пылинки, которые благодаря высокой температуре тотчас сгорают и образуют искры; через некоторое время начинают отскакивать куски; щетка как бы крошится; этот процесс сопровождается особым треском на коллекторе.



Рис. 3

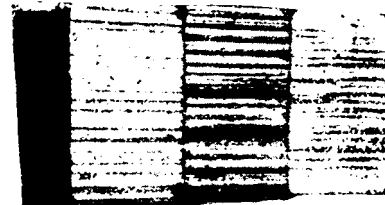


Рис. 4. Вид контактной поверхности щетки, установленной на разрушенной части коллектора.

Из четырех указанных сортов щеток первой начала разрушаться щетка „Т“ после 160-часовой работы. Самое интенсивное разрушение наблюдалось в последние 40 ÷ 50 час. На рис. 1 дан макроскопический снимок контактной поверхности щетки марки „Т“, щетка служила катодом, машина работала генератором. Линии трещин, видимых на снимке, — это те пути, по которым должно пойти дальнейшее разрушение щетки. Марка „Z-2006“ начала разрушаться после 200-часовой работы. Щетки же марок „А“ и „W“ не дали ярко выраженных признаков разрушения, кроме ожогов на сбегающем крае. Очевидно, что при толчкообразной нагрузке мягкие сорта щеток менее деформируются благодаря своей эластичности.

На рис. 2 и 3 показано разрушение контактных поверхностей щеток. Одна из них работала на агрегате блюминга; главной причиной разрушения был неправильный подбор марки щеток. Вторая щетка была установлена на машине постоянного тока, у которой превышение температуры коллектора над окружающей средой выходило из пределов, установленных нормами. Такое разрушение щеток часто служит причиной, благодаря которой машина становится негодной для эксплуатации.

2. В следующем примере изложено, какое влияние может оказать загрязненный вентиляционный воздух на долговечность службы коллектора и угольных щеток.

При эксплуатации двигателей для тяговых целей и транспорта наблюдается большее разрушение тех частей коллекторов, которые расположены ближе к якорю.

Загрязненный вентиляционный воздух сказывается не только на коллекторе, но и на угольных щетках, последние искраиваются больше с боков, обращенных к растрескиванию вентилятора, всасывающего охлаждающий воздух, а рабочие контактные поверхности щеток дают полное отражение состояния поверхности коллектора. При перестановке же щеток с разрушенной частью коллектора на гладкую или при замене одного сорта другим результаты получаются те же.

Zilken^[4] в своей статье привел интересные данные наблюдений эксплуатации двух турбогенераторов, установленных в шахте мощностью каждый 36 MW, 3 000 об/мин; мощность возбудителя 77 kW и окружная скорость на коллекторе 44 m/sec. Коллекторы у них были сдвоенного типа, на которых в начале работы были установлены высокооборотные угольные щетки. После 8 мес. работы машин на части коллектора, расположенного ближе к якорю, образовались канавки и было замечено разрушение щеток (рис. 4).

По предложению автора сетка, служащая фильтром всасываемого воздуха, была заменена сеткой больших размеров и с большим количеством отверстий, приходящих на 1 см² (рис. 5). Но для сохранения нужного количества охлаждающего воздуха необходимо наряду с увеличением размеров сетки увеличить соответственно сечение раструба у вентиляторов. Эти небольшие изменения в конструкции вентилятора показали, что после 6 мес. эксплуатации износ щеток и коллектора был ничтожен, а на рабочих поверхностях коллектора и щеток не было обнаружено никаких признаков разрушения. Автор перенес эти опыты и на другие машины: одноякорный умформер, мотор-генератор и т. д. Результаты получались вполне благоприятные.

3. На третьем примере Мауер^[1] указывает на некоторые факторы, которые должны быть учтены при выборе марки щеток для машин. Компенсированный генератор рассчитан на 3 910 А, 320 В, 1 200 об/мин. Превышение температуры коллектора над окружающей средой не должно превышать 50°С при полной нагрузке. Но нормальные условия эксплуатации требовали тока 3 910 А при 250 В и 750 об/мин. Такое изменение режима работы машины вызвало увеличение тока возбуждения примерно на 30%, увеличение рассеяния главных и дополнительных полюсов, а также большое увеличение насыщения последних. Кроме этого, получились деформация потенциальной кривой коллектора и уменьшение окружной скорости.

Условия коммутации оказались не те, которые были предусмотрены конструктором. Они изменились в худшую сторону. Среднее напряжение между пластинами коллектора было довольно значительно. Быстро изнашивающиеся щетки при данном напряжении при соответственных условиях могут послужить причиной кругового огня на коллекторе, так как частицы угля, отрывающиеся при износе, могут образовывать проводящие мостики между коллекторными пластинами. Если учесть то, что щеткодержатели у данного генератора были радиального типа, у которых высота небольшая, и что окружная скорость на коллекторе сравнительно велика (29 m/sec), то при таких данных мягкие сорта щеток будут изнашиваться с боков. Это даст возможность щетке перемещаться в обойме щеткодержателя и, следовательно, она будет крошиться. Для данных условий работы скорее всего можно остановиться на электрографитированных щетках (с высоким падением напряжения, так как потребная плотность тока 7 А/см²).

4. Из следующих двух примеров ясно, что не всегда можно устранить дефекты на коллекторе (в виде ожогов, пятен, искрения и др.) одной заменой сорта щеток (5). Машина постоянного тока мощностью 45 kW, 400 А, 115 В, 1 400 об/мин сильно искрилась, и на коллекторе были обнаружены ожоги и пятна. Машина работала с электрографитированными щетками. Переходное падение напряжения в контактом слое при плотности тока в 10 А/см² было 0,7 В. Превышение температуры коллектора над окружающей средой при нагрузке было 76°С. Когда электрографитированные щетки были заменены щетками, состав которых содержал небольшое количество металла, и падение напряжения при той же плотности тока было 0,4 В, температура коллектора снизилась, но все же коллектор продолжал разрушаться. Замечалось поверхностное выгорание ламелей, хотя они не были вызваны видимым искрением. Обмотка машины требовала зоны коммутации, почти равной расстоянию между краями смежных главных полюсов, но вследствие рассеяния главных полюсов размеры добавочных полюсов ограничены.

Нормальные условия работы машины были получены после переоборудования последней. Увеличение числа сегментов коллектора с 65 до 125 и количества пазов с 32 до 42 дало возможность: 1) уменьшить коммутационную зону, 2) увеличить расстояние между краями главных полюсов и 3) увеличить параметры дополнительных полюсов. После этих изменений в конструкции машины температура коллектора при нагрузке доходила до 49°С при работе машины с электрографитированными щетками.

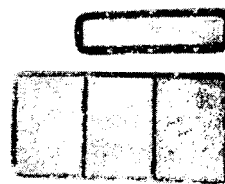
5. Пятнообразования на кольцах турбогенераторов^[5]. На кольцах турбогенераторов очень часто можно заметить пятна матового оттенка. Явление это вредное и объясняется, во-первых, тем, что когда машина неподвижна, то щетка, кольцо и влажный слой воздуха, находящийся между ними, образуют гальванический элемент, посылающий ток через индуктор и якорь машины возбуждения. Ток этот поляризационный, э. д. с. которого зависит от состояний поверхности кольца и щетки, а также от проводимости электролиза.

Второе объяснение находится в самой обмотке генератора; из теории машин известно, что магнитное поле однофазного генератора может быть разложено на два противоположно вращающихся поля. Также известно, что одно поле вращается синхронно с индуктором,

а поле, вращающееся в противоположном направлении, пересекает обмотку индуктора с двойной частотой и возбуждает в последней ток также двойной частоты, который в сумме с постоянным током машины образует пульсирующий ток в замкнутой цепи небольшого сопротивления (обмотка индуктора, контактные кольца и якорь машины возбуждения). Места колец, которые подвергаются действию максимального тока, электрически более нагружены и поэтому изнашиваются быстрее, что влечет за собой образование неровностей; и при больших окружных скоростях это нежелательное явление сопровождается искрением щеток. Это явление может быть обнаружено также у трехфазного генератора в том случае, когда машина имеет асимметричную нагрузку. Рекомендуется периодическое перемещение щеток таким образом, чтобы места, нагруженные максимальным током, уравнивались минимальной токовой нагрузкой от смещенной щетки, а также на время остановки машины изолировать рабочую поверхность щеток от колец.



a)



b)

Рис. 5. а—установка с новой конструкцией раструбка и сетки у вентилятора; б—наверху показана сетка старой конструкции, внизу—новая

6. Механическое давление на щетку. Неправильное распределение давления на щетку нарушает равномерное распределение плотности тока. На практике распределение давления на щетку часто производится не специалистами, что приводит к неблагоприятным эксплуатационным явлениям (искрение, вибрация щеток, неравномерное распределение тока в отдельных точках контакта). В особенности это можно заметить на машинах, у которых установлено большое количество щеток. Величина давления зависит от сорта и размеров щеток, а также от диаграммы усилий щеткодержателей. Регулировка давления должна быть по всей высоте щетки одинаковой; в противном случае, когда одна щетка срабатывается, давление на ней уменьшится. При установке же новой щетки и при первоначальном положении регулировочного винта давление на щетке увеличивается.

7. Дрожание щетки. Весьма интересным является исследование кривых колебания щеток. Исследование производилось в машинной лаборатории ВЭИ методом «разрезных щеток», который описан в гл. V.

Колебание щеток обуславливается не только механическими, но и электрическими колебаниями. Из механических факторов, влияющих на форму кривой колебаний щетки, необходимо отметить: число коллекторных пластин, число оборотов машины в минуту, сила нажатия, масса и твердость щетки, конструкция щеткодержателей, и степень свободы всевозможных перемещений щетки в обойме щеткодержателя, а также шероховатости на поверхности коллектора. Осциллографом, в цепь которого была включена мембрана микрофона, были засняты кривые колебания в щетках. При анализе осциллограмм удалось отметить два основных направления колебания щеток: 1) продольное и 2) тангенциальное. Продольное направление — вдоль оси щеткодержателя или направленное по радиусу коллектора. Амплитуда продольных колебаний очень мала, и, очевидно, эти колебания вызывают мелкие зубцы на кривых (рис. 14).

Наиболее характерным являются тангенциальные колебания щетки, напоминающие качание маятника. В связи с тангенциальными колебаниями щетки кривые тока в набегающей и сбегающей частях щетки носят колебательный характер, хотя суммарный ток нарастает плавно. Уменьшение тока в набегающей части соответствует увеличению тока в сбегающей части, и наоборот. Рассмотрение ряда осциллограмм показало, что закономерность колебания кривых не зависит от величины нагрузки машины.

1) Цифры в прямоугольных скобках обозначают порядковые номера литературного указателя, приведенного в конце статьи.

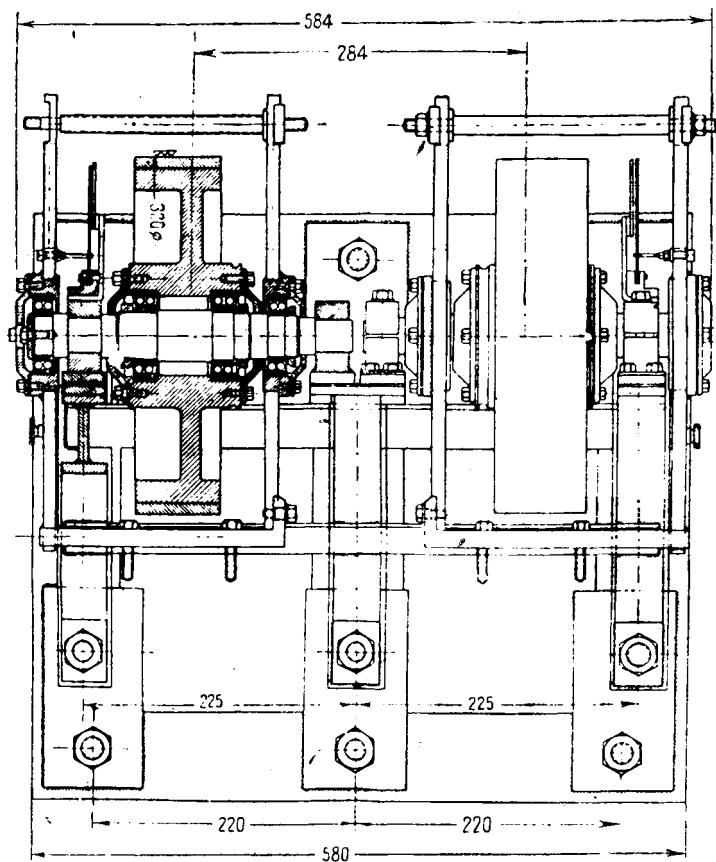


Рис. 6. Аппарат для испытания щеток на кольцах

I. Краткое описание конструкции аппаратов для испытания щеток

Установлением теории целого ряда еще до сих пор не выясненных явлений, происходящих под контактной поверхностью, основано на базе длительных экспериментальных работ со щетками. Бригадой инж. Москвитина были сконструированы три аппарата:

- 1) аппарат для испытания щеток на кольцах (рис. 6);
- 2) аппарат для испытания щеток на коллекторе (рис. 7);
- 3) аппарат для испытания износа материала щеток и колец (рис. 8).

Главной трудностью в этой задаче было то, чтобы приспособить аппараты для массового испытания щеток, выпускаемых Кудиновским заводом, т. е. приблизить к реальным условиям эксплуатации, а с другой стороны, устройство их должно быть таково, чтобы на них можно было создать искусственно специальные условия с целью получения определенных коэффициентов сравнения. В основу конструкции должна была быть положена значительная степень надежности в смысле выбора конструктивных материалов. Во избежание неуравновешенностей и сотрясаний установка колец, коллектора и траверс на шариковых подшипниках выполнена с большой тщательностью. С целью устранения всяких вибраций кольца совершенно круглые хорошо отбалансированы, так как неправильность в форме окружности коллектора или кольца порядка 0,001 мм достаточна, чтобы контакт в отдельных точках щетки был различен. На аппаратах 1 и 3 предусмотрена возможность вести исследование на различных материалах. Шкивы этих аппаратов имеют специальную конструкцию, на них можно одевать бандаж из любого материала (медные, бронзовые, стальные и т. д.), предварительно подвергаемые химическому и технологическому анализу. Главная цель в конструкции траверс и щеткодержателей — сделать их чувствительным индикатором соотношений трений между коллектором и щеткой. Траверсы выполнены из алюминия; в их конструкции также предусмотрена возможность установки щеткодержателей различных типов. Остальные детали ясны из приведенных рисунков.

III. Теория износа соприкасающихся материалов, образования палитур и притирки

Чтобы система работала с минимальными потерями, необходимо, чтобы рабочая контактная поверхность имела гладкую скользящую поверхность и износ был ничтожен.

Теорию контактной поверхности по данному вопросу нужно рассматривать, когда система работает без тока и с током, и исходя из твердости и абразивной²⁾ способности материала щеток.

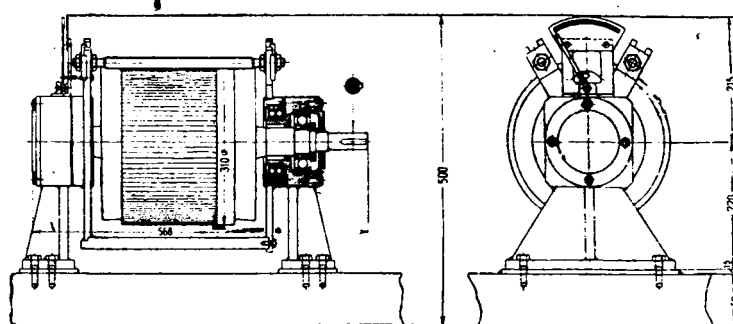


Рис. 7. Аппарат для испытания щеток на коллекторе

В первом случае графит или смесь графита с металлом трется о металл.

Известно, что если два трущихся материала по степени твердости различны, то материал большей твердости шлифуется более мягким. Последний можно рассматривать как режущий инструмент с огромным числом мельчайших резцов, которые снимают мельчайшие стружки у материала большей твердости. Затупившиеся резцы у материала меньшей твердости могут непрерывно реставрироваться более острыми благодаря усилиям, вызванным трением. Соответствующий подбор материалов по степени твердости для коллекторов, колец, щеток может существенно уменьшить износ. Необходимо указать, что износ щеток увеличивается в случае, если медные пластинки коллектора изнашиваются быстрее слюдяных прокладок, так как последние стирают мелкие частицы графита.

Износ зависит также от абразивной способности щетки. Абразивная способность щетки, по определению Мауеуа^[1], обуславливается присутствием посторонних истирающих твердых частиц, вкрапленных в щетку. Количество и характер истирающего материала можно определить рентгенографическим или химическим анализом. Если зола, полученная после сжигания щетки, имеет ярко розовую, красную или коричневую окраску, то это есть признак того, что щетка абразивная, так как она содержит железо, которое и является главной причиной этого явления.

Абразивную способность щетки нельзя рассматривать как простой механический износ. Здесь, главным образом, сказывается электролитический процесс. Целый ряд экспериментов показал, что абразивная способность щетки увеличивается, когда щетка находится под током, и что присутствие даже 0,1% посторонних веществ вызывает большие изменения в поведении щетки при работе. Так, например, некоторые посторонние материалы являются причиной в изменении и характере мелких дуг, образующихся между контактными поверхностями. Этот вопрос еще недостаточно освещен.

Когда система находится под током, то благодаря электролитическому процессу образуется оксидный изолирующий слой, который предохраняет коллектор или кольцо от стирания. Этот тончайший покров является желательным и необходимым в интересах продолжительности службы. Он имеет много определений: многие авторы ссылаются на открытие Rohman'a, который назвал этот изолирующий слой „жидкостной пленкой“ и теоретически доказал, что она воспринимает большую часть давления. Наличие изолиру-

²⁾ Абразия — от латинского слова „abradere“ (соскабливать). К абразивным материалам относятся корунд, наждак, алмаз, пемза, несчанник и др.

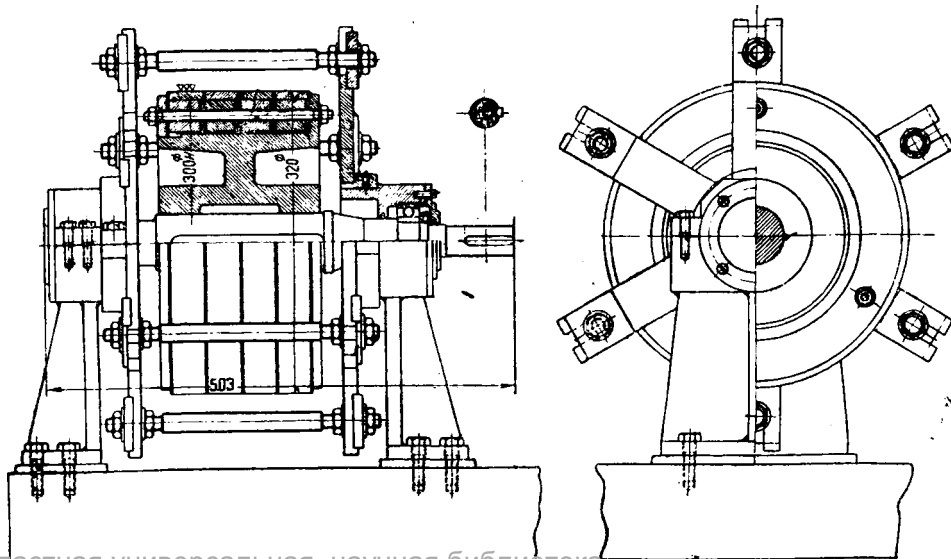


Рис. 8. Аппарат для испытания износа материалов щеток и колец

щего слоя имеет также объяснение—образование угледенных солей и окислы. В практической же эксплуатации этот слой носит название „палитур“; толщина и природа ее зависит от плотности тока, его полярности, применяемого материала и окружающей среды.

Прежде чем приступить к рассмотрению причин образования и разрушения изолирующего слоя, необходимо сказать, что за рабочую контактную поверхность принимается не вся скользящая поверхность щетки (даже при макроскопическом соприкосновении), а только сумма отдельных контактных точек, количество которых зависит от величины тока. По предположению же Binder'a за контактную рабочую поверхность можно принять мельчайшие частицы, отрывающиеся при износе и катающиеся между плоскостями.

При неравномерном распределении тока в отдельных контактных точках предел, при котором возможно образование жидкостной пленки, нарушается. Schräter^[2] в своей статье указывает, что жидкостная пленка разрушается сначала в немногих местах. Вокруг контактных точек вследствие раскаливания последних получаются углубления, благодаря которым приходят в соприкосновение следующие точки. Контактная поверхность, следовательно, увеличивается, но ее увеличение идет только лишь до тех пор, пока снова не установится равновесие.

Температура жидкостной пленки растет пропорционально току. Температура контактных точек поднимается медленнее. Но несмотря на это, они подвергаются большому разрушению, так как механически сильно нагружены благодаря большому давлению, которое получается при испарении жидкостной пленки. Этим объясняется увеличенный износ щеток при нагрузке. Опытные данные также подтверждают, что: 1) времени на притирку щеток тратится гораздо меньше, когда щетка находится под током, чем без тока, 2) износ контактных материалов протекает сначала пропорционально плотности тока, а при перегрузке—почти квадрату тока и 3) коэффициент трения при нагрузке меньше, чем при холостом ходе.

Полярность тока также сказывается на природе „палитур“. Если по одному следу на испытательном аппарате расположена щетка одной полярности, которая является приемником тока—анодом, а кольцо—катодом, то при прохождении тока мельчайшие частицы щетки отделяются электролитически и отлагаются на кольцо. Такой же процесс мы получаем, когда кольцо является анодом, только тогда отделяются мельчайшие частицы металла и откладываются на щетке. Но протекание процесса происходит медленнее, так как связывающее усилие между частями металла больше, чем у графита.

При данном направлении тока (медь-уголь) отпадает возможность образования „палитур“, так как кольцо все время подвергается электролизу, что неблагоприятно отражается на эксплуатации.

Специальный случай представляют кольца турбогенераторов. Кольца, снабженные анодными щетками, хорошо полируются; кольца же, на которых установлены катодные щетки, остаются матовыми, и на них в большинстве случаев образуются неровности и возникают искрения.

При прохождении тока щетка оставляет дорожку на кольцах, так называемый „позитивный след“. В случае если щетки различных полярностей не идут по одному следу, то отрицательная щетка (токопрохождение медь-уголь) окрашивается гораздо скорее, чем положительная, следствием чего бывает постепенное возрастание сопротивления. Скорость образования окрашенного слоя является функцией окружающей среды, температуры, плотности тока и количества щеток, помещенных на одном следу. Если же щетки различной полярности расположены на одном следу, то с течением времени дорожка затягивается, однако с известным запаздыванием в отношении развития окраски.

Притирку щеток Peggier^[3] рекомендуют производить пемзой, а затем током. Структура пемзы должна соответствовать природе металла и окружной скорости кольца или коллектора. Применения наждачного полотна для притирки следует избегать. Зерна наждачного полотна при притирке могут внедриться в щетку, и тогда они проводят на коллекторе или кольце канавки. Впоследствии последние и являются исходным пунктом электрического износа, так как плотность тока в этих местах увеличивается. Кроме того, на практике считают полезным применять все более мелкосернистые номера наждачного полотна. Но тогда получается очень отполированная контактная поверхность, что вызывает увеличение переходного падения напряжения (см. п. IV). Необходимо указать, что при употреблении пемзы уменьшается длительность притирки. Эксперименты, поставленные в ВЭИ, показывают, что время, нужное для притирки щеток, равно примерно 24 час. (в зависимости от сорта щеток).

Выводы

1. Механический износ материалов развивается с большой интенсивностью в течение первых двух часов работы машины, а затем замедляется.

2. Износ щеток, коллекторов и контактных колец весьма невелик в сухом месте и чистой атмосфере. Наличие газов, могущих оказать химическое воздействие на медь и графит, или наличие влаги оказывает фактором, который так же, как и механический износ, увеличивает переходное падение напряжения в контакте, способствует

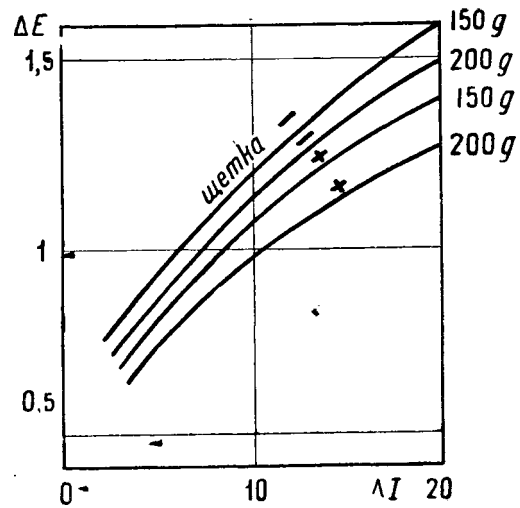


Рис. 9. Зависимость падения напряжения от плотности тока и давления

износу, искрению, вызывает неравномерное распределение тока в отдельных точках контакта.

3. Следует избегать длительного вращения машины при слишком малых плотностях тока (меньше 2 А/см²). В противном случае переходное падение напряжения чрезмерно возрастает.

4. Для равномерного износа коллектора щетки различной полярности нужно размещать попарно на одном следу.

5. Притирку щеток рекомендуем производить пемзой, а затем током.

IV. Падение напряжения в контактном слое

Исследования показали, что всякое химическое (полярность тока, окружающая среда) или механическое изменение поверхностей коллектора или кольца и щетки влечет за собой изменение переходного падения напряжения в контактном слое. Многие факторы, которые могут изменить контактную поверхность, являются величинами переменными и трудно поддающиеся анализу (например, температура отдельных контактных точек или искрение даже небольшое, может внести существенную ошибку при замерах переходного падения напряжения и др.). Выявить влияние отдельных переменных на величину переходного падения напряжения не представляется возможным, так как изменение одной из них влечет за собой почти всегда изменение других. Поэтому рассматриваем отдельные переменные при условии равенства других.

Действие, которое может оказать полярность тока на скользящие поверхности, достаточно подробно описано в гл. III. Здесь же мы отметим, что характеристика падения напряжения в функции от плотности тока, снятая при направлении тока уголь-медь, идет ниже примерно на 10%, чем кривая, снятая при обратном направлении тока для угольных щеток (рис. 9). Некоторое объяснение можно найти в том, что видимые и невидимые вольтовые дуги могут образовываться только в том случае, когда катод нагревается. Более благоприятные условия для образования вольтовых дуг создаются тогда, когда катодом служит щетка, так как коллектор или кольцо всегда находится в лучших условиях охлаждения, чем щетки.

Влияние окружающей среды. Посторонние примеси в воздухе могут существенно изменить контактную поверхность. Коллектор может в небольшой промежуток времени покрыться видимыми и невидимыми каавками в том случае, когда воздух, насыщенный влагой, содержит твердые частицы пыли, а также, если

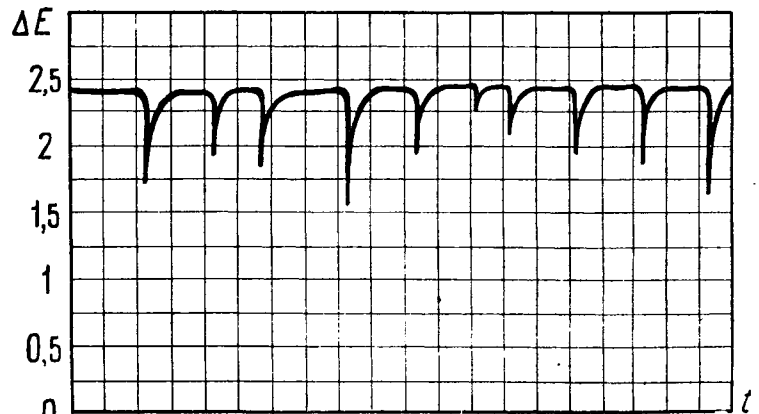


Рис. 10

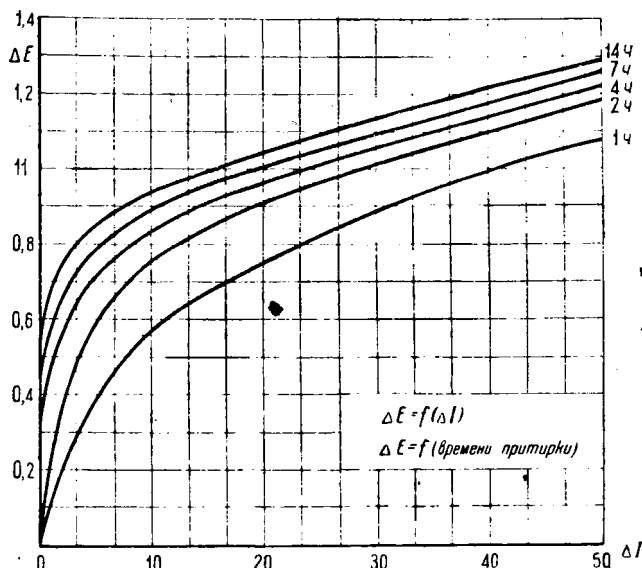


Рис. 11. Переходное падение напряжения электрографитированной щетки Кудиновского завода

окружающая среда содержит газы, могущие оказать химическое воздействие, например: хлор, аммиак, азотная кислота и др.

При продолжительном вращении машины без тока контактная поверхность кольца и щетки отполировывается. Если после такой полировки пропустить ток, то переходное падение напряжения в контактном слое может увеличиться в два-три раза. При плотности тока 2 А/см^2 можно получить 5 В . Шероховатая поверхность щетки может снизить падение напряжения до $0,1$ от нормального. Так, например, проф. Peggier^[3] утверждает, что падение напряжения в контакте тем меньше, чем шероховатее щетка и чем чище коллектор.

На практике часто встречаются явления быстрого разрушения „палитур“ на кольце или коллекторе—разрушения щеток и образования шероховатостей в этих местах. В какой-либо точке может образоваться невидимая искра. Так как эта точка является катодом дуги, то искра остается прикрепленной к данному месту и придает ему изрытый вид. Плотность тока в данном месте увеличивается и получается местное нагревание. Жидкостная пленка вокруг данной точки начинает испаряться. При длительном протекании процесса ток образует целые зоны, где он сосредоточивается и держится там более или менее долго. Кривая падения напряжения, снятая во время этого процесса, показывает, что главные участки кривой относительно высокого напряжения прерываются участками, в которых это напряжение падает (рис. 10).

Интересно отметить, что с увеличением температуры уменьшается переходное падение напряжения, так как уголь имеет отрицательный температурный коэффициент, но, с другой стороны, процесс образования „палитур“ при высокой температуре (до определенных пределов) ускоряется.

Вид контактной поверхности щеток весьма характерен, в особенности при графитных щетках. Резко отличается вид контактной поверхности отрицательной щетки от положительной. Поверхность отрицательной щетки покрывается как бы кратерами, которые затухают на набегающем крае щетки или на сбегающем в зависимости от режима работы машины (рис. 1).

Решающим в отношении переходного падения напряжения является состояние поверхности коллектора или кольца. Материалы из которого они изготовлены, не имеют того определенного значе-

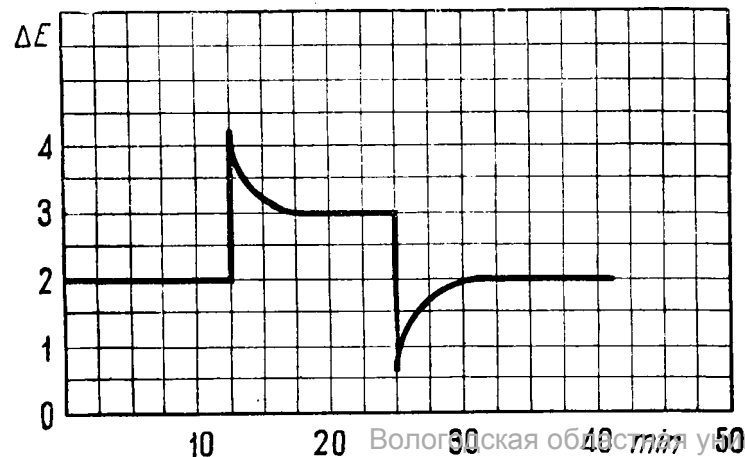


Рис. 12

ния, которое оказывают различные сорта щеток. Экспериментальным путем установлены определенные пределы для падения напряжения и плотности тока для отдельных групп сортов щеток. Удельная нагрузка для щетки получается тем меньше, чем больше падение напряжения. Падение напряжения для щеток из твердого угля значительно выше, чем у щеток с высоким содержанием графита или электрографитированных. Еще меньшую величину падения напряжения имеют металлические щетки. Плотность тока для щеток из твердого угля в среднем 7 А/см^2 , в то время когда на металлических щетках, имеющих низкое падение напряжения, плотность тока может быть допустима до 25 А/см^2 . В эксплуатации нужно строго придерживаться установленных пределов этих величин, так как превышение последних нарушает устойчивую работу машин.

Зависимость переходного падения напряжения от величины механического давления на щетку (рис. 9) показывает, что с повышением давления при постоянной плотности тока переходное падение напряжения уменьшается. При уменьшении давления увеличивается проводимость тока через вольтовые дуги, т. е. пары ионизирующего воздуха увеличивают эту проводимость, и падение напряжения увеличивается.

Окружная скорость на абсолютную величину падения напряжения при хорошем контакте отражается очень немного. Но чем выше окружная скорость, тем беспокойнее скользят щетки и тем больше получается искрообразование в форме вольтовых дуг. В это время измеряемое напряжение является напряжением искрообразования.

Для установления величин переходного падения напряжения при определенной плотности тока того или иного сорта щеток рекомендуем брать среднюю кривую из ряда снятых кривых в течение 24 час. притирки. Кривые, снятые в первые 3—4 часа, не учитываются, вследствие того что в эти часы при вращении кольца или коллектора пемза постепенно отделяется и механический износ щеток приводит к тому, что щетка с течением времени все более прилегает к поверхности кольца.

На рис. 11 видно, что угловой коэффициент касательных в местах загибов у верхних кривых больше, чем у нижних, и что в частях большей плотности верхние кривые имеют тенденцию к слиянию. При замерах необходимо учесть, что установившееся состояние контакта наступает не тотчас после изменения величины тока, а несколько позже, примерно, через 3—4 мин. (рис. 12).

V. Распределение тока в отдельных точках контактной поверхности щетки

В гл. II, III и IV были указаны некоторые причины, которые могут вызвать неравномерное распределение тока в щетке. Но наиболее интересным является распределение тока в отдельных точках щетки при толчкообразной нагрузке, так как явления в контактном слое при таком виде нагрузки еще недостаточно изучены. Чтобы внести некоторую ясность в вопрос об относительной нагруженности контактных точек щетки в ВЭИ был оставлен ряд экспериментальных работ, которые показали, что при толчкообразной нагрузке машины постоянного тока, работающей в генераторном режиме, более нагруженным является сбегающий край щетки (это наблюдается как при ускоренной и замедленной коммутации, так и тогда, когда щетки стоят на нейтрали). Происходит это вследствие неуккомпенсированности реактивной э. д. с. в короткозамкнутых щетками секций, коммутирующей э. д. с. дополнительных полюсов.

При увеличении нагрузки реактивная э. д. с. в короткозамкнутых секциях растет пропорционально току якоря, нарастание же коммутирующей э. д. с. обмотки дополнительных полюсов идет пропорционально току якоря до тех пор, пока получается насыщение сердечников добавочных полюсов.

Нарастание индукции в междужелезном пространстве тогда практически прекращается. Кроме того, при толчкообразной нагрузке в случае толчков тока, близких к переходам от холостого хода и от нагрузок, меньших, чем номинальная, к короткому замыканию, коммутирующей э. д. с. дополнительных полюсов нарастает медленнее по отношению к нарастанию реактивной э. д. с. в короткозамкнутых щетками секциях. Объясняется это демпфирующим действием токов Фуко, развивающихся в магнитной цепи дополнительных полюсов.

В момент же сброса нагрузки, т. е. в момент перехода от большой нагрузки к меньшей, получается как бы перекоммутирование; здесь действие токов Фуко сказывается в обратном направлении.

Осциллограммы показывают, что ток якоря при толчках не остается постоянным в течение более или менее длительного периода вследствие неизбежных качаний как электрической, так и механической части системы. Изменение формы кривой зависит от факторов, определяющих характер данного процесса работы (прокатка, подьем и т. д.).

Опытная часть. Исследования производились в машинном отделе ВЭИ. На машине постоянного тока, которая работала генератором, создавалась толчкообразная нагрузка. Последняя осуществлялась в виде внезапного перехода с нагрузки и холостого хода на короткое замыкание (машина завода „Динамо“ тип ПА-100, шунтовая с дополнительными полюсами).

Машина нагружалась до половины номинальной нагрузки, затем переводилась на кратковременное короткое замыкание с помощью автоматического выключателя ab (см. схему рис. 13).

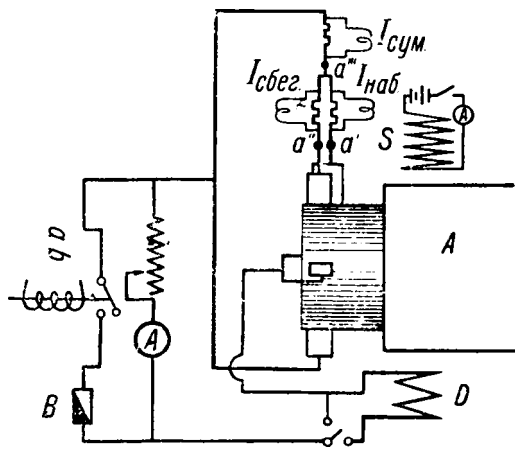


Рис. 13. А—якорь машины; S—обмотка возбуждения главных полюсов; D—обмотка дополнительных полюсов; ab—автоматическое включение; В—легкоплавкий предохранитель

Для большей наглядности протекания тока по контактной поверхности на каждом щеточном болте было установлено по одной щетке. Испытуемая щетка по предложению акад. Шенфера разрезалась на две части, которые соответствующим образом изолировались между собой, а затем склеивались в одно целое. Таким образом каждую часть разрезанной щетки можно рассматривать как самостоятельную щетку. Однако и этот опыт дает только лишь приближенное представление о распределении тока в отдельных точках контактной поверхности.

На схеме для ясности щетки смещены одна относительно другой (рис. 13). До начала опыта перехода машины с режима нагрузки (нагрузка машины во время опыта равнялась 50% от ее номинальной нагрузки) на режим короткого замыкания ток в сбегающей части разрезанной щетки равнялся току в набегающей части, что достигалось соответствующей установкой пружины щеткодержателя.

Таблица 1

№ осциллограммы	Дополнительные полюса	Положение щеток	Распределение тока		
			суммарный %	набегающий край %	сбегающий край %
1	Включены	Щетки стоят на нейтрали	100	25,5	74,5
2		Щетки смещены по направлению вращения генератора на 4 ламели	100	33,3	64,7
3	Выключены	Щетки смещены против направления вращения генератора на 4 ламели	100	18,4	81,6
4		Щетки стоят на нейтрали	100	8,3	91,7
5		Щетки смещены по направлению вращения генератора на 4 ламели	100	29,6	70,4
6		Щетки смещены против направления вращения генератора на 4 ламели	100	4,0	96

Распределение относительных величин тока в сбегающей и набегающей частях щетки при разных режимах работы машины осциллографировалось. Осциллограммы сняты при переходе машины с режима холостого хода на короткое замыкание. Первые три сняты при включенных дополнительных полюсах и различных сдвигах щеток по отношению вращения якоря машины, а последние три—при

включенных дополнительных полюсах и при тех же положениях щеток (см. табл. 1 и рис. 14). Осциллограммы показывают, что при включенных дополнительных полюсах сбегающий край щетки при замедленной коммутации более нагружен, чем при ускоренной. Когда же коммутирующие полюса выключены, то условия коммутации еще более ухудшаются (табл. 1).

Выводы

Анализ осциллограмм и теоретическое обоснование явлений вполне подтверждают, что при толчкообразной нагрузке нормальное для стационарного режима работы коммутирование (щетками стоят на нейтрали, дополнительные полюса включены) переходит в замедленное коммутирование вследствие магнитного насыщения сердечников дополнительных полюсов и демпфирующего действия токов Фуко.

1. Машина постоянного тока, рассчитанная на работу при спокойной нагрузке, не всегда удовлетворительно работает при толчкообразной нагрузке.

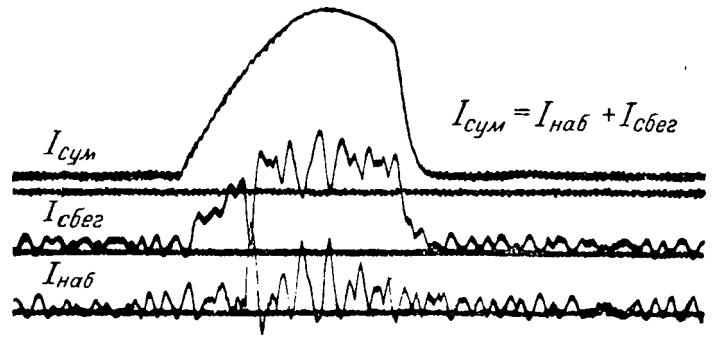


Рис. 14. Осциллограмма снята при опыте перехода машины с режима нагрузки на короткое замыкание при включенных дополнительных полюсах и щетках, стоящих на нейтрали; I_сбег—ток в сбегающей части разрезной щетки; I_наб—ток в набегающей части разрезной щетки; I_сум—суммарный ток щетки.

2. Сбегающий край щеток ввиду его частой перегруженности подвергается не только большому обгоранию, но и вследствие частых и резких температурных колебаний—механическому разрушению. Разрушение больше сказывается на твердых сортах щеток (см. гл. I пример 1).

3. Рекомендуется перекоммутировать при толчкообразной нагрузке машину в пределах, позволяющих работать при стационарной номинальной нагрузке без искрения.

4. Особое внимание следует уделить при конструировании и расчете машин, предназначенных для толчкообразной нагрузки, вопросам увеличения размеров сердечников дополнительных полюсов до пределов, ограниченных конструктивными возможностями, и уменьшения потока рассеяния дополнительных полюсов.

Литература

1. M. Maue r, „Propriétés des balais en charbon“ science et industrie № 229, 231, 235, 1933.
2. F. Schräter, Zur Physik des Schleifkontakten“, „Archiv für Elektrotechnik“, Heft 1, 1927.
3. M. Perrier, La chute de Tension an Contact des balais sur les Bagues Collectrices, Bulletin de la Societe Francaise des Electiciens, № 108, стр. 903, 1930.
4. L. Zilken, Zur Frage der Lebensdauer der Kommutatoren, und Kohlebürsten Heft 51, стр. 1, 1933.
5. Heinrich, Das Bürstenproblem im Elektromaschinenbau, Ein Beitrag zum studium der stromabnahme von Kommutatoren und Schleifringen bei Elektrischen Maschinen, 1930.
6. G. Little, Proprieties and Feste of Carbon, Brushes for Motors and generators „The Electric journal“, 1929.
7. Binder, Über die Vorgänge an den Bürsten von Schleifringen und Stromwendern Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern, II. Bd., 1922. 25/XII 1933

Обмотки электрических машин с большим укорочением шага

Инж. Е. Г. Комар
Ленинград

Обычно считается, что обмотки с укороченным шагом в электрических машинах применяются для уменьшения добавочных потерь. Известно, что добавочные потери от несинусоидальности кривой магнитодвижущей силы обмотки достигают своего минимума при укорочении шага порядка 0,8. Считается, что при этом приходится затрачивать несколько большее количество меди, так как обмотка с укороченным шагом требует большего, чем диаметральной, числа витков или при том же числе витков—больших размеров активного железа, что увеличивает длину каждого витка. Однако, снижение добавочных потерь не является единственной, а в большинстве случаев и главной причиной применения обмоток с укороченным шагом.

Поэтому очень часто применяются обмотки с укорочениями 0,7 ÷ 0,6 и даже 0,5, при которых добавочные потери принимают значения, очень далекие от своего минимума.

Двухполюсные синхронные машины американской фирмы GE почти во всех случаях выполняются с укорочением шага обмоток до 0,5. Также новая серия асинхронных быстроходных короткозамкнутых двигателей завода „Электросила“ имеет укорочение шага статорных обмоток, близкое к 0,5. При выборе столь больших укорочений снижение добавочных потерь совершенно не принималось во внимание. Укорочение шага выбиралось только на основании конструктивных и производственных соображений.

За последнее время огромное распространение получили американские двухслойные конусные обмотки с компаундированной непрерывной изоляцией. Как известно, лобовые части таких обмоток располагаются не как обычно в плоскости, перпендикулярной оси машины, а по поверхности конуса, ось которого совпадает с осью машины. Общеизвестные достоинства таких обмоток заставили применять их не только в турбогенераторах, но и почти во всех других машинах переменного тока, выпускаемых заводами СССР.

На рис. 1 схематически изображены лобовые части конусной статорной обмотки в поперечном разрезе машины. Величина L называется вылетом статорной обмотки. Вылет во многих случаях оказывается весьма большим. Турбогенераторы больших мощностей обычно имеют вылет порядка 400 ÷ 600 мм. Однако при уменьшении мощности вылет уменьшается мало, а иногда даже увеличивается, так как при прочих равных условиях его величина сильно растет с уменьшением диаметра расточки статора.

Приведем любопытный пример. Асинхронный двигатель мощностью 450 kW имеет диаметр расточки

статора 500 мм и длину активного железа 300 мм. При диаметральной шаге статорной обмотки и 48 пазов вылет L получается равным 500 мм. Таким образом длина активного железа, сложенная с двумя вылетами, дает длину активных частей мотора $300 + 2 \times 500 = 1300$ мм (при 300 мм активного железа!). Конструкция явно негодная. Применением обмотки с укорочением шага около 0,5 удалось уменьшить вылет до 260 мм, что вполне приемлемо.

Кроме того, как показала практика, укладка в пазы цельных шаблонных катушек на диаметрах расточки 500 ÷ 600 мм у двухполюсных машин с диаметральной шагом или с малым его укорочением не только сопряжена с огромными производственными трудностями, но во многих случаях совершенно невозможна. При укорочении шага 0,5 ÷ 0,6 укладка значительно облегчается. Эти обстоятельства заставляют в двухполюсных машинах при диаметрах расточки менее 500 ÷ 600 мм в шаблонных конусных обмотках применять большие укорочения шага, достигающие до 50%.

Эти большие укорочения практически ничтожно увеличивают общие добавочные потери, которые при конусных обмотках вообще малы. Общий вес меди, как будет доказано ниже, при этом в большинстве случаев даже уменьшается. Целью настоящей статьи и является выяснение зависимости между укорочением шага и весом обмотки.

Если l_n —длина активного железа машины, а l_s —длина ветви лобовой части, то полная длина витка

$$l = 2(l_n + l_s).$$

Длина лобовой части обмотки пропорциональна ее шагу:

$$l_s = c_1 y,$$

где c_1 —коэффициент пропорциональности, а y —шаг обмотки, выраженный в числе пазов или в сантиметрах. Тогда

$$l = 2(l_n + c_1 y) = 2(l_n + c_1 k \tau),$$

где $k = \frac{y}{\tau}$ —укорочение шага, равное отношению шага обмотки к полюсному делению (в числе пазов или в сантиметрах).

Коэффициент укорочения шага

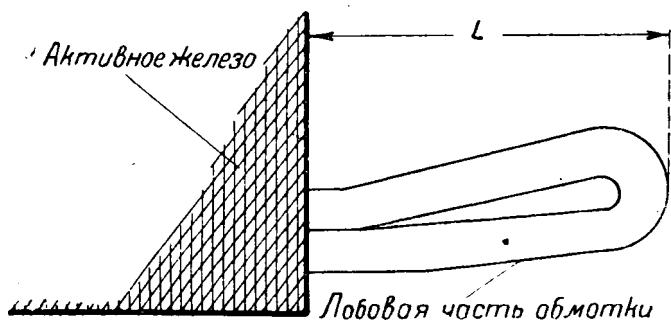
$$k_y = \sin \frac{\pi}{2} k.$$

Обычно при расчете машины при изменении укорочения шага варьируется активная длина машины для сохранения необходимого напряжения. При этом

$$l_n = \frac{c_2}{k_y},$$

где c_2 —коэффициент пропорциональности. Тогда

$$\begin{aligned} l &= 2 \left(\frac{c_2}{k_y} + c_1 k \tau \right) = 2 \left(\frac{c_2}{\sin \frac{\pi}{2} k} + c_1 k \tau \right) = \\ &= 2 c_2 \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} k} + \frac{c_1 \tau}{c_2} k \right). \end{aligned}$$



Здесь $c_1 \tau$ —длина лобовой части обмотки при диаметральном шаге, а c_2 —длина активного железа также при диаметральном шаге.

Обозначим $\frac{c_1 \tau}{c_2}$ через ξ . Тогда

$$l = 2 c_2 \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} k} + \xi k \right).$$

Полный вес меди

$$G = c_3 \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} k} + \xi k \right),$$

где c_3 —коэффициент пропорциональности.

Выразим вес обмотки в долях ее веса при диаметральном шаге.

При диаметральном шаге

$$G_d = c_3 (1 + \xi).$$

Обозначим отношение $\frac{G}{G_d}$ через p ; получим, что

$$p = \frac{1}{1 + \xi} \left(\frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} k} + \xi k \right).$$

Величина ξ обычно не опускается ниже 0,7 (мощные турбогенераторы) и достигает в ряде типов 3 ÷ 4.

Результаты вычисления величины p для ряда значений сведены в табл. 1. Данные этой таблицы представлены семейством кривых на рис. 2.

Таблица 1

K	P			
	$\xi=1$	$\xi=2$	$\xi=3$	$\xi=4$
0,9	0,962	0,940	0,93	0,924
0,8	0,927	0,884	0,864	0,852
0,7	0,912	0,840	0,805	0,785
0,6	0,918	0,810	0,758	0,726
0,5	0,984	0,802	0,728	0,684
0,4	1,050	0,832	0,726	0,660

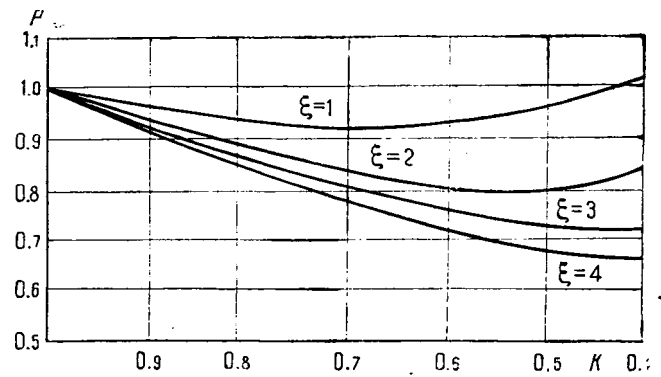


Рис. 2

Таким образом для всех обычно встречающихся значений ξ укорочение шага дает почти всегда уменьшение веса обмотки. Однако укорочение шага увеличивает вес активного железа. Этот вес

$$Q = \frac{c_4}{k_y},$$

где c_4 —вес железа при диаметральном шаге.

Вес активного железа в долях веса при диаметральном шаге

$$q = \frac{1}{k_y} = \frac{1}{\sin \frac{\pi}{2} k}.$$

Величины q для различных значений k сведены в табл. 2.

Таблица 2

K	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
q	1,021	1,051	1,122	1,235	1,416	1,7

Укорочение шага, таким образом, уменьшает вес обмотки и увеличивает вес активного железа. Так как стоимость обмотки обычно превышает стоимость активного железа, то баланс получается в пользу укорочения. Но даже при одинаковой стоимости машины следует применять обмотки с большим укорочением шага (60 ÷ 50), которые дают огромные конструктивные и производственные преимущества по сравнению с обычными обмотками. Вообще же большое укорочение шага или удешевляет машину или увеличивает ее стоимость практически незначительно. Вес же обмотки при большом укорочении шага почти всегда уменьшается.

29/XII—33 г.

К вопросу внутренней вентиляции роторов турбогенераторов

Инж. Н. П. Савин
Москва, ВЭИ

Как известно, нагрев ротора турбогенератора является фактором, определяющим собой во многих случаях мощность машины, особенно в современных мощных турбогенераторах. В связи с этим вопросы охлаждения ротора приобретают чрезвычайно большое значение. Насколько можно судить по литературным данным, специальных исследований в области вентиляции ротора, несмотря на существующее большое многообразие конструктивного выполнения роторной вентиляции, до сих пор не было проведено. Поэтому это многообразие форм скорее можно объяснить интуитивным подходом к разрешению вентиляционной проблемы ротора. Отсутствие же в этой части экспериментальных данных, нужно полагать, вызвано чрезвычайно большими трудностями, которые возникают при исследовании гидравлических явлений в условиях вращающегося тела, каковым является ротор турбогенератора. А между тем, знание скоростей, которыми обладают струи охлаждающего ротор воздуха в отдельных местах воздухопровода ротора, является действительно необходимым при проведении теплового расчета ротора. Это об-

стоятельство является особенно важным еще и потому, что в настоящее время, как известно, имеется тенденция к полному отказу от внутренней вентиляции ротора за счет более интенсивного охлаждения поверхности ротора воздухом, прогоняемым через вентиляционные каналы статора¹⁾.

Настоящая работа и ставит своей задачей восполнить этот пробел, причем изложенные здесь методы исследования могут найти широкое применение при разрешении вопросов вентиляции электрических машин вообще.

В основу исследования была положена модель ротора турбогенератора 55 MVA, 1500 об/мин, принятого к производству заводами „Электросила“ и Харьковским турбогенераторным (ХТГЗ). Модель ротора была выполнена путем уменьшения линейных размеров ротора турбогенератора в два раза, и для исследования была взята

¹⁾ См., например, статью инж. Н. П. Иванова. Новая двухполюсная серия турбогенераторов, „Электричество“ № 15, 1933.

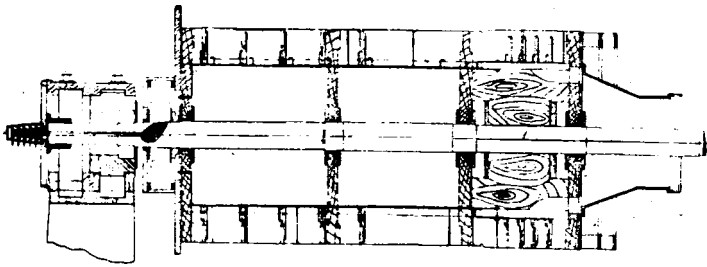


Рис. 1. Схема расположения трубочек для замера давлений и скоростей воздуха по каналам ротора

половина ротора, поскольку другая половина является примером симметричной по отношению к первой.

Работа имеет своей целью разрешить следующие вопросы в области вентиляции ротора:

- 1) найти распределение скоростей и давлений по каналам ротора;
- 2) произвести разделение количества воздуха, поступающего в ротор, на количество воздуха, проходящего а) через радиальные каналы ротора и б) через отверстия в каппе;
- 3) определить вентиляционные потери, обусловленные рифлением ротора и наличием аксиальных канавок в пазах ротора над клином;
- 4) установить влияние числа радиальных каналов ротора (при работе ротора в атмосферу);
- 5) произвести исследование вентиляционных каналов ротора различного выполнения на специальных моделях и установить наиболее рациональную форму вентиляционных каналов из числа тех, которые положены в основу исследования;
- 6) дать приближенный метод расчета вентиляции ротора.

Методика исследования вентиляции ротора

Для разрешения задачи по определению скоростей и давлений в каналах вращающегося ротора модель ротора была соответствующим образом препарирована.

Препарировка заключалась в установке в радиальных каналах, в подпазовых каналах, в каналах каппы, на поверхности центральной бочки и каппы модели ротора измерительных трубочек для замера статических и полных давлений. Измерительные трубочки представляют собой трубочки из меди; внешний диаметр их равен 2 мм; диаметр в свету—0,7 мм. Трубочки для замера статических давлений заделаны заподлицо с поверхностью каналов, омываемой воздухом. Трубочки для замера полных давлений в радиальных каналах ротора своим носиком расположены по оси канала навстречу потоку воздуха в канале. Другой конец измерительных трубочек выведен на торец ротора. Схема расположения измерительных трубочек представлена на рис. 1. Препарировка была выполнена на отдельно изготовленных радиальных каналах и каналах каппы модели ротора; последние вставлялись затем в отверстия, сделанные в теле ротора и каппы. Таким путем были препарированы десять радиальных каналов ротора и восемь каналов каппы (по пяти радиальных каналов и четыре канала каппы в двух диаметрально противоположных аксиальных рядах).

Центральным местом в области методики исследования вентиляции вращающегося ротора является вопрос, каким путем получить действительные значения давлений в каналах ротора. С этой целью было разработано специальное приспособление—соединительный конус (рис. 2). Последний состоит из двух частей: вращающейся—внутреннего конуса—и неподвижной—внешнего конуса. Внутренний конус крепится к торцу вала ротора (рис. 3). В теле внутреннего конуса просверлены отверстия в аксиальном направлении, имеющие выход на поверхность конуса.

Внешний конус состоит из ряда камер, отделенных друг от друга перегородками. Каждая камера имеет сообщение с отверстием на поверхности внутреннего конуса. Кроме того, каждая камера снабжена медной трубочкой для присоединения к манометру. Переход воздуха из одной камеры в другую устранен точной пригонкой конусов и наличием масляной пленки в местах перехода из одной камеры в другую на поверхности соприкосновения конусов.

Аксиальные отверстия внутреннего конуса соединяются помощью резиновых трубок с концами измерительных трубочек, расположенных на торце модели ротора.

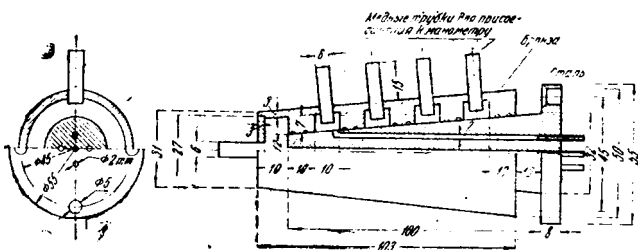


Рис. 2. Соединительный пятиходовый конус—приспособление для измерения давлений в каналах ротора

Показания микроманометра $h_{ман}$, соединенного с медной трубочкой одной из камер соединительного конуса, при вращении модели ротора будут состоять из двух частей: действительного давления в канале ротора в месте замера $h_{эфф}$ и разрежения, создаваемого самой измерительной трубочкой, $h_{тр}$.

Таким образом

$$h_{ман} = h_{эфф} + h_{тр} \quad (1)$$

Следовательно, для определения действительного давления в канале по данным $h_{ман}$ необходимо знать в каждом отдельном случае величину $h_{тр}$.

Разрежение, создаваемое измерительной трубочкой $h_{тр}$, может быть найдено из следующего соотношения, являющегося исходным при рассмотрении принципа действия центробежного вентилятора:

$$h_{тр} = \frac{\rho \omega^2}{2} (R^2 - r^2) \text{ мм Н}_2\text{О}. \quad (2)$$

Здесь ω —угловая скорость вращения (1/сек); R —расстояние оси измерительной трубочки в месте замера от оси вращения (м); r —

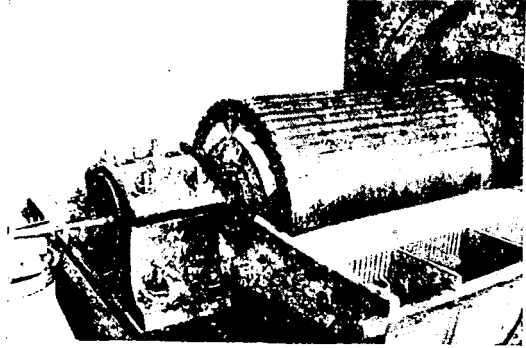


Рис. 3. Модель ротора турбогенератора 50 MVA 1500 об/мин с выведенными на торце концами измерительных трубочек для присоединения к конусу

расстояние оси отверстия на поверхности внутреннего конуса от оси вращения (м).

Для проверки надежности работы соединительного конуса была изготовлена специальная установка, для которой показания манометра должны были соответствовать непосредственно разрежению, создаваемому измерительными трубочками при вращении.

Сопоставление расчетных значений разрежений, создаваемых измерительными трубочками, с теми, которые получаются из опыта, дает очень хорошее совпадение (рис. 4).

Таким образом, зная из опытов с моделью ротора показания микроманометра (мм Н₂О) и подсчитав разрежение, создаваемое данной измерительной трубочкой при вращении, можно определить из соотношения (1) эффективное значение давления в канале в месте замера 2). При определении скоростного или динамического напора

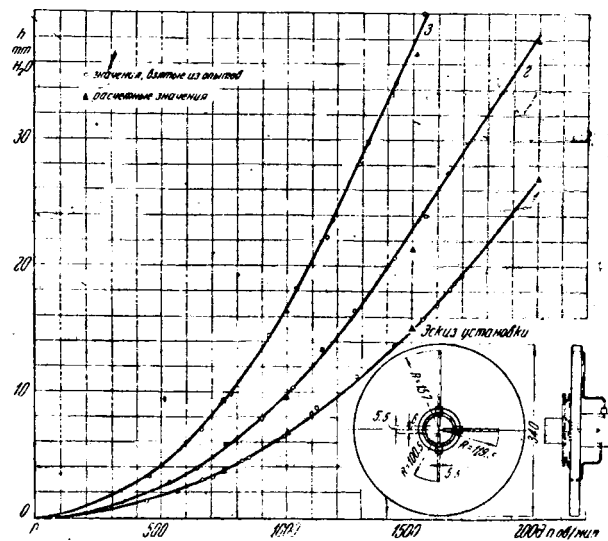


Рис. 4. Зависимость разрежений, создаваемых измерительными трубочками от скорости вращения.

- Кривая 1 $R = 100$ мм, $r = 6$ мм;
 2 $R = 119,5$ мм, $r = 5,5$ мм;
 3 $R = 157$ мм, $r = 5,6$ мм.

2) Здесь и в дальнейшем давление понимается в широком смысле—как разность давлений и как разрежение.

(h_d) в радиальном канале нет нужды учитывать влияние самой измерительной трубочки.

Скоростной напор при рассмотрении работы ротора как вентилятора на всасывание определяется из соотношения

$$h_d = h_{ст} - h_{пол} \text{ мм H}_2\text{O}. \quad (3)$$

Здесь $h_{ст}$ — статическое давление и $h_{пол}$ — полное давление в месте замера. Трубочки для замера статического и полного давлений находятся в канале на одном и том же расстоянии от оси вращения, поэтому влияние измерительных трубочек на результаты определения $h_{ст}$ и $h_{пол}$ будет одним и тем же и, следовательно, не скажется на результат определения h_d по соотношению (3).

Определенный по соотношению (3) скоростной напор может отличаться от среднего скоростного напора, учитывая неравномерное распределение скоростей по сечению в месте замера $h_{ст}$ и $h_{пол}$. Поэтому скорость и расход воздуха в отдельном канале ротора, найденные на основании этого скоростного напора, могут иметь иные значения, чем определяемые из соотношений

$$v = 4,04 \sqrt{h_d} \text{ м/сек} \quad (4)$$

и

$$Q = 4,04 \sqrt{h_d} F \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (5)$$

где F — сечение канала в месте замера (м^2). Поэтому для правильного определения скорости v и расхода Q необходимо опытным путем определить так называемый коэффициент поля ψ , представляющий собой отношение средней скорости к максимальной:

$$\psi = \frac{v_{ср}}{v_{\max}}$$

или получить фиктивное значение этого коэффициента поля путем соответствующей тарировки показаний h_d в зависимости от расхода воздуха Q . Последнее является наиболее пригодным в нашем слу-

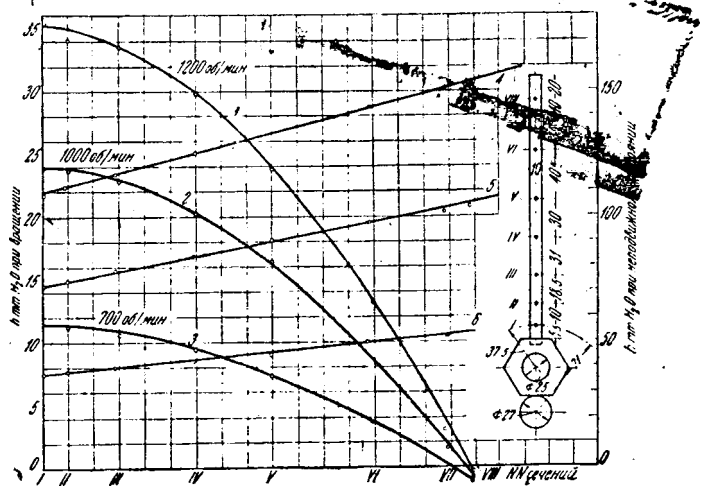


Рис. 6. Кривые распределения давлений по длине канала при испытании на вращение (кривые 1, 2, 3) и в неподвижном состоянии (кривые 4, 5, 6)

напора в месте замера $h_{кол}$, можно по показаниям $h_{кол}$ определить скоростной напор $h_d \text{ мр}$

$$h_d \text{ мр} = \frac{h_{кол}}{1,02} \text{ мм H}_2\text{O}. \quad (6)$$

Зная, таким образом, скоростной напор по трубе, можно определить тот скоростной напор, который должен быть в канале в рассматриваемом сечении, исходя из следующего соотношения:

$$h_d \text{ кан} = \frac{h_d \text{ мр} \cdot F_{\text{тр}}^2}{F_{\text{к}}^2} \text{ мм H}_2\text{O}. \quad (7)$$

Здесь $F_{\text{тр}}$ — сечение трубы (м^2); $F_{\text{к}}$ — сечение канала (м^2). С другой стороны, $h_d \text{ кан}$ можно определить по показаниям $h_{ст}$ и $h_{пол}$ для рассматриваемого сечения канала. Таким образом имеются необходимые данные для нахождения коэффициента поля

$$\psi = \frac{h_d \text{ кан}}{h_d \text{ кан}} \quad (8)$$

и, следовательно, для определения действительного расхода по каналам при испытании модели ротора.

С целью выявления картины распределения давлений по каналам весьма малого диаметра при вращении и неподвижном состоянии каналов может быть проведен следующий опыт: используется канал из меди диаметром в свету 10 мм. Внутренняя поверхность канала тщательно отполирована. По длине канала установлены восемь трубочек для замера статических давлений и одна трубочка для замера полного давления в сечении VIII канала (рис. 6).

Для испытания канала в неподвижном состоянии

Используется установка, изображенная на рис. 5. Канал помощью рукава соединен с посторонним вентилятором. Канал работает на всасывание. Расход воздуха определяется по коллектору. Регулирование расхода (количества воздуха, проходящего через медный канал) производится путем дросселирования отверстий, сделанных на металлической части рукава, соединяющего медный каналс вентилятором.

По данным опытов коэффициент трения медного канала

$$\lambda = \frac{\Delta h D}{l h_d} = 0,0292. \quad (9)$$

Здесь Δh — потеря напора на рассматриваемом участке (мм H₂O); D — диаметр канала (м); l — длина канала на рассматриваемом участке (м); h_d — скоростной напор в канале (мм H₂O).

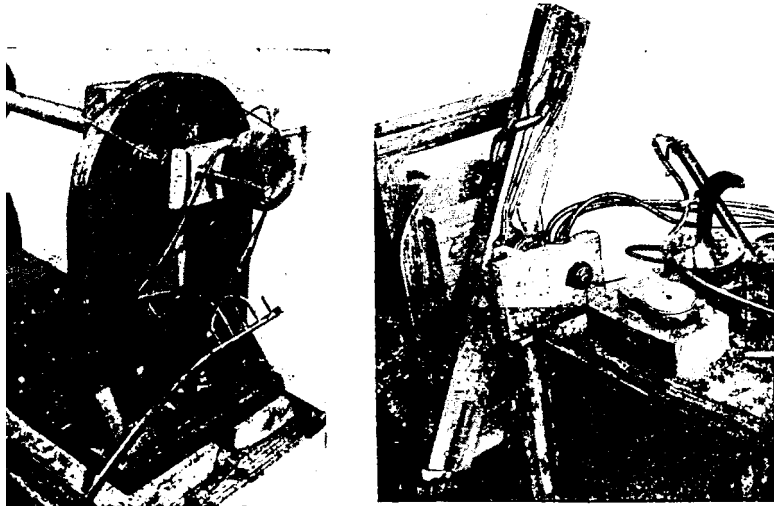


Рис. 5. Установка для определения коэффициента поля вращающегося канала

час, так как „пройти“ в наших условиях поле канала весьма малого сечения невозможно. При этом следует иметь в виду, что фиктивный коэффициент поля, представляющий собой отношение расхода воздуха, проходящего через канал, к расходу, определенному помощью измерительной трубочки в канале, может быть не только меньше единицы, но и равен единице и даже больше единицы.

Это будет зависеть от характера потока в канале, с одной стороны, и от положения измерительной трубочки в канале, с другой стороны.

Для определения коэффициента поля можно воспользоваться специальной установкой (рис. 5). Установка состоит из железной трубы (внутренний диаметр трубы равен 20 мм), вращающейся в подшипниках. Один конец железной трубы снабжен неподвижным коллектором для замера расхода воздуха; к другому концу трубы присоединен соединительный конус. На трубе устанавливается радиальный канал или канал каппы точно такого же выполнения, как на модели ротора. Каналы снабжены трубочками для замера статических и полных давлений.

При вращении эти каналы работают как элементарные вентиляторы. Воздух, засасываясь из окружающего пространства, проходит по железной трубе, затем поступает в канал и отсюда выбрасывается в атмосферу. Регулирование расхода производится вращением канала при различных скоростях. Определение расхода воздуха производится помощью замера показаний трубочки, установленной на неподвижном коллекторе ($h_{кол}$). Трубочка заделана заподлицо с внутренней поверхностью коллектора. Принимая на основании опытных данных потерю напора на участке от входа в коллектор до места расположения трубочки $h_{кол}$ равной 2% скоростного

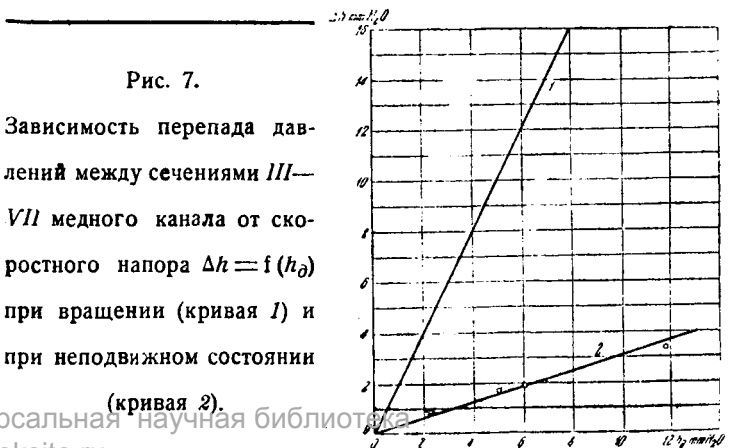


Рис. 7.

Зависимость перепада давлений между сечениями III—VII медного канала от скоростного напора $\Delta h = f(h_d)$ при вращении (кривая 1) и при неподвижном состоянии (кривая 2).

При испытании канала на вращение используется установка, изображенная на рис. 5. Картина распределения давлений по длине канала представлена на рис. 6.

Сопоставление данных испытаний медного канала в неподвижном состоянии и при вращении показывает, что перепад давлений в канале между двумя какими-нибудь взятыми точками при одном и том же расходе получается различным в условиях вращения и неподвижного состояния канала (рис. 7). Перепад давлений в каналах, полученный при испытании каналов в неподвижном состоянии, не дает возможности судить о расходе воздуха при вращении каналов на основании данных о перепаде при испытании в неподвижном состоянии. Другими словами, если при неподвижном состоянии канала установлена зависимость перепада от расхода $\Delta h = f(Q)$, то этой зависимостью нельзя пользоваться при вращении канала, как это может казаться на первый взгляд.

Результаты исследования вентиляции ротора

Модель ротора выполнена из отдельных склеенных между собой и запрессованных в отдельные пакеты листов авиационной фанеры. Как уже указывалось, в основу исследования положена одна половина ротора турбогенератора, причем самая модель ротора взята в поло-

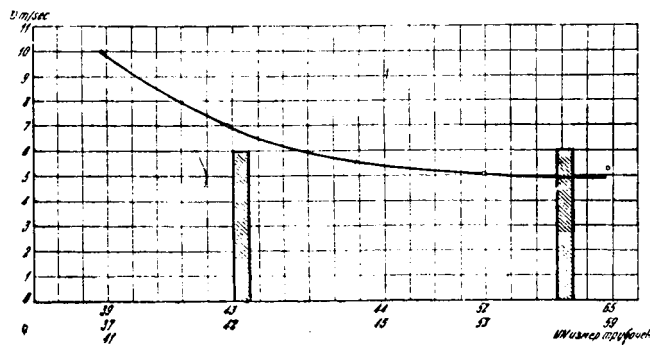


Рис. 8. Кривая распределения по радиальным панелям ротора в аксиальном направлении модели

винном масштабе по сравнению с размерами действительного ротора. С целью разделения общего количества воздуха, поступающего в машину, на количества воздуха, проходящие соответственно через вентиляционные системы статора и ротора, доступ воздуха к ротору имеет изолированное от статора выполнение. Воздух

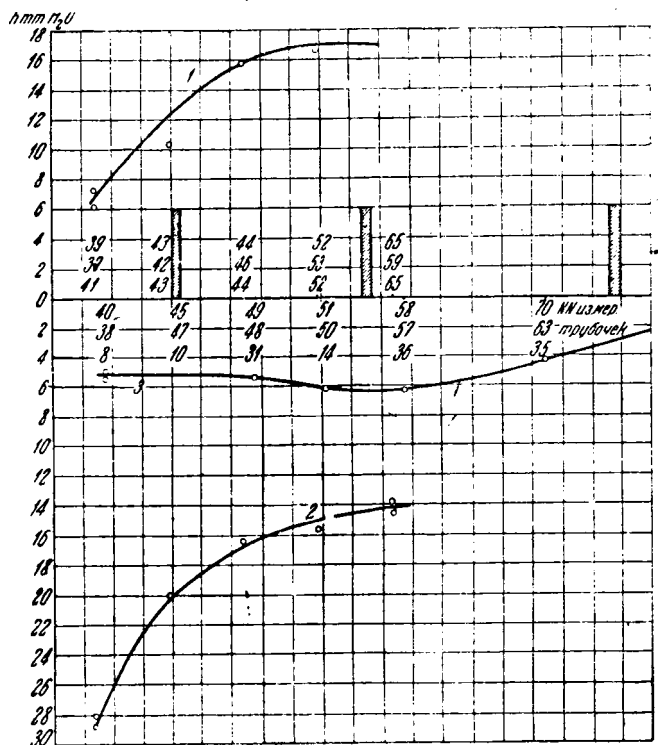


Рис. 9. Распределение давлений в аксиальном направлении модели ротора.

Кривая 1 — в верхней части радиальных каналов ротора;
Кривая 2 — в нижней части радиальных каналов ротора;
Кривая 3 — по подпазовому каналу

из окружающей атмосферы при вращении ротора засасывается каналами ротора через трубу, соединенную с камерой круглого сечения. Из камеры воздух поступает в разделительный конус, откуда через „окна“ в нажимном диске и через шлицы в теле ротора поступает в канал, образованный поверхностью тела ротора и обмоткой возбуждения. Часть воздуха по пути следования по этому каналу ответвляется в пространства, образованные между витками лобовых соединений обмотки ротора, и через отверстия в капле выбрасывается в камеру лобовых соединений обмотки статора. Эти пространства на модели составляют одно целое с отверстиями в капле, образуя таким образом, „каналы“ капли. Остальная часть воздуха,

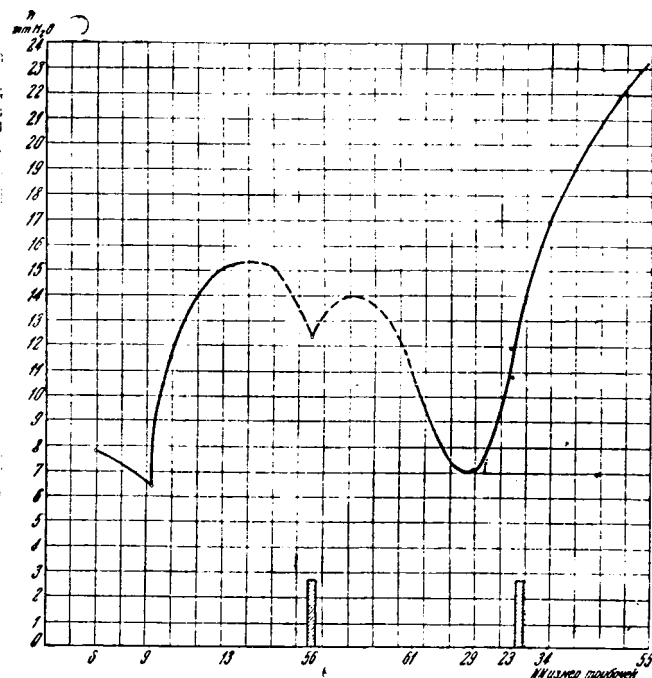


Рис. 10. Распределение давлений на поверхности бочки и капли модели. Участок пунктирной кривой проведен на основании теоретических соображений

поступившего под каплю, распределяется по подпазовым каналам, откуда через радиальные каналы в зубах ротора выбрасывается в воздушный зазор. Труба, через которую воздух поступает в каналы ротора, снабжена коллектором для уменьшения потерь при входе воздуха в трубу. На коллекторе установлена трубочка для замера давлений. Пользуясь ею, определяют количество воздуха, проходящее через ротор. Последнее находят из соотношения

$$Q_{рот} = 4 \sqrt{h} F \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (10)$$

где h — показания микроманометра, соединенного с измерительной трубочкой, и F — сечение трубы в месте замера давления (м^2).

Общий расход воздуха турбогенератора 55 MVA, 1 500 об/мин производства завода „Электросила“, установленного на Каширско грэс, по данным испытания ³⁾ составляет 36 $\text{м}^3/\text{сек}$.

Для того чтобы работа модели соответствовала действительным условиям, необходимо было установить, пользуясь законами подобия ⁴⁾, общий расход модели, т. е. количество воздуха, проходящее через статор и ротор модели, равным 1,65 $\text{м}^3/\text{сек}$. По опытным данным расход воздуха, проходящего через ротор, составлял при этом 0,09 $\text{м}^3/\text{сек}$ при статорном расходе, равном 1,56 $\text{м}^3/\text{сек}$. Таким образом роторный расход составляет 5,47% по отношению к общему расходу охлаждающего воздуха, проходящего через турбогенератор.

На основании данных испытания расход воздуха через отверстие в капле составляет 9,3% по отношению к роторному расходу.

Распределения скоростей и эффективных значений давлений в аксиальном направлении по радиальным каналам модели ротора, а также давлений по подпазовым каналам ротора и на поверхности центральной бочки и капли ротора приведены на рис. 8, 9 и 10.

Если потери в гладком роторе принять за 100%, то увеличение вентиляционных потерь благодаря рифлению и наличию аксиальных канавок в пазах ротора над клином, как показывают проведенные опыты, составляет в среднем 12,5%.

³⁾ См. техническое сообщение ВЭИ: Испытание турбогенератора 55 MVA, 1 500 об/мин.

⁴⁾ См. статью ииж. Н. П. Савина, Метод моделей в применении к исследованию вентиляции электрических машин, „Электричество“, № 3, 1934.

Значение вентиляционных потерь, обусловленных рифлением, применительно к действительному турбогенератору, может быть определено, пользуясь законом подобия, из соотношения

$$P_{турб} = P_{мод} \left(\frac{n_m}{n_m}\right)^3 \left(\frac{R_m}{R_m}\right)^5 = 30 \text{ kW.}$$

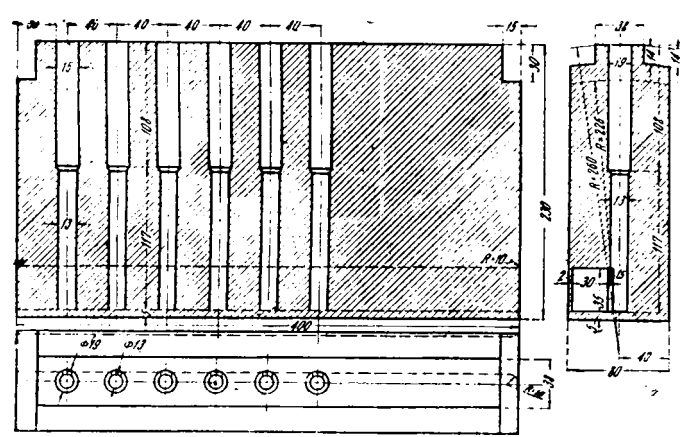


Рис. 11. Модель вентиляции ротора с выходом охлаждающего воздуха из подпазового канала в систему радиальных каналов

Здесь $P_{мод}$ — вентиляционные потери модели при данной скорости вращения; n_m — число оборотов модели в минуту, равное 1 100, n_m — число оборотов в минуту ротора турбогенератора, равное 1 500, R_m — отношение радиусов ротора турбогенератора и модели, равное 2.

В связи с этим уместен вопрос, насколько эффективно производить рифление ротора.

Здесь может быть высказано предположение, что та выгода, которая получается в результате рифления, — увеличение поверхности охлаждения ротора и уменьшение поверхностных потерь ротора — может быть компенсирована увеличением вентиляционных потерь.

Однако обстоятельный ответ на этот вопрос может быть получен лишь путем основательного исследования обтекания потоком тех кольцевых канавок, которые образуются рифлением ротора.

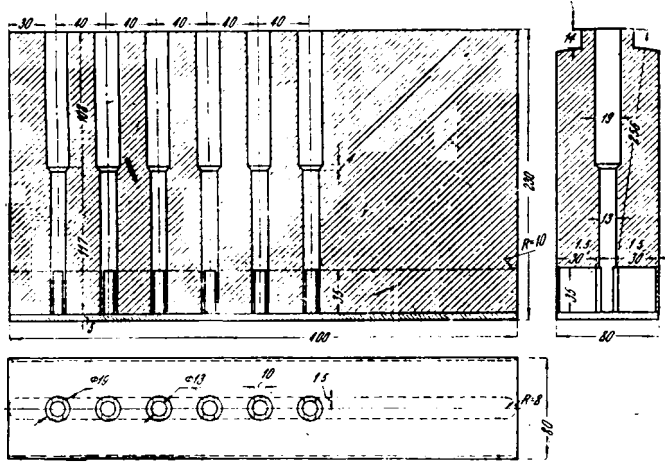


Рис. 12. Модель вентиляции ротора с выходом охлаждающего воздуха из двух подпазовых каналов в систему радиальных каналов

Для того чтобы установить влияние числа радиальных каналов ротора, были проведены опыты в условиях работы в атмосферу и последовательного закрытия по два ряда радиальных каналов со стороны каппы. При этом оказалось, что расход воздуха в рассматриваемом случае изменяется по прямой, уравнение которой в пределах открытия от 36 до 144 каналов:

$$y = \frac{(x - 36) \cdot 3030 \cdot 10^{-5}}{108} + 4020 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Здесь x — число открытых каналов, y — искомый расход.

Отсюда видно, что расход воздуха при различном числе открытых радиальных каналов не находится в прямо пропорциональной зависимости от числа работающих каналов. Так, при 144 работающих

каналах ротора расход составляет $7050 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$, в то время как при 72 работающих каналах расход равен $5020 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$, что составляет уже 71,2%.

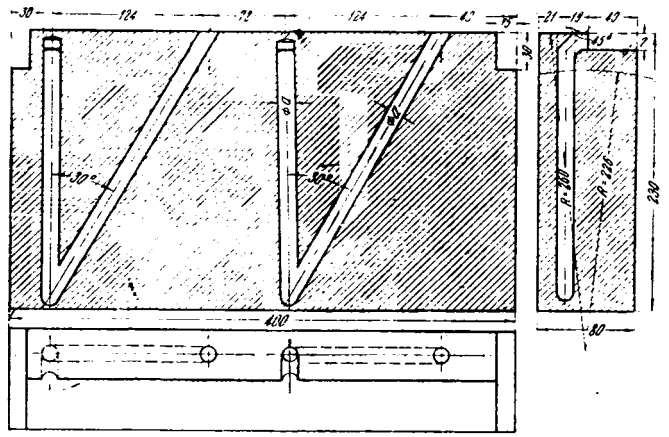


Рис. 13. Модель вентиляции ротора по Allis-Chalmers

Чтобы выяснить влияние формы вентиляционных каналов ротора на расход воздуха, проходящего через вентиляционную систему модели, были проведены исследования следующих четырех моделей: модель, представляющая систему подпазового и радиальных каналов ротора (рис. 11); модель, представляющая систему двух подпазовых

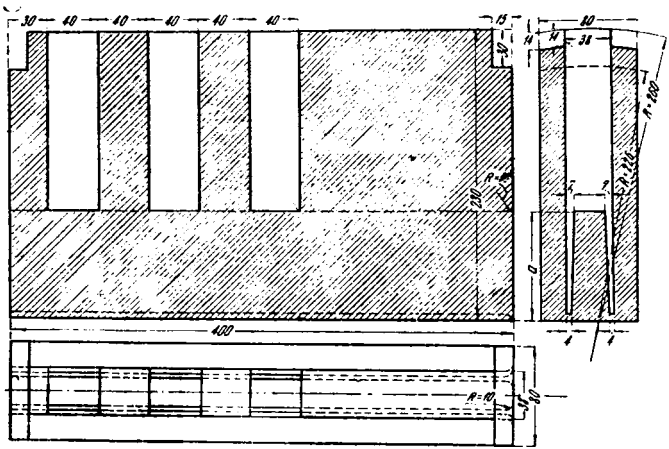


Рис. 14. Модель вентиляции ротора с выходом охлаждающего воздуха из аксиальных каналов в зубцах ротора в пазовые радиальные каналы

и радиальных каналов ротора с одновременным выходом воздуха из двух подпазовых каналов в радиальный канал (рис. 12); модель, несущая каналы, выполненные по Allis-Chalmers (рис. 13), и, наконец, модель, представляющая систему аксиальных каналов в узких зубцах ротора с выходом в сплошной радиальный канал (рис 14). Исследования проводились на специальной установке, изображенной на рис. 15.

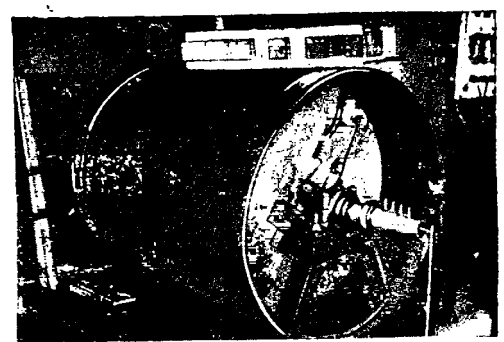


Рис. 15. Установка для определения влияния формы вентиляционных каналов ротора на расход воздуха. Наверху показана модель вентиляции ротора, выполненная по рис. 14

В результате испытаний получены следующие данные⁶⁾: расход воздуха для модели, имеющей выход воздуха из одного подпазового канала в систему радиальных каналов, составляет $1615 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$, причем скорости в широкой части радиальных каналов получают следующие значения: минимальная скорость $v_{\min} \approx 6 \text{ m/sec}$, максимальная скорость $v_{\max} \approx 12 \text{ m/sec}$.

Расход воздуха для модели с двумя подпазовыми каналами $2021 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$, при этом $v_{\min} \approx 9,5 \text{ m/sec}$ и $v_{\max} \approx 15,7 \text{ m/sec}$. Суммарный расход воздуха по каналам, выполненным по Allis-Chalmers, составляет $306 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$, причем скорость по каналу $v \approx 5,4 \text{ m/sec}$.

Суммарный расход для модели, несущей систему аксиальных каналов в узких зубах ротора, по данным опытов равен $3560 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$. При этом $v_{\min} = 7,35 \text{ m/sec}$ и $v_{\max} = 8,2 \text{ m/sec}$.

Сопоставление данных расходов по отдельным моделям приводит к выводу, что вентиляционная система последней модели является более рациональной в отношении расхода воздуха.

Приближенный метод расчета вентиляции ротора

Точный расчет вентиляции ротора представляет большие затруднения. Для практических целей, чтобы судить об эффективности той или иной системы вентиляции ротора, весьма важно знать то количество воздуха, которое способен прогнать ротор, работающий как вентилятор, через свою вентиляционную систему.

Основываясь на некоторых допущениях, расход воздуха, проходящего через ротор, можно определить из следующего соотношения:

$$h_{\text{ром}} = \Sigma \xi Q^2 \text{ мм H}_2\text{O},$$

где $h_{\text{ром}}$ — расчетный напор, развиваемый ротором как вентилятором; $\Sigma \xi Q^2$ — сумма потерь напора на отдельных участках вентиляционной цепи ротора; ξ — коэффициент потери напора, соответствующий рассматриваемому участку вентиляционной цепи ротора.

Напор, развиваемый ротором как вентилятором может быть определен из соотношения:

$$h_{\text{ром}} = \frac{\rho}{2} \omega^2 (R_2^2 - R_1^2) \text{ мм H}_2\text{O},$$

где ρ — плотность воздуха, равная $0,1223 \text{ kg sec}^2/\text{m}^4$; ω — угловая скорость (1/sec); R_2 — внешний радиус ротора (m); R_1 — радиус по основанию радиальных каналов ротора (m).

Сопоставление расчетных и опытных значений напора, развиваемого ротором, проведенное для модели ротора турбогенератора Thomson-Houston (рис. 16), дает достаточно удовлетворительное совпадение.

Ниже приводится пример, поясняющий сущность предлагаемого метода. Рассматривается работа специальной модели, выполненной по рис. 12. Испытание модели проведено по схеме, изображенной на рис. 16. По опытным данным расход воздуха, проходящего через канал, при $n = 1100 \text{ об/мин}$ составляет $1610 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}$. Расчетный напор, развиваемый каналами модели как элементарными центробежными вентиляторами равен, $52,3 \text{ мм H}_2\text{O}$ при следующих условиях: $n = 1100 \text{ об/мин}$, расстояние от оси вращения до входа в радиальные каналы 31 мм, расстояние от оси вращения до выхода из радиальных каналов 256 мм.

Потери напора на отдельных участках вентиляционной цепи модели в функции квадрата расхода воздуха, проходящего через модель:

1. Потеря напора при входе в подпазовый канал

$$h_1 = \xi_1 \frac{\rho v^2}{2} = 11,1 \cdot 10^3 \cdot Q^2,$$

где ξ_1 — коэффициент сопротивления при входе; ρ — плотность воздуха; $v = \frac{Q}{F_1}$ — скорость воздуха в подпазовом канале (m/sec); Q — расход воздуха (m^3/sec); F_1 — сечение подпазового канала (m^2).

2. Потеря напора на трение в подпазовом канале

$$h_2 = \frac{\lambda U_1}{4 F_1} l_1 \frac{\rho v_1^2}{2} = 27,35 \cdot 10^3 \cdot Q^2,$$

где λ — коэффициент трения; U — периметр сечения подпазового канала; l — длина канала.

⁶⁾ Приведенные данные относятся к испытаниям при $n = 1100 \text{ об/мин}$.

3. Потеря напора на поворот и смешение струй воздуха при входе в радиальные каналы из подпазового канала

$$h_3 = \left[0,6 + 0,35 \left(1 - \frac{v_1}{v_{\text{рк1}}} \right)^2 \right] \frac{\rho v_{\text{рк2}}^2}{2} = 83,7 \cdot 10^3 \cdot Q^2,$$

где $v_{\text{рк1}}$ — скорость воздуха в узкой части радиальных каналов.

4. Потеря напора на трение в узкой части радиальных каналов.

$$h_4 = \frac{\lambda U_{\text{рк1}}}{4 F_{\text{рк1}}} l_{\text{рк1}} \frac{\rho}{2} v_{\text{рк1}}^2 = 24,85 \cdot 10^3 \cdot Q^2.$$

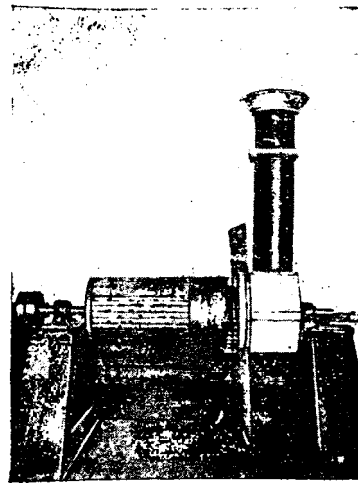


Рис. 16.

Модель ротора турбогенератора Thomson-Houston

5. Потеря напора на трение в широкой части радиальных каналов

$$h_5 = \frac{\lambda U_{\text{рк2}}}{4 F_{\text{рк2}}} l_{\text{рк2}} \frac{\rho}{2} v_{\text{рк2}}^2 = 5,175 \cdot 10^3 \cdot Q^2.$$

6. Потеря напора на переход из узкой части радиального канала в широкую часть

$$h_6 = \xi_6 \frac{\rho}{2} (v_{\text{рк1}} - v_{\text{рк2}})^2 = 10,9 \cdot 10^3 \cdot Q^2,$$

где ξ_6 — коэффициент потери напора в условиях внезапного расширения сечения.

7. Потеря напора на выход

$$h_7 = \xi_7 \frac{\rho}{2} v_{\text{рк2}}^2 = 21,2 \cdot 10^3 \cdot Q^2,$$

где ξ_7 — коэффициент напора при выходе струи воздуха из канала.

Суммарная потеря напора

$$h_{\text{ром}} = \Sigma \xi Q^2 = 184,3 \cdot 10^3 \cdot Q^2.$$

Расчетный расход воздуха, проходящего через модель,

$$Q = 1687 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sec}.$$

Таким образом расхождение между расчетным и опытным значениями расхода в рассматриваемом случае составляет 4,7%.

Для того чтобы показать пригодность предлагаемого метода приближенного расчета вентиляции ротора, в табл. 1 приводятся результаты расчета по определению расхода воздуха для следующих случаев:

- 1) канал каппы как элементарный центробежный вентилятор по схеме рис. 6;
- 2) канал, выполненный из меди, в условиях работы по схеме рис. 6;
- 3) модель ротора турбогенератора 50 MVA, 1500 об/мин завода „Электросила“ при работе ротора в атмосферу (рис. 3).

Таблица 1

	Опытное значение расхода воздуха m^3/sec	Расчетное значение расхода воздуха m^3/sec	% расхождения
Канал каппы	$84,1 \cdot 10^{-5}$	$87,5 \cdot 10^{-5}$	4
Канал из меди . . .	$98 \cdot 10^{-5}$	$106,7 \cdot 10^{-5}$	8,8
Модель ротора . . .	$10190 \cdot 10^{-5}$	$10730 \cdot 10^{-5}$	5,3

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Параметрическое возбуждение в электротехнике

Инж. С. И. Тетельбаум

Киев, Радиолaborатория НИС КЭИ

В последнее время научно-техническая мысль заинтересовалась вопросами применения для практических целей особенностей систем с переменными параметрами. Для электротехники сильных токов, повидимому, представляет интерес явление параметрического возбуждения, наблюдающееся в колебательных цепях с переменными параметрами.

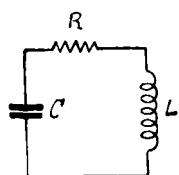


Рис. 1

Явление параметрического возбуждения заключается в следующем:

Пусть мы имеем колебательный контур (рис. 1), составленный из включенных последовательно самоиндукции, емкости и сопротивления L , C и R ; емкость в контуре мы можем менять, например, сдвигая и раздвигая обкладки конденсатора. Пусть в некоторый начальный момент конденсатор имел заряд q_0 (например, флюктуационного происхождения). Раздвинем в этот момент обкладки, уменьшив емкость на величину $\Delta C \ll C$. На это потребуется энергия, равная

$$\frac{1}{2} q_0^2 \left(\frac{1}{C + \Delta C} - \frac{1}{C} \right) \approx \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C^2} q_0^2.$$

Затем предоставим систему самой себе. Через четверть периода собственных колебаний контура, когда вся энергия перейдет в магнитную, сдвинем снова пластинки, увеличив емкость. Это не потребует никакой затраты энергии, ибо через четверть периода заряд конденсатора равен нулю. Еще через четверть периода конденсатор перезарядится. В этот момент снова раздвинем пластинки, снова дадим системе добавочную порцию энергии. Таким образом, меняя параметр—емкость—дважды за период, мы будем вкладывать энергию в колебательный контур. Это фактически—принцип электрофора. Заряд на обкладках конденсатора будет изменяться приблизительно по закону синуса:

$$q = q_0 \sin \omega t,$$

где ω —круговая частота собственных колебаний системы. Тогда в цепи будет проходить ток

$$i = -\frac{dq}{dt} = -q_0 \omega \cos \omega t.$$

Если вкладываемая в контур изменением параметра энергия больше, чем потери за то же время, ток и напряжение в системе будут возрастать. Ограничение нарастания амплитуд наступит при равенстве потерь и вкладываемой энергии, т. е. для ограничения амплитуды колебаний необходимо соответствующее увеличение относительных потерь в контуре или уменьшение степени изменения емкости при возрастании напряжений и токов в нем.

Потери за полупериод в колебательном контуре равны

$$\frac{I_0^2 R}{2} \frac{T}{2} = \frac{q_0^2 \omega^2 R}{2} \frac{T}{2}.$$

Значит, условие параметрического возбуждения в нашем случае

$$\frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C^2} q_0^2 > \frac{q_0^2 \omega^2 R}{2} \frac{T}{2}, \quad (1)$$

или обозначая

$$\frac{\Delta C}{C} = K$$

(степень изменения параметра) и помня, что

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}, \quad \text{а} \quad \frac{R}{2L} T = \delta_0$$

(логарифмический декремент затухания), получаем условие (1) в виде

$$K > \frac{\delta_0}{2},$$

т. е. для того чтобы параметрическое возбуждение имело место, относительное изменение параметра должно быть больше некоторого критического значения, пропорционального логарифмическому декременту затухания рассматриваемого колебательного контура.

Как показывает более точный анализ, для случая не скачкообразного, а гармонического изменения параметра, энергетическое условие возбуждения получается аналогичное, меняется лишь коэффициент, именно:

$$K > \frac{2}{\pi} \delta_0. \quad (2)$$

Параметрическое возбуждение можно, конечно, получить также и при периодическом изменении индуктивности цепи.

Как пример параметрического возбуждения при изменении самоиндукции можно трактовать, например, работу синхронного генератора или двигателя в качестве генератора при выключенном возбуждении.

При вращении ротора при переходе его полюсов от полюса к полюсу статора изменяются длина и сечение, а значит, и сопротивление магнитопроводящего пути для обмотки статора, что изменяет величину ее индуктивности. Частота изменения самоиндукции статора равна числу полюсов ротора $2p$, умноженному на количество оборотов в секунду $\frac{n}{60}$, т. е. вдвое больше частоты генерируемого тока $f = \frac{pn}{60}$. Таким образом и в этом случае параметр—индуктивность—меняется дважды за период.

Такой генератор может работать на сеть лишь параллельно с другими источниками переменного тока. Роль емкости колебательного контура исполняет сеть, от которой недовозбужденный генератор получает необходимый емкостный ток.

Конечно, синхронный генератор с выключенным возбуждением может работать и самостоятельно, будучи включен на батарею конденсаторов должной емкости. В этом случае колебательный контур образуется из индуктивности статора и емкости подключенных конденсаторов. Если собственная средняя частота колебаний этого контура будет равна половине частоте пульсаций параметра—индуктивности, наш генератор возбудится сам, и напряжение на его зажимах, начав с нуля, будет быстро возрастать.

Последнее было проверено автором экспериментально. Для эксперимента было взято два асинхронных двигателя (синхронная скорость 1500 об/мин) с беличьими колесами, тип И („Электросила“) мощностью 0,25 kW и „ЭМОС“ мощностью 0,15 kW, связанные жесткой муфтой. По образующим цилиндра ротора мотора типа И были профрезерованы 4 симметрично расположенные канавки шириной 12 мм и

полюса. Обмотка статора мотора типа *И* включалась на группы конденсаторов, соединенные треугольником (рис. 2). Надлежащая емкость конденсаторов в каждой фазе ($40 \div 60 \mu\text{F}$) подбиралась для данной скорости вращения и данного характера нагрузки экспериментально. При вращении ротора двигатель типа *И* гене-

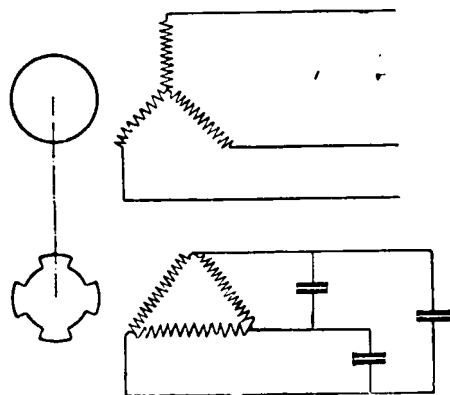


Рис. 2

рировал трехфазный ток. Амплитуда напряжения быстро нарастала до $200 \div 250 \text{ V}$. Дальнейшее нарастание амплитуды, по видимому, ограничивалось мощностью двигателя „ЭМОС“, скорость вращения которого значительно уменьшилась при увеличении нагрузки двигателем типа *И*.

Явление возникновения колебаний при периодическом изменении параметров колебательной системы наблюдалось еще в прошлом столетии на классическом опыте Мельде. Струна, одним концом прикрепленная к ножке звучащего камертона, начинала вибрировать вследствие периодического изменения натяжения ее, т. е. упругости механической колебательной системы. Элементарную теорию этого явления приводил еще Релей¹⁾ в 1883 г. Позднее исследованием этого явления занимался Раман²⁾ в 1902—1912 гг. и ряд других. Последние работы и ряд практических выводов принадлежат школе Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси.

Исследованием электрических цепей с периодически меняющейся под внешним воздействием самоиндукцией занимался проф. А. В. Круковский в 1909—1910 гг. в Киевском политехническом институте. А. В. Круковский в изданной в 1912 г. монографии³⁾ указал, что такие цепи при известных условиях могут являться генераторами электрической энергии.

Однако до недавнего прошлого непостоянства параметров в электрических колебательных цепях не учитывали. Процессы в колебательных цепях стремились упрощенно трактовать при помощи линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами даже в тех случаях, когда самое существование рассматриваемого явления было необходимым следствием непостоянства параметров.

В последнее время в разных областях науки внимание было привлечено рядом специфических особенностей колебательных систем, особенностей, объяснение и учет которых потребовали более углубленной математической трактовки. Например, явление качания роторов синхронных машин⁴⁾, работа лампового генератора, регенеративного приемника⁵⁾, в области

механических колебаний—выбрасывание тормозных колодок, работа ряда музыкальных инструментов, вибрация частей самолета; в области ботаники—периодичность диффузионных процессов в растениях, в физиологии—пульсация сердечной мышцы, флюктуации видов животных и растений⁶⁾.

Анализ уравнений, описывающих эти процессы, позволил сделать ряд заключений, оказавшихся практически ценными.

Особые явления, свойственные колебательным цепям с непостоянными параметрами, согласно терминологии акад. Л. И. Мандельштама и проф. Н. Д. Папалекси называют явлениями параметрическими⁷⁾.

Параметрические явления согласно упомянутой терминологии подразделяются соответственно характеру функциональной зависимости параметров. Если параметры или один из параметров колебательной системы есть некоторая функция процесса в системе и не являются непосредственной функцией времени, говорят, что процесс носит „самопараметрический“ характер, что процесс автопараметрический. Автопараметрические процессы, таким образом, описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. Например, в случае цепи, содержащей катушку с железным сердечником, самоиндукция которой, как известно, вследствие явления насыщения есть функция проходящего по ней тока $L = f(I)$, уравнение цепи будет иметь вид

$$L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt} + RI + \frac{1}{C} \int Idt = U. \quad (3)$$

Теория и практика автопараметрии дали уже ряд ценных применений, в особенности в радиотехнике.

Укажем на „автопараметрические“ фильтры, позволившие значительно уменьшить влияние атмосферных помех при радиотелеграфном приеме, явление субтональных „параметрических резонансов“, применимое в технике измерений для стабилизации ламповых генераторов и др.

Наиболее часто переменным оказывается сопротивление. В этом случае дифференциальное уравнение цепи записывают, например, так:

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + R \left(q, \frac{dq}{dt} \right) \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = U, \quad (4)$$

где L — индуктивность цепи, $R \left(q, \frac{dq}{dt} \right)$ — сопротивление, C — емкость, q — заряд, U — внешнее напряжение. Если это напряжение синусоидально с круговой частотой ω_1 , то введя для сокращения

$$\frac{1}{L} R \left(q, \frac{dq}{dt} \right) \frac{dq}{dt} = 2 \mu \delta (q, q'),$$

получаем дифференциальное уравнение (4) в виде

$$q'' + 2 \mu \delta (q, q') + \omega_0^2 q = U_0 \sin \omega_1 t. \quad (5)$$

Здесь $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — собственная частота системы

при $\mu = 0$, т. е. при $R = 0$. Решения и свойства этого дифференциального уравнения тем более отличаются от линейного уравнения (при $\mu = 0$), чем больше μ . Обычно системы, для которых μ невелико, называют колебательными системами томсоновского типа (их собствен-

¹⁾ Rayleigh, On Maintained Vibrations, „Phil. Mag.“, Apr. 1883.

²⁾ Román, Some Remarkable Cases of Resonance, „Phys. Rev.“, 1912.

³⁾ Круковский, Цепь переменного тока при периодическом изменении коэффициента самоиндукции, Киев, 1912.

⁴⁾ См., например, Ollendorf u. Peters, Schwingungsstabilität parallelarbeitender Synchronmaschinen. Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern, 1925—1926.

⁵⁾ См., например, А. Андронов и А. Витт, К математической

⁶⁾ Wan-der-Pol, Синусоидальные колебания и колебания релаксации, „Бюллетень Французского общества электриков“, 1930 (французского оригинала не имею. С. Т.).

⁷⁾ Н. Д. Папалекси, о некоторых современных проблемах в области колебаний, „Успехи физических наук“, 1931, вып. 2; Л. И. Мандельштам, Вопросы электротехнических колебательных систем и радиотехники, „Успехи физических наук“, 1933, вып. 2; В. Г. Вилин, О классификации колебательных систем и про-

ная частота достаточно точно определяется по формуле $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, а решение приближается к синусоиде).

Системы, для коих μ велико, называют системами неомсоновского типа. К ним относятся и системы релаксационные, в которых отсутствует очевидный сосредоточенный резервуар энергии емкость или индуктивность. Решения их, вообще говоря,—сложная кривая, иногда периодическая.

Характер зависимости переменного параметра, например, C , L или R от I или U может быть различный.

Если разложение в ряд, например, функции $L = f(I)$ по степеням I

$$L = L_0 + \alpha I + \beta I^2 + \dots + \xi I^n$$

содержит $n + 1$ членов, говорят, что „нелинейность“ процесса и системы — n -го порядка. При анализе обычно ограничиваются определенной степенью нелинейности, пренебрегая влиянием высших членов, которое в большинстве практических случаев быстро убывает с повышением степени.

К линейным системам, как известно, неприменим принцип суперпозиции.

Анализ уравнения (5) для линейности третьего порядка был сделан Ван дер-Полем и др. Анализ уравнения и пример подсчета для функциональной зависимости параметра, содержащей члены до пятой степени, был проделан Мандельштамом и Папалекси⁸⁾. Общая схема анализа уравнения (5) была выполнена Н. М. Крыловым и Боголюбовым⁹⁾.

Примеры параметрического возбуждения, приведенные в начале статьи, относятся к другой группе параметрических явлений. Изменение параметра производится извне, вообще говоря, независимо от токов и напряжений системы.

Если параметры или один из параметров колебательной системы не зависят от процессов в системе, но есть независимые функции времени, говорят, что система—„посторонне-параметрического“ характера, что процесс—гетеропараметрический.

Всем известный пример гетеропараметрических явлений—раскачивание качелей ритмически приседающим на них человеком. Тут ритмически (т. е. в функции времени) меняется момент инерции маятника (качелей), соответствующий массе (или индуктивности), и длина маятника, определяющая его свойства, соответствующие упругости (или обратной величине емкости).

В большинстве случаев встречаются параметрические системы смешанные, авто- и гетеропараметрического характера одновременно с большим или меньшим влиянием их в разных фазах процесса.

Для практики наиболее интересен случай гетеропараметрической системы, в которой параметры суть периодические функции времени. В этом случае процесс описывается линейным дифференциальным уравнением с периодическими коэффициентами, например, в случае переменной индуктивности

$$\frac{d}{dt} (LI) + RI + \frac{1}{C} \int Idt = U. \quad (6)$$

Если самоиндукция колебательного контура меняется по гармоническому закону вокруг некоторого среднего значения L_0 с круговой частотой ω , то в уравнении (6)

$$L = L_0 (1 + K \sin \omega t)$$

при определенных условиях в гетеропараметрической системе возникают колебания, т. е. имеет место параметрическое возбуждение.

Анализ уравнения гетеропараметрического контура приведен Андроновым и Леонтовичем¹⁰⁾ и применительно к параметрической трансформации частоты Н. Д. Папалекси¹¹⁾.

Из анализа следует, что при некоторых значениях частоты ω изменения параметра решения имеет вид периодической функции с возрастающей по экспоненциальному закону амплитудой. Такие решения называют нестабильными, а интервалы частоты изменения параметра, соответствующие нестабильным решениям,—интервалами нестабильности.

Первый интервал нестабильности имеет место вблизи соотношения $\omega \approx 2\omega_0$, где $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, занимая неко-

торую непрерывную полосу частот по обе стороны от частоты $\omega_1 = 2\omega_0$. Физическую картину параметрического возбуждения на половинной частоте, т. е. в первом интервале нестабильности, мы пояснили в начале статьи. Первый интервал нестабильности практически наиболее интересен, так как ширина следующих интервалов нестабильности (второго при $\omega = \omega_0$, третьего при $\omega = \frac{\omega_0}{2}$ и т. д.) быстро уменьшается. Кроме того,

энергетическое условие существования нестабильного решения, определяемое для первого интервала нестабильности в виде

$$K > \frac{2}{\pi} \delta_0,$$

где

$$\delta_0 = \frac{R}{2L_0}; T \rightarrow \frac{R}{\omega_0 L_0},$$

для последующих интервалов становится все менее выгодным, т. е. для существования следующих интервалов нестабильности необходимы все большее относительное изменение параметра и меньший логарифмический декремент затухания колебательного контура.

Так как гетеропараметрическое возбуждение наблюдается лишь в узких интервалах частот изменения параметра, явления иногда по аналогии с обычным резонансом называют „параметрическим резонансом“. Теоретически при параметрическом резонансе токи и напряжения в системе должны возрасти безгранично. В практических схемах амплитуда возбужденных колебаний достигает некоторой стационарной величины, дальнейшее нарастание прекращается, колебания становятся стабильными.

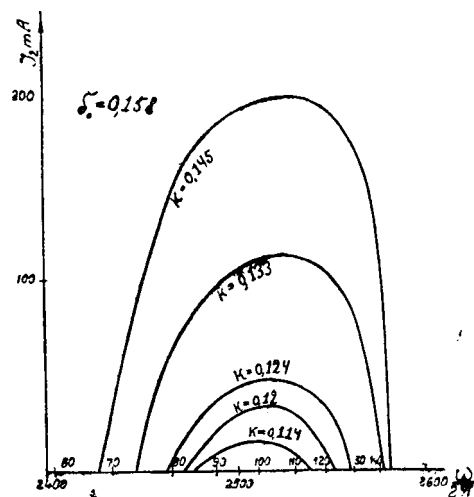


Рис. 3

⁸⁾ Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси, О явлениях резонанса n -го рода, Журнал прикладной физики, 1932, вып. 7—8.

⁹⁾ Kryloff et Bogoliuboff, „Comptes Rendus“, t. 194, pp. 1067—1110.

¹⁰⁾ А. Андронов и М. Леонтович, О колебаниях системы с периодически меняющимися параметрами, Ж. Р. Ф.-Х. О., часть физическая, 1927, вып. 6—6.

¹¹⁾ Н. Д. Папалекси, Отчет по наряду № 1472 ЦРЛ ВЭСО, стр. 27—28.

При изменении частоты ω изменения параметра в пределах интервала неустойчивости в практических схемах изменяется и величина стационарной амплитуды возбужденных колебаний, достигая максимума при $\omega = 2\omega_0$.

Графические зависимости величины возбужденных токов от частоты называют иногда по аналогии с обычным резонансом „резонансными кривыми параметрического резонанса“.

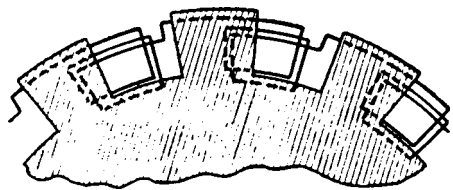


Рис. 4

Характерные „резонансные кривые“, заимствованные из упоминавшегося нашего экспериментального исследования, приведены на рис. 3. Кривые имеют характерную эллиптическую форму с крутым спадом по краям. Ширина резонансной кривой увеличивается с увеличением степени изменения параметра.

Ограничение нарастания возбужденных гетеропараметрических токов есть результат наличия в схеме автопараметрической зависимости. При нарастании колебаний повышается мощность, потребная для изменения параметра, степень изменения при ограниченной мощности источника, модулирующего параметр, падает, либо изменяется частота модуляции, и нарастание колебаний прекращается. Ограничение нарастания вызывается также тем, что в большинстве практических схем относительная величина потерь с увеличением токов и напряжений возрастает, т. е. увеличивается декремент затухания.

Явление гетеропараметрического возбуждения может быть использовано для конструирования специальных электрических генераторов. Представим себе катушку самоиндукции L . Если к ней поднести другую катушку, замкнутую накоротку, то индуктивность первой катушки уменьшится вследствие влияния токов, индуктируемых во второй катушке. В качестве второй катушки может служить массивная пластина из хорошо проводящего материала, в этом случае токи второй катушки будут токами Фуко. Статор гетеропараметрического генератора можно собрать из m включенных последовательно плоских катушек, с железным сердечником или без него, расположенных по окружности симметрично (рис. 4).

Ротор генератора может состоять из алюминиевого диска с зубцами (на рис. 4 заштрихован) или вырезами соответственно числу катушек и их расположению на статоре. При вращении ротора индуктивность катушек будет больше или меньше в зависимости от того, вырез или металл ротора находится вблизи них. Соединив обмотку статора с конденсаторами надлежащей емкости, можно получить в образовавшемся колебательном контуре при вращении ротора эффект гетеропараметрического возбуждения. Частота возбужденной э. д. с. $f = \frac{mn}{2}$, где n —число оборотов ротора в минуту.

По имеющимся у нас сведениям в ГФТИ (Ленинград) работает специальная конструкторская бригада под руководством проф. Н. Д. Папалекси, разрабатывающая машину на таком принципе. Небольшие макеты развивали мощность в сотни ватт.

Эффект гетеропараметрического возбуждения может быть также использован для уменьшения частоты переменного тока вдвое. Как известно, проблема по-

нижения частоты тока с высоким к. п. д. без вращающихся преобразователей весьма интересна, например, для электротягового дела. Понижение частоты переменного тока даже с небольшими к. п. д. может быть полезно в лабораторной практике для управления ионными преобразователями и других целей. В радиотехнике гетеропараметрическое деление частоты может быть использовано аналогично автотетрическому в фильтрах для телеграфного приема.

Трансформация частоты переменного тока высокой частоты была осуществлена в ЦРЛ и по предложению проф. Н. Д. Папалекси экспериментально исследована нами в лаборатории Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси (ЦРЛ ВЭСО) в Ленинграде в 1931 г.

Трансформация тока технической частоты 50 Hz в ток 25 Hz была осуществлена нами в радиолaborатории Киевского энергетического института в 1932 г.

Применявшиеся (как и в работах Винтер-Гюнтера, Геегнера) схемы принципиально аналогичны. Периодическое изменение самоиндукции вторичной обмотки L_2 трансформатора достигалось тем, что изменялся коэффициент магнитной проницаемости железа сердечника. Для этой цели через добавочные обмотки L_0, L_1 пропускался постоянный ток I_0 , величиной которого выбиралось положение рабочей точки на магнитной характеристике сердечника (в области насыщения), и переменный ток I_1 , частоту которого желательно уменьшить вдвое. Вторичная обмотка включалась на конденсаторы такой емкости, что образовавшийся колебательный контур имел собственную (среднюю) частоту колебаний вдвое меньше частоты трансформируемого тока. Параллельно или последовательно подключался потребитель, рассчитанный так, что декремент генерирующего контура соответствовал условиям гетеропараметрического возбуждения. Для компенсации непосредственно трансформируемой во вторичную обмотку э. д. с. частоты первичного тока два аналогичных устройства включались согласно схеме рис. 5 так, что индуктируемые во вторичных цепях э. д. с. были взаимно противоположны.

Поясним работу схемы. Самоиндукция вторичной обмотки—функция магнитного состояния железа сердечника, т. е. функция токов, протекающих по всем обмоткам, навитым на сердечник, $L = f(I)$. Эта функция может быть найдена экспериментально или для данного сердечника построена из кривой намагничивания материала. Соответствующая кривая для установки, применявшейся автором в лаборатории Папалекси-

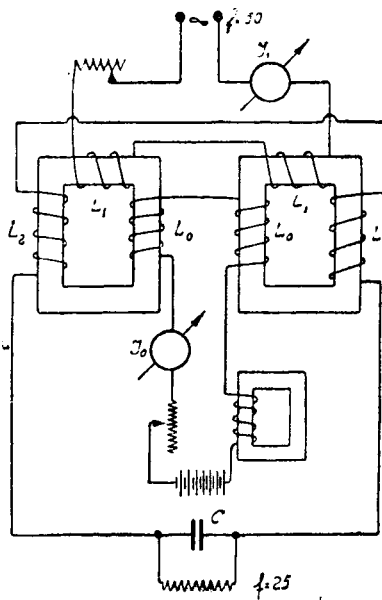


Рис. 5

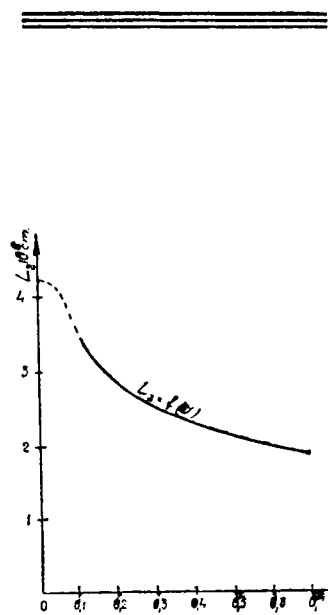


Рис. 6

Мандельштам, приведена на рис. 6. Самоиндукция вторичной обмотки представлена в виде функции от токов, приведенных к первичной обмотке.

Приводя постоянный и переменный первичные токи к одной обмотке, можно написать, что ток, протекающий через нее,

$$I = I_0 + I_1 \sin \omega t.$$

Подставляя последнее выражение в $L = f(I)$ и разлагая в ряд, получаем

$$\begin{aligned} L &= f(I_0) + f'(I_0) I_1 \sin \omega t + \frac{1}{2} f''(I_0) I_1^2 \sin^2 \omega t + \dots = \\ &= L_0 + L_1 \sin \omega t + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \right) L_2 + \dots \end{aligned}$$

Ограничиваясь первыми двумя членами (считая $L = f(I)$ в рабочем интервале прямолинейной функцией), получаем

$$L = L_0 + L_1 \sin \omega t,$$

а глубина модуляции самоиндукции

$$K = \frac{L_1}{L_0 + L_2} = I_1 \frac{f'(I_0)}{f(I_0) + L_2},$$

где L_2 —самоиндукция остальных частей вторичной цепи схемы.

При работе в ЦРЛ соответствующие величины были

$$I_0 = 0,5 \text{ A}; f(I_0) = 225 \cdot 10^4 \text{ cm}; f'(I_0) = -0,19 \cdot 10^4 \text{ cm/mA}; L_2 = 60 \cdot 10^4 \text{ cm}$$

и отсюда

$$K = 0,00096 I_1,$$

где I_1 выражен в миллиамперах.

При осуществлении гетеропараметрической трансформации в КЭИ в 1932 г. автором были использованы два идентичных трехкиловольтамперных трансформатора. Конденсатор $C = 100 \div 150 \mu\text{F}$, $I_0 = 5 \div 15 \text{ A}$, $I_1 \approx 10 \text{ A}$, полезная мощность на 25 Hz—около 300 W, к. п. д.—около 15%. Работа эта была проведена в лаборатории КЭИ попутно при разработке телевизионных аппаратов, где требовался ток в 25 Hz для питания синхронного двигателя синхронно с силовой сетью 50 Hz. За недостатком времени не были сняты характеристики схемы и осциллограммы токов и напряжений. Частотомер вторичной цепи регистрировал частоты 25 Hz и обычно с амплитудой, в несколько раз меньшей 75 Hz. Наибольший к. п. д. получался при $I_0 = 5 \div 7 \text{ A}$ и $I_1 = 10 \div 12 \text{ A}$. При этом, конечно, характер изменения параметра был не гармонический, а определялся более сложной периодической функцией. При некоторых величинах первичных токов и емкости C вторичный процесс принимал пульсирующий характер с кажущимся периодом от долей секунды до нескольких секунд. Частотомер регистрировал большое количество частот. Более детальное исследование гетеропараметрического трансформатора предположено произвести в ближайшее время.

Гетеропараметрический трансформатор принципиально можно построить, используя для осуществления переменной емкости конденсаторы с диэлектриком из сегнетовой соли, диэлектрическая постоянная которой, как показал Вологдин¹²⁾, в некотором узком температурном интервале значительно меняется с изменением электрической индукции в ней.

Однако вследствие плохой теплопроводности и большого угла потерь для сегнетовой соли такие конденсаторы для избежания перегрева можно нагружать лишь небольшой мощностью, что затрудняет практическое использование их. Возможно, что практический интерес представляют другие препараты, для которых также наблюдается эффект, открытый Вологдиным.

Повышение к. п. д. гетеропараметрического трансформатора—это, очевидно, вопрос рационального его конструирования и выбора надлежащих материалов. Можно вывести общие формулы, определяющие максимальный теоретически возможный к. п. д. при наших материалах известного качества и для данной частоты. Это можно сделать, определив объем железа по потребной самоиндукции и рабочему интервалу магнитной характеристики, а также количество меди—по потребным ампервиткам и плотности энергии в ней, и подсчитав затем общие потери. Равным образом можно вычислить оптимальные соотношения частей гетеропараметрического трансформатора и объединить оба трансформатора приведенной схемы в один с более сложным сердечником.

Следует учитывать практически значительное отклонение закона изменения параметра от простейшего случая изменения по синусоиде.

Гетеропараметрический генератор или трансформатор может работать и как синхронный генератор без возбуждения и без специальных емкостей. В этом случае генератор должен работать параллельно с другими машинами на общую сеть надлежащей частоты. Трансформатор или генератор будет брать из сети ток должной фазы (сдвиг фаз определится активными потерями в нем и глубиной модуляции самоиндукции), поставляя при определенных условиях энергию в сеть.

Ток, циркулирующий через индуктивность и емкости колебательного контура гетеропараметрического генератора или трансформатора, значительно (порядка

в $\frac{\pi}{\delta_0}$ раз) больше, чем ток в параллельно включенном омическом сопротивлении нагрузки. Индуктивность гетеропараметрического контура принципиально должна нагружаться большим реактивным током, работать при малом коэффициенте мощности.

Известно, например, что синхронный генератор без возбуждения берет от сети намагничивающий ток, т. е. нагружает сеть, как индуктивность. Коэффициент мощности при этом невелик, и отдаваемая мощность значительно ниже номинальной мощности машины.

Поэтому по нашему мнению для устройств, основанных на использовании явления параметрического возбуждения в колебательных контурах, нельзя ожидать хорошего использования материалов и высокого к. п. д. Такие устройства могут найти применение лишь в тех случаях, где получение высоких к. п. д. не является обязательным условием, где в первую голову ценится, так сказать, качество, вид полученной энергии. Гетеропараметрический генератор, пожалуй, имеет известные конструктивные преимущества, позволяя конструировать машины без железа с легким ротором. Возможно, что рациональным окажется применение параметрического возбуждения для получения токов высоких напряжений, например, для лабораторных целей. При параметрическом возбуждении затруднительна регулировка напряжения. Изменение сопротивления нагрузки неизбежно связано с изменением величины стационарной амплитуды. Изменение частоты пульсации параметра или средней самоиндукции и емкости генерирующего контура легко выводит систему из интервала возбуждения, и параметрические колебания прекращаются. Так, например, при осуществлении в КЭИ гетеропараметрической трансформации частоты увеличение параллельно включенного нагрузочного сопротивления с 200 до 300 Ω влекло за собой повышение напряжения с 100 до 300 V.

Изменение емкости контура на $3 \div 4 \mu\text{F}$, т. е. примерно на 3% от величины, соответствовавшей максимальной амплитуде, обычно прекращало параметрическое возбуждение, и напряжение в контуре падало до нуля.

В заключение остановимся на любопытном случае гетеропараметрического возбуждения как явления вредного, имевшем место в КЭИ в 1932 г.

Инж. Костюк включил для испытания батарею высоковольтных косинусных конденсаторов, изготовляемых в КЭИ, на генератор повышенной частоты—500 Hz.

При пуске машины оказалось, что, несмотря на то, что возбуждение генератора было включено, в контуре, составленном из обмотки статора и испытуемых конденсаторов, возникли значительный переменный ток и напряжение, значительно превосходящее нор-

мальное рабочее. Случайно собственная средняя частота получившегося колебательного контура и скорость вращения генератора соответствовали условиям гетеропараметрического возбуждения. В схеме переменным параметром являлась самоиндукция статора, менявшаяся при вращении ротора от зубца к зубцу.

Возможно, что ряд аварий электрооборудования произошел вследствие гетеропараметрии, как от обычного резонанса. Поэтому электрику-конструктору и экспериментатору следует знать и учитывать это явление.

Существенно, что гетеропараметрический резонанс на половинной частоте наступает при значительной разности собственной частоты колебательной цепи и частоты воздействия, т. е. тогда, когда обычно считают возможность явлений исключенной.

23/1 1934 г.

Динамическая характеристика дуги

(К расчету выключателей постоянного тока)

Проф. А. П. Черевков
Сочи

Опубликованный за последнее время материал по гашению длинных дуг в выключателях дает некоторые возможности к более детальному изучению гашения дуги постоянного тока. Одним из препятствий к исследованию гашения дуги в выключателе служит отсутствие опытных данных для вольтамперной характеристики длинной дуги в разных стадиях ее развития, так как мы имеем лишь опытный материал по предельным дугам гашения.

Однако путем следующего рассуждения можно доказать, что указанные опытные данные представляют устойчивые точки статической характеристики дуги. В самом деле, процесс выключения на основании количественного рассмотрения длинной дуги в настоящей статье представляется в следующем виде: при данной большой скорости расхождения контактов и последующего интенсивного раздувания дуги дуга быстро проходит ряд точек статических характеристик, которые все являются неустойчивыми (рис. 3), так как длина дуги благодаря дутью непрерывно увеличивается, и только на последней стадии длина дуги благодаря спаданию дутья от резкого уменьшения тока остается постоянной, и на ней и происходит гашение дуги. Таким образом эта предельная длина дуги в выключателе является устойчивой точкой вольтамперной характеристики дуги данной длины. Поэтому,

объединяя все известные точки гашения дуг в выключателях, можно получить все устойчивые точки статических характеристик длинных дуг.

Такая работа мною и проделана (рис. 1) по данным Рота и Кессельринга¹⁾, и построена сеть статических характеристик; соответствие данных разных опытов подтверждает правильность намеченного пути рассмотрения вопроса. Конечно, эти данные носят лишь грубо приближенный характер (например, в формуле Рота $I = \beta I^{0,6}$, показатель на его диаграмме равен 0,525, а не 0,6), но все же их достаточно для более подробного рассмотрения динамической характеристики дуги при выключении.

1. О линейных процессах на вольтамперной диаграмме. Прежде чем перейти к изложению способа построения динамической характеристики гашения дуги, отметим нужные для этого характеристики линейного процесса замыкания на вольтамперной диаграмме, так как это значительно упрощает способ построения, а также дает новый упрощенный вывод примитивной формулы выключения.

В уравнении выключения

$$L \frac{di}{dt} + ri = E$$

мы будем считать процесс выключения линейным, и положим поэтому

$$i = A - Bt,$$

что после подстановки даст

$$-BL + r(A - Bt) = E,$$

$$r = \frac{E + BL}{A - Bt}.$$

Постоянные определили из условий

$$r = r_0 \text{ для } t = 0$$

и

$$r = \infty \text{ для } t = t_0,$$

что даст

$$r_0 = \frac{E + BL}{A}, \quad A - Bt_0 = 0;$$

следовательно, получится

$$A = Bt_0,$$

$$E + BL = Bt_0 r_0,$$

$$B(t_0 r_0 - L) = E,$$

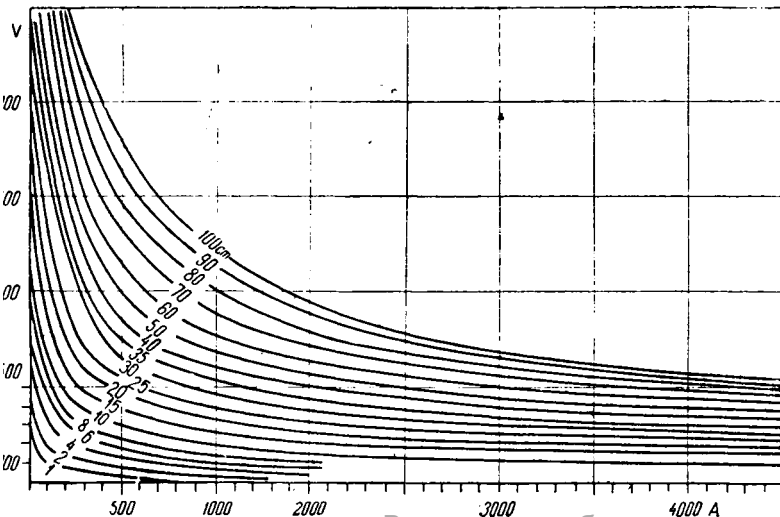


Рис. 1. Устойчивые точки статических характеристик дуг выключе-

¹⁾ Эти данные, как и разобранный далее пример, приведены в книге Г. Третьяка „Электрическая дуга“, содержащей обиль-

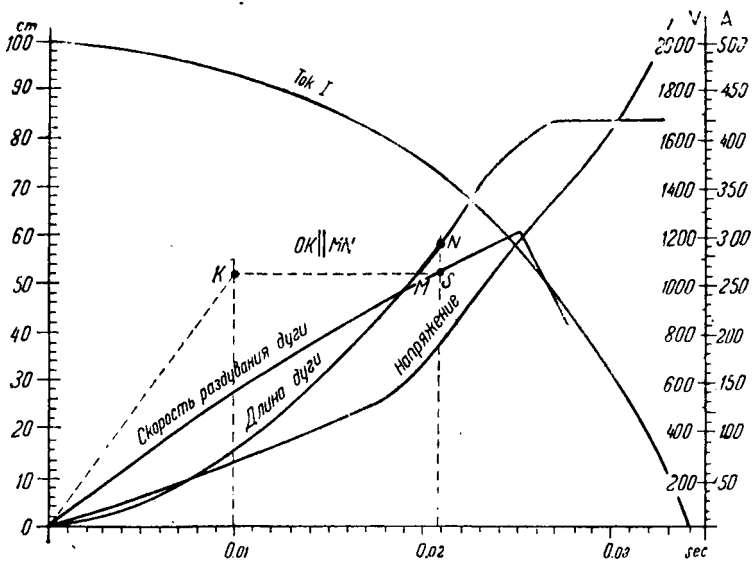


Рис. 2. Гашение дуги контактором, ток 500 А, напряжение 650 В, $L = 40$ мН и перенапряжение 2200 В

и найдем значения постоянных

$$A = \frac{Et_0}{t_0 r_0 - L}, \quad B = \frac{r r_0}{t_0 r_0 - L}.$$

Тогда получается

$$i = \frac{E(t_0 - t)}{t_0 r_0 - L},$$

$$r = \frac{t_0 r_0}{t_0 - t},$$

$$r - r_0 = \frac{t r_0}{t_0 - t},$$

так как

$$E + BL = E + \frac{EL}{t_0 r_0 - L_0} = E \frac{t_0 r_0}{t_0 r_0 - L}$$

и поэтому

$$r = \frac{E + BL}{i},$$

т. е. ri постоянно. Определим напряжение при выключении

$$e = (r - r_0)i = \frac{Er_0 t}{t_0 r_0 - L}$$

и его наибольшее значение

$$e_0 = \frac{Er_0 t_0}{t_0 r_0 - L} = \frac{E}{1 - \frac{L}{t_0 r_0}},$$

хорошо известное выражение, но получаемое обычно очень сложным интегрированием.

Далее, найдем

$$e + r_0 i = ri = E + BL = \frac{E}{1 - \frac{L}{r_0 t_0}}$$

или, обозначая $i_0 = \frac{Et_0}{t_0 r_0 - L}$ — линейный закон процесса выключения на вольтамперной диаграмме:

$$e = r_0(i_0 - i).$$

Таким образом линейному изменению (по прямой) процесса выключения на вольтамперной диаграмме будет соответствовать линейное же изменение тока i во времени. Это свойство является очень важным для построения динамической характеристики; всю кривую процесса выключения можно разбить на ряд прямолинейных отрезков и для каждого без особой погрешности определить соответствующее изменение тока i во времени, считая его также прямолинейным.

2. Построение динамической характеристики гашения дуги. Мы рассмотрим пример гашения дуги постоянного тока контактором старого типа, так как является возможность проверить наши выкладки на приведенной в указанной книге диаграмме. Скорость расхождения контактов принята 10 см в 0,01 сек., скорость раздувания дуги магнитным дутьем—30 см в 0,01 сек. Отложив эти величины и проведя начальные прямые (рис. 2) для длины дуги и ее скорости раздувания, заметим, что кривая скорости будет мало отличаться от прямой, так как спадение дутья благодаря гистерезису запаздывает и вообще мало выражено, вплоть до достижения устойчивой точки дуги (в данном случае для начальных тока 500 А и напряжения 650 В—84 см как опытная данная). Длина же дуги получается графическим интегрированием этой кривой (для точки дуги N находим

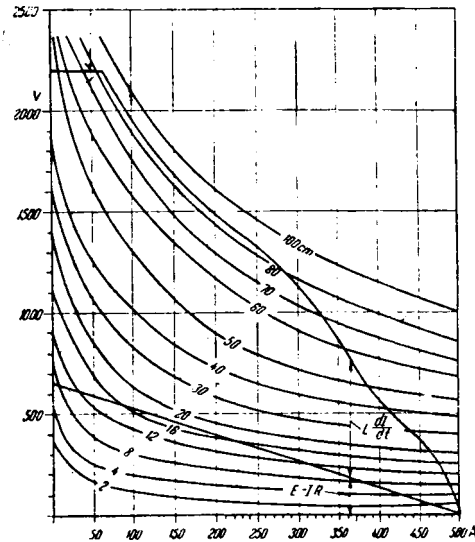


Рис. 3. Динамическая характеристика дуги выключения, начальный ток 500 А, напряжение 650 В, $L = 40$ мН, перенапряжение 2200 В

вертикали S для первоначальной кривой скорости, проводим горизонтально SK до основного перпендикуляра построения из 0,01 сек, и прямую OK , тогда отрезок MN на кривой длины дуги должен быть параллельным OK). Для построения же динамической характеристики на диаграмме статических характеристик дуг проводим прямую $E - iR$ и затем для каждого уже построенного отрезка кривой определяем

l (длина)	2	4	8	12	16	...	75	80	84	84	84	84	84	84	см
t	—	4,5	6,5	8,4	9,8	...	24	25,5	26,5	28	30	32	34	0,001	сек.
Δt в 0,001 сек.	—	1,5	2	1,9	1,4	...	0,8	1,5	1	2,5	2	2	2		
h	—	80	125	175	215	...	820	915	960	1100	1310	1300	2140		В
$h \times \frac{\Delta t}{40}$	—	2	3	6	8	...	17	35	36	40	45	49	107		
i	—	495	489	481	474	...	311	276	240	200	155	106	0		А

высоту $L \frac{di}{dt}$ на небольшом отрезке, положим, равную h , тогда находим искомую новую точку динамической характеристики:

$$L \frac{di}{dt} = h, \Delta i = h \frac{\Delta t}{L},$$

так как здесь Δt определено уже из кривой длины дуги при элементарном изменении Δl . Величина L принята 40 мН.

Полученные точки динамической характеристики служат для нахождения времени процесса гашения дуги, а также и определения величины перенапряжения. Все вычисления укладываются в очень простую табличку (см. 27 стр.).

Здесь приведены начало и конец таблички, вычисление которой идет очень быстро. Полученное зна-

чение для времени гашения 0,034 сек почти не отличается от опытного данного 0,033 сек, так же как и перенапряжение 2200 V; точки графика i и v , конечно, не могут отразить всех вариаций осциллограммы, но характер кривых вполне совпадает с опытными.

3. Заключение. Таким образом изложенный в настоящей статье способ построения динамической характеристики гашения дуги дает возможность надежного количественного подхода к исследованию явлений в выключателе. Основным является для построения диаграмм скорость расхождения контактов и раздувания дуги: тогда динамическая характеристика определит время гашения и перенапряжение; но для этого нужно иметь большой опытный материал, хотя бы для отдельных точек дуги в выключателях.

4/III 1933 г.

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Электрические вспомогательные судовые механизмы и системы токораспределения на судах

Инж. Н. М. Ковалев
Николаев

Для вспомогательных электромеханизмов на судах применяются большей частью открытый и закрытый типы машин, защищенные от брызг, с вентиляцией. В открытом исполнении устанавливаются исключительно компаундные генераторы. Такая система возбуждения генератора является наиболее желательной для судовых установок, поскольку резкое изменение нагрузки от $\frac{1}{4}$ до $\frac{3}{4}$ — явление обычное в эксплуатационных условиях на судне. Отклонение напряжения от нормального значения при этом не должно превосходить $2 \div 3\%$.

Электродвигатели на судах применяются как серийные, так и шунтовые и компаундные. Серийные дви-

гатели применяются редко из-за опасности разноса, поэтому чаще применяются моторы, снабженные небольшой шунтовой обмоткой, ограничивающей число оборотов мотора, но мало влияющей на серийную характеристику двигателя. Однако опыт показал, что если серийный двигатель соединен с такими устройствами, как лебедки, то трение в подшипниках и передаточном механизме вполне обеспечивает скорость вращения в безопасных пределах. Серийные двигатели могут быть рекомендованы для тех случаев, где с увеличением нагрузки требуется соответственное увеличение крутящего момента.

Компаундные двигатели применяются там, где при изменении нагрузки требуется постоянная скорость. Кроме того, компаундные двигатели могут применяться в тех случаях, когда они предназначаются для привода двух устройств и соединены с ними посредством разобщающихся муфт, при этом нагрузка от трения не в состоянии удержать двигатель в пределах безопасной для него скорости вращения. Шунтовая обмотка рассчитывается на продолжительное включение. Вообще применение компаундных двигателей на судах весьма ограничено.

Наибольшее распространение на судах получили шунтовые двигатели как обладающие широкой и плавной регулировкой скорости. Применяются на судах двигатели типа RHGS-801 мощностью 63 kW на 110 V с числом оборотов $520 \div 880$ в минуту и, главным образом, двигатели типов HNS и HN разных мощностей и различного исполнении (закрытые, открытые и защищенные от брызг воды с вентиляцией). Закрытый тип применяется для установки на палубах, в машинных и котельных помещениях и в других аналогичных местах. Надо отметить, что стоимость этого типа очень высока, и его габаритные размеры вызывают технические трудности при установке. Нормально как самый распространенный тип на судах надо признать вентилируемый двигатель, защищенный от брызг воды. Этот тип представляет меньшие технические трудности при установках, и стоимость его значи-

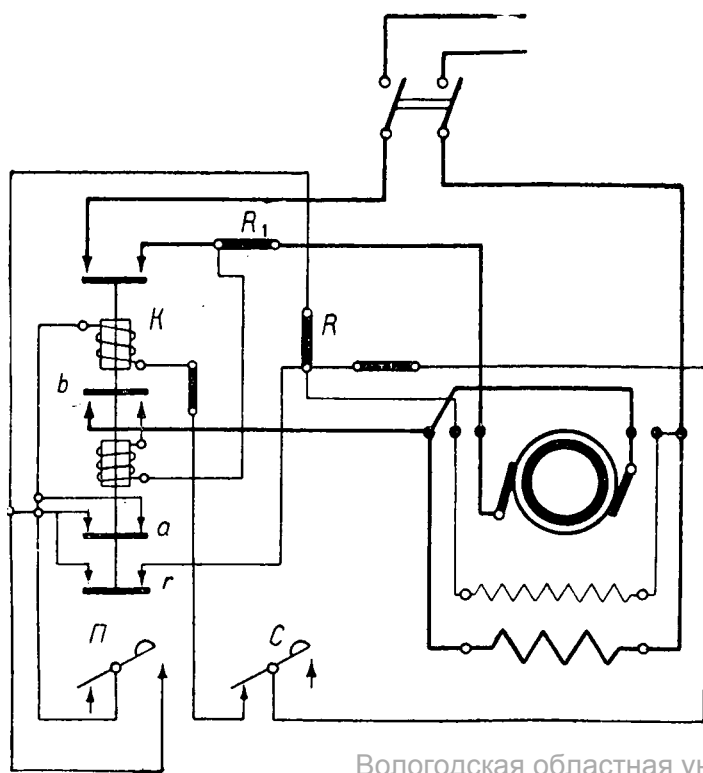


Рис. 1. Схема кнопочного управления для пуска и остановки двигателя

вает особого внимания. Нормальная температура в машинных помещениях на судах, плавающих в тропиках, колеблется в пределах $40 \pm 50^\circ \text{C}$; но в некоторых местах машинных помещений нормальная температура достигает даже 60°C . Меры, которые применяют заводы-изготовители, заключаются, с одной стороны, в стремлении по возможности уменьшить потери, а с другой — в усилении отвода тепла. С этой целью машине стремятся придать наиболее рациональную форму излучающей поверхности, снабжают якорь вентиляционными отверстиями для облегчения свободного доступа охлаждающего воздуха к якорю. На нагрев влияет также режим работы машины.

Электрические машины должны быть размещены вдали от всяких огнеопасных материалов, в хорошо вентилируемом помещении и ограждены от возможных механических повреждений, от попадания воды, масла и пара. Расположение машин должно обеспечивать

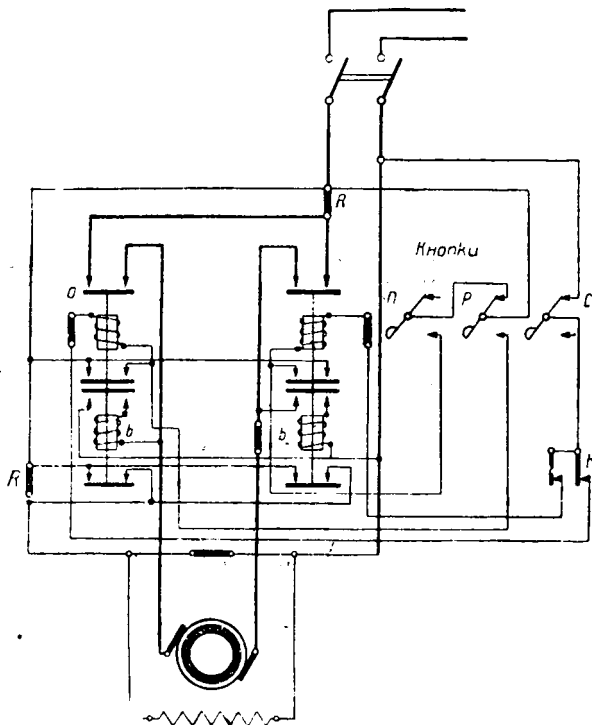


Рис. 2. Схема кнопочного управления двигателем с реверсированием

легкий к ним доступ, ось вращения должна быть параллельна продольной оси судна и учтена возможность влияния машин на компас.

Пуск и управление электрическими машинами, главным образом, двигателями, могут производиться или ручным способом или автоматически посредством кнопки. На наших судах применяется преимущественно первый способ, на заграничных же широкое распространение получает контакторное управление с контроллером или кнопкой для пуска и остановки. Обширное применение кнопочной системы объясняется тем, что все манипуляции по управлению машинами становятся очень простыми, доступными даже малоквалифицированному персоналу. Кроме того, кнопочная система не только позволяет управлять двигателями на расстоянии, но и дает возможность управления ими из нескольких мест путем установки в них соответствующих кнопок. Введением электромагнитной системы управления достигается не только автоматизм пуска и управления двигателями, но и самое управление становится более надежным и долговечным, и содержание его обходится дешевле, чем обыкновенное контрольное.

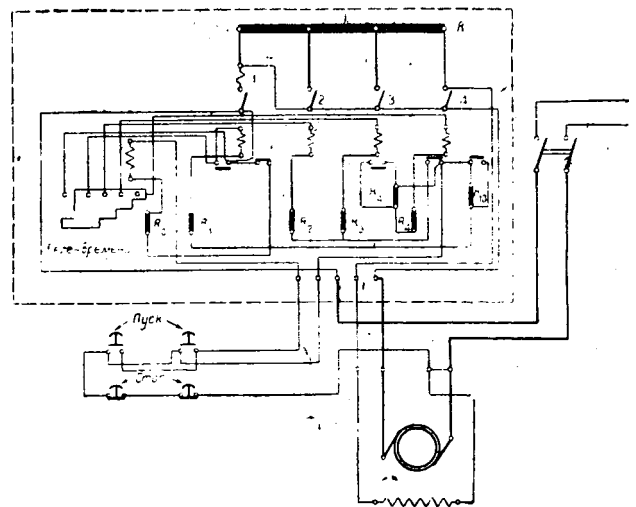


Рис. 3. Схема кнопочного управления двигателем шлюпочной лебедки. 1, 2, 3, 4 — контакторы; R — пусковые сопротивления; R_0 — предохранительное сопротивление к реле времени; R_1, R_2, R_3, R_4 — предохранительные сопротивления к контакторам; R_{10}, R_{30} — дополнительные сопротивления с контакторами 1 и 4

На рис. 1 представлена схема кнопочного управления для пуска и остановки двигателя с торможением путем замыкания якоря на сопротивление. Нажатием кнопки катушки контактора K возбуждаются, и двигатель включается в судовую сеть; контакты a шунтируют кнопку $П$, благодаря чему последняя может быть отпущена. Нажатием кнопки c мотор отключается от сети и замыкается через контакты торможения b на сопротивление R_1 . Мотор переходит на генераторный режим и быстро тормозится. Контакты d служат для закорачивания при работе мотора предохранительного сопротивления R , включенного в шунтовую обмотку.

На рис. 2 представлена схема кнопочного управления для работы двигателя с реверсированием, торможением и автоматическим выключением в предельных положениях. Ток, идущий через главные контакты a одного контактора в якорь двигателя, проходит также через катушку b и контакты d второго; следовательно, кон-

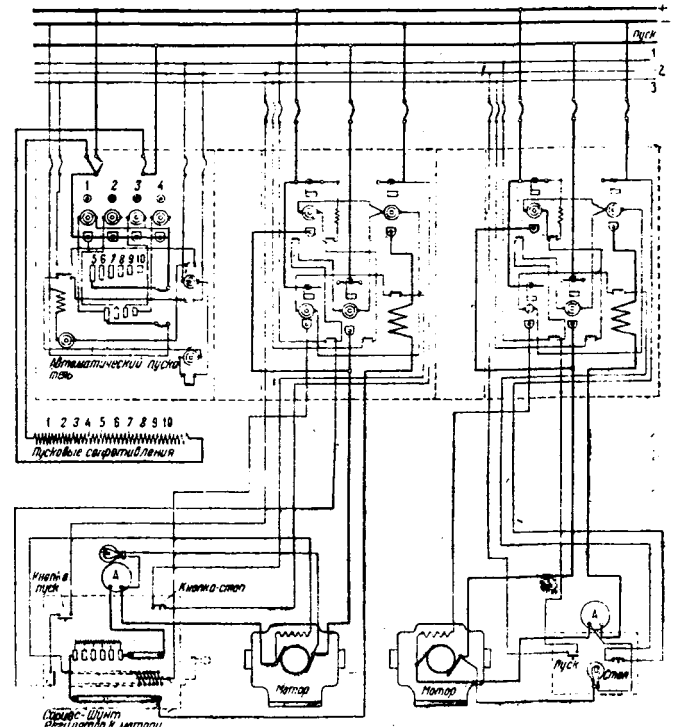


Рис. 4. Схема пуска двигателей с одним общим сопротивлением

такты *d* служат не только для торможения, но и для блокировки обоих контакторов. Буквой *K* обозначены конечные выключатели.

Применение универсального кнопочного управления, при котором достигается автоматическое реверсирование, регулировка скорости, пуск и остановка требуют очень сложной системы переключений. Моменты включения ступеней пускового сопротивления автоматически должны определяться пусковыми реле-контакторами в зависимости от достигаемой двигателем скорости и должны быть так подобраны, чтобы пуск и остановка двигателя происходили в возможно короткий промежуток времени, вполне плавно и с небольшими значениями пускового тока. Максимальное реле, имеющее выдержку времени выключения, предупреждает возможные ошибки и повреждения.

На рис. 3 представлена схема кнопочного управления для двигателя (11 kW) шлюпочной лебедки на наших теплоходах „Крым“ и „Грузия“ постройки заводов Круппа (Германия). На этих судах имеется также полностью автоматическое управление двигателем мощностью 1,1 kW для привода насосов, выкачивающих трюмную воду. Расположены они в тоннеле для гребных валов. Пуск и остановка моторов производятся поплавокными ограничителями, которые включают и выключают

двигатель при предельных уровнях трюмной воды в отсеках машинного помещения. Для контроля за их работой в машинном помещении установлена световая и звуковая сигнализация. Аппаратура управления установлена в железных ящиках для предохранения от повреждений и попадания воды и других посторонних предметов.

Кроме самостоятельного кнопочного управления двигателями за границей встречается система с одним общим пусковым сопротивлением без ограничения мощности. Общие пусковые реостаты устанавливаются на распределительном щите или в других ответственных местах и применяются для пуска всех двигателей, включенных в особые секционные группы, с возможностью выключения любого двигателя независимо от других. Пуск и остановка производятся кнопкой (рис. 4). С такой установкой получается значительная экономия места, числа сопротивлений, ящиков и приборов. Некоторые современные заграничные суда снабжены такой системой управления двигателями для вспомогательных механизмов машинного отделения, и, что небезинтересно, стоимость ее не больше, чем установка системы с независимыми пусковыми реостатами с сопротивлениями к каждому двигателю. Кроме того к этим преимуществам необходимо отнести еще то,

Таблица 1

Режимы электромеханизмов для плавных судов

Электромеханизмы	Грузоподъемность 10 000 t										Грузоподъемность 2 150 t																			
	Мощность kW		Стоянка		Маневр		На ходу				Мощность kW		Стоянка		Маневр		На ходу													
	Установлен.	Потребляем.	Разгрузка	Погрузка уборка	Пожар на пристани	Швартовка	Перед уходом	Съемка с якоря	Днем	Ночью	Уборка	Раб. насоса охлажден.	Пожар на суше	Установлен.	Потребляем.	Разгрузка 7 at	Разгрузка 5 at	Погрузка	Уборка	Перед уходом	Авария	Минимальн.	Максимальн.	Днем	Ночью	Уборка	Авария	Авария с компрессор.		
Палубные	Брашпиль	40	54	—	—	54	27	—	54	—	—	—	—	29	34	—	—	—	—	—	—	—	34	34	—	—	—	—	—	
	Шпиль кормовой.	18,5	25	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—	17,5	21	—	—	—	—	—	—	—	5	7	—	—	—	—	—	
	Рулевое устройство.....	18,5	25	—	—	12	—	—	8	8	8	8	8	17,5	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	6	4	18	4	
	Грузовое	18,5	22	—	22	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Насосы	Разгрузочный....	2 × 63	× 71	142	—	—	30	—	—	—	—	—	2 × 39	× 46	46	69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Зачистной	18,5	22	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	20	20	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Охлаждения главного двигателя..	23	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	17
	Пожарный	43,5	49	—	—	8	49	—	—	—	—	—	—	17	20	—	—	—	10	—	20	10	10	5	5	10	20	—	—	
	Балластный	29	33	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	3	4	—	—	4	—	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Топливный	2 × 3	× 4	—	—	—	3	8	2	2	—	—	—	2 × 1	× 1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2	2	2	1	1	—
	Трюмный	3/6	4/7	—	—	4	—	7	—	4	—	4	7	5,5	6,5	—	—	6,5	—	6,5	6,5	—	2	—	3	3	6	—	—	
	Соленой воды...	1	2	—	2	2	—	2	—	—	—	—	—	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Пресной воды...	1	2	—	2	2	—	2	—	—	—	—	—	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Масляный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	6	—	—	—	—	—	—	—	4	4	6	6	6	6	6	6	
Разные	Компрессор	100	100	—	—	100	100	100	—	—	—	—	—	48	48	—	—	—	—	—	—	48	48	—	—	—	—	—	—	
	Мастерская	4	5	—	—	—	—	—	4	2	—	—	—	2	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Вентиляция	5 × 2/2 × 8	× 3/ × 10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	4 × 1,6	× 2,3	3	3	2,5	3	9	5	3	3	—	—	—	—	—	—
	Вало поворотное устройство	2 × 3	× 4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,5	10	—	—	—	—	—	—	—	8	8	—	—	—	—	—	
	Рефрижератор ...	8	10	—	6	6	—	6	6	—	6	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Пенотушительн..	13	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Сепаратор масла.	1	2	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Прожектор	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Радиотелеграф...	3	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Освещение	10	10	6	6	3	8	6	6	6	6	6	6	3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	1	3,5	1	3,5	1	3,5	1	3,5
Установлено	528	602	192	52	31	170	177	192	190	34	34	33	66	129	279	326	74	101	26	26	30	41	123	125	30	34	41	79	35	

Выбираются генераторы..... 2 × 100 kW

" " 1 × 31 kW

" " 1 × 4 kW (аварийный)

Напряжение 115 V

1 × 48 kW

1 × 31 kW

1 × 4 kW (аварийный)

что большинство приборов контроля и управления установлено на распределительном щите, где они легко видны и доступны, содержание обслуживания их сводится до минимума при максимальной гарантии от всякого рода повреждений и случайных аварий.

Исполнение аппаратуры на судах встречается нескольких типов: открытое, закрытое, защищенное и водонепроницаемое. Аппаратура первых трех типов устанавливается в машинном отделении и в других служебных помещениях; на палубах же—исключительно аппаратура водонепроницаемого типа, очень громоздкая по величине, тяжелая и дорогая, обслуживание которой затруднительно и ремонт неудобен.

Определение мощности электроустановки и генераторов производится по проектным таблицам режимов работы электромеханизмов, учитывающим расход электроэнергии для тех режимов, которые для судна являются длительными и главными эксплуатационными. Нагрузки аварийного характера рассматриваются, но они не могут влиять на определение мощности генераторов, поскольку вопрос об экономическом использовании электроустановки в этих случаях не может

быть поставлен. В табл. 1 и 2 представлены такие проектные данные для ряда судов как наливных, так и сухогрузочных разной грузоподъемности. На рис. 5 представлены кривые нагрузок электроустановки по данным эксплуатации нефтеналивного теплохода „Союз горнорабочих СССР“ за круговой рейс Туапсе—Лондон и обратно. Кривые подтверждают полное использование генератора мощностью 32 kW во время движения судна. Характерные пики указывают на специфические условия работы судовой электроустановки.

Системы токораспределения на судах должны соответствовать требованиям, предъявляемым классификационными обществами как заграничными, так и нашего Регистра.

Предельным напряжением на зажимах генераторов для нефтеналивных судов устанавливается при постоянном токе 115 V для осветительной сети и 230 V для силовой сети. Система токораспределения—двухпроводная. Для остальных судов—230 V для осветительной и силовой сети. Система токораспределения, однодвух- и трехпроводная. При переменном токе для нефтеналивных судов установлено 120 V для силовой

Таблица 2

Режим электромеханизмов для сухогрузных судов

Электромеханизмы	Грузоподъемность 10 500 t								Грузоподъемность 5 500 t								Грузоподъемность 3 000 t							
	Мощность kW		Стоянка		Маневр		На ходу		Мощность kW		Стоянка		Маневр		На ходу		Мощность kW		Стоянка		Маневр		На ходу	
	Установлен.	Потребляем.	Грузов. операц.	Без грузов. операц.	Пожарн. тревог.	Выход	Вход	Нормальн.	Максим.	Потребляем.	Грузов. операц.	Без грузов. операц.	Максим.	Нормальн.	Максим.	Нормальн.	Установлен.	Потребляем.	Минимальн.	Максимальн.	Минимальн.	Максимальн.	Минимальн.	Максимальн.
Палубные	Брашпиль	69	85	—	—	85	85	40	—	56	—	—	56	28	—	—	19,5	25	—	—	16	25	—	—
	Шпиль кормовой	20	25	—	—	—	25	—	—	20	—	—	20	20	—	—	13	15	—	—	10	15	—	—
	Рулевое устройство	16	23	—	—	—	12	12	12	16	—	—	8	8	16	10	16	20	—	—	3	7	10	14
	Грузовое устройство	18×18,5	×22	175	—	—	—	—	—	10×18,5	100	—	—	—	—	—	8×13	×15	60	90	—	—	—	—
Насосы	Балластный	22/15	26/17,5	—	—	43	43	—	43	14	7	—	—	7	—	21,5	22,5	6	12	6	12	6	6	
	Пожарный	2×13	×15	—	—	30	15	—	15	2×12,5	—	—	25	12,5	12,5	21,5	22,5	6	—	6	12	6	6	
	Топливный	2	3	—	—	3	3	—	3	1,5	1,5	—	—	1,5	—	1,5	2	—	—	2	2	2	2	
	„ перекач.	13	15,5	—	—	—	—	—	15	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Трюмный	15/2	17,5/3	3	3	13	13	13	3	3	—	—	3	3	3	3	3	4	—	—	4	4	4	4
	Охлаждение главного двигателя	3×23,5	×27	—	—	42	42	42	42	17	—	—	17	17	17	17	2×10,5	×11,5	—	—	11	22	10	10
	Масляный дежур.	2/4	3/5	—	—	—	—	3	3	3	—	—	3	3	3	3	1,5	2	—	—	2	2	2	2
	„ циркуляц.	2×6	×7	—	—	7	7	7	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Соленой и пресной воды	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	—	—	2	—	—	1,5	2	2	2	2	2	2	2
	Сепараторов	3×1,5	×2	—	—	—	—	2,5	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Разные	Компрессор	2×110	×120	—	—	240	240	120	—	88	—	—	88	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Мастерская	4	5	—	—	—	—	5	5	2,5	2,5	2,5	—	2,5	—	—	3	4	4	4	4	4	4	4
	Валоповоротное устройство	2×3	×4	—	—	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Рефрижератор устройство	7	9	9	—	—	—	9	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Сепаратор масла	3×2	×2,5	—	—	—	—	5	5	2×4	4	4	—	—	4	4	1	1,5	1	1	1	1	1	1
	Прожектор	2	2	2	—	—	2	2	2	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	1	—	—	—
	Радиотелеграф	2,5	4	—	—	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	—	—	—	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	—	—	2,5	2,5	2,5	2,5
	Освещение	12	12	12	6	12	8	8	8	9	—	—	—	—	5	5	6	6	—	—	4	6	4	2
Гиро-компас	1,5	2	—	—	2	2	2	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Установлено: . . .	889	1 029	209	12	488	481	279	103	182	464	138	11	195	192	76	57	237	283	83	118	72	116	5,2	58

Выбираются генераторы 2×200 kW
 „ „ 1×100 kW
 „ „ 1×25 kW
 Напряжение 230 V

3×66 kW
 1×31 kW

2×65 kW
 1×31 kW
 1×12 kW

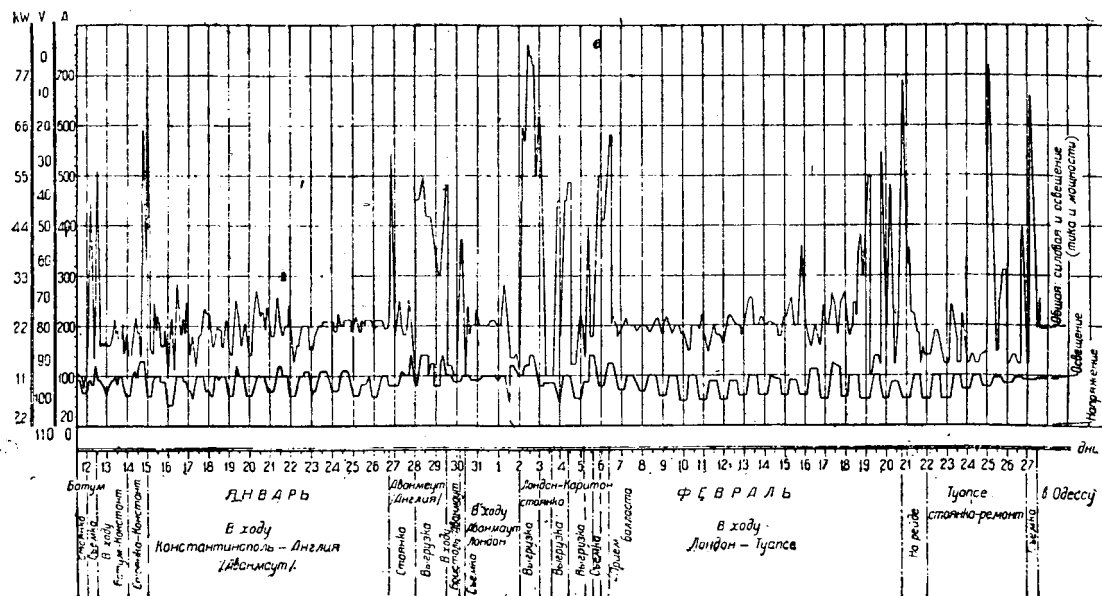


Рис. 5. Кривые нагрузок электростанции теплохода „Союз горнорабочих СССР“ (январь-февраль 1931 г.)

и осветительной сети, для остальных судов 120 V для осветительной сети и 230 V для силовой сети. Система токораспределения—двухпроводная.

На некоторых зарубежных судах встречается система токораспределения трехпроводная с напряжением 220/440 V. Такое повышенное напряжение применяется в целях получения максимальной экономии меди, но опытные данные подтверждают, что вопрос о доста-

точной изоляции и защиты аппаратуры стоит дороже, чем при системе с пониженным напряжением. Для гребных электроустановок на нефтеналивных судах применяются системы с напряжением 250 ÷ 500 и даже 1 000 V, на остальных судах—высокое напряжение порядка 1 000 V. Ток—постоянный или переменный, преимущественно последний.

Включение генераторов в судовую сеть большей частью бывает параллельное и при установке разных мощностей производится по схеме рис. 6.

Система на наших судах исключительно двухпроводная с напряжением 230 или 115 V. Однопроводная система не применяется. За границей эта система широко применяется даже на больших пассажирских судах. Такие большие суда, как „Monte Pascoal“ и „Monte Rosa“ (постройки 1930 г., Германия), с электроустановкой, состоящей из трех генераторов по 350 kW, 230 V (и одного аварийного мощностью 25 kW) для питания вспомогательных электромеханизмов общей мощностью 2 345 л. с. и с одной радиотелеграфной установкой с пятью умформерами, имеют однопроводную систему с напряжением 220 V как для осветительной, так и силовой сети. Ранее выпущенная серия (1928 г.) судов типа „Monte“ имела также однопроводную систему, но с напряжением 220 V только для

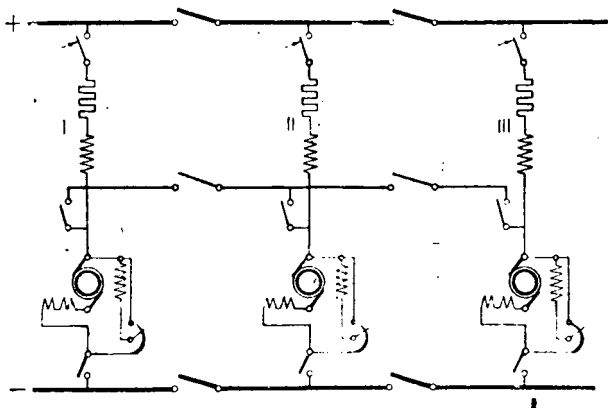
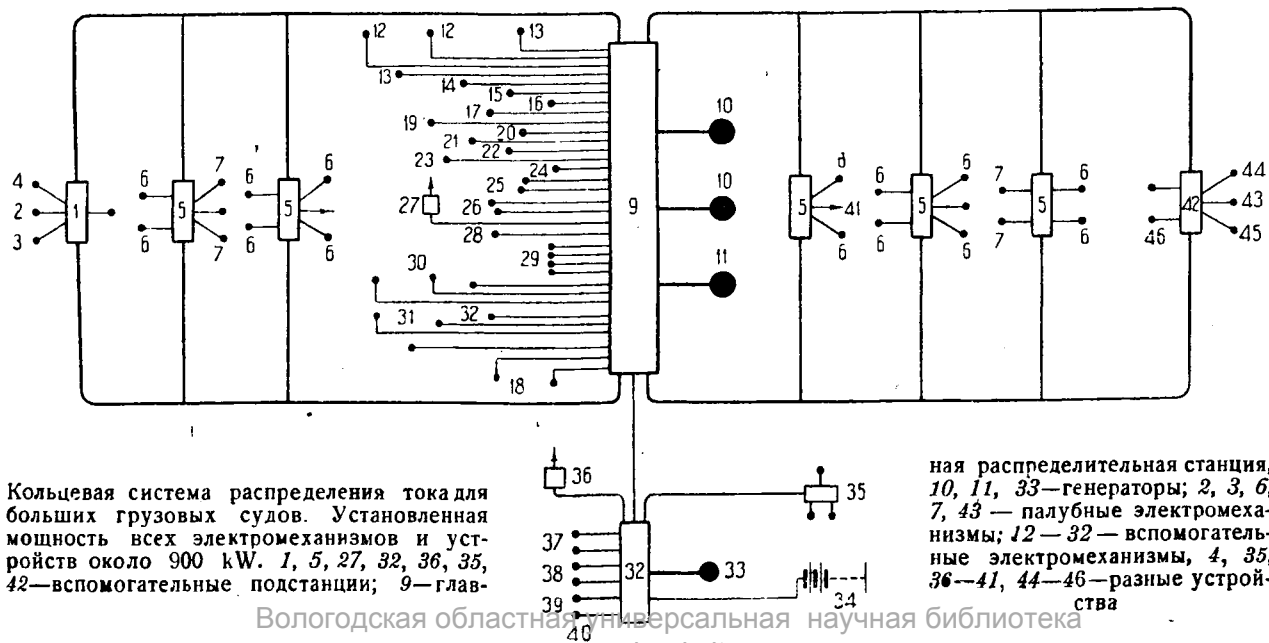


Рис. 6. Схема параллельного соединения генераторов разных мощностей



Кольцевая система распределения тока для больших грузовых судов. Установленная мощность всех электромеханизмов и устройств около 900 kW. 1, 5, 27, 32, 36, 35, 42—вспомогательные подстанции; 9—глав-

ная распределительная станция, 10, 11, 33—генераторы; 2, 3, 6, 7, 43 — палубные электромеханизмы; 12—32 — вспомогательные электромеханизмы, 4, 35, 36—41, 44—46—разные устройства

силовой сети, а для осветительной—110 V, получаемого от специально установленных преобразователей. Преимущества этой системы очевидны, поскольку при ней уменьшается вес меди и других металлов, упрощается монтаж, а тем самым уменьшается и стоимость судна.

Система токораспределения для наших больших судов могла быть применена однопроводная кольцевая как система, обладающая большей надежностью в эксплуатации и дающая самый лучший экономический эффект. На рис. 7 представлена схема распределения тока. Предлагаемая однопроводно-кольцевая система токораспределения против стандарта ВЭО (распределение отдельными фидерами), применяемого для всех судов (рис. 8), имеет следующие преимущества:

- 1) возможность непрерывного питания рабочего участка в случае повреждения одного из кабелей;
- 2) уменьшение веса меди;
- 3) удобство обслуживания и простота монтажа и установки.

Система с отдельными фидерами имеет преимущества только для судов с небольшим числом электромеханизмов и судов небольшой грузоподъемности; для судов же большой грузоподъемности и с большим числом электромеханизмов такая система не может быть применима из-за своей громоздкости и невозможности прокладки такого большого количества кабелей по судну и к тому же нецелесообразна из-за дороговизны и отсутствия тех преимуществ, которые были указаны для кольцевой системы (рис. 7).

Учитывая, что вспомогательные электромеханизмы обслуживают все судовые устройства и системы, как-то: всякого рода насосы (пресной, соленой и трюмной воды, охлаждение главных двигателей, масляные, топливные, пожарные, санитарные и др.), компрессоры, котельные установки, грузоподъемные механизмы, па-

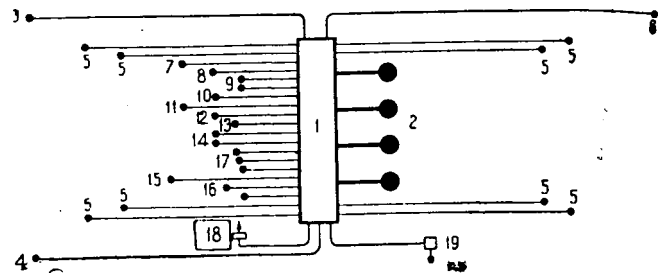


Рис. 8. Система распределения тока для грузовых судов средней грузоподъемности. 1 — главная распределительная станция; 2 — генераторы; 3—6—палубные электромеханизмы; 7—16—вспомогательные электромеханизмы; 17—19—разные устройства. Установленная мощность около 240 kW

лубные, вентиляция, сепараторы, рефрижераторные устройства, мастерские, всякого рода сигнализационные устройства, навигационные приборы, радиопеленгаторы, радиостанции и т. д.; заводам, изготовляющим их, необходимо провести исследования по изучению степени надежности работы судового электрооборудования и разработать такие конструкции и системы, которые позволили бы допускать к управлению мало-квалифицированный персонал и не требовали бы много места для установки.

Изоляционные и электротехнические материалы должны соответствовать особенностям судовой электротехники, поскольку влияние морской воды, влажного воздуха и жары—этих самых опасных „врагов“ судового электрооборудования, недооценивающихся заводами при проектировании.

Системы токораспределения должны быть самыми простыми и совершенными, поскольку вопрос об электрификации водного транспорта в пятилетнем плане на 1933—1937 гг. широко освещен в постановлении Всесоюзной конференции по электрификации СССР.

16/XI 1933 г.

ЗА ПОВЫШЕНИЕ $\cos \varphi$

Фазокомпенсация асинхронных двигателей при помощи машин постоянного тока

Инж. С. К. Бажанов
Москва

Как известно, почти каждый трехфазный коллекторный двигатель с распределенной обмоткой статора может быть без каких-либо переделок использован в качестве фазокомпенсатора системы Леблана, для чего нужно только отсоединить его статорные обмотки, а ротор включить на кольца компенсируемого двигателя. Нужная величина э. д. с. компенсации E_k получается при этом соответствующим выбором скорости вращения вспомогательного двигателя¹⁾.

Относительно малое распространение коллекторных двигателей переменного тока в промышленности приводит к тому, что достать их бывает подчас не проще, чем приобрести специальные фазокомпенсаторы, что и ограничивает распространение их для целей повышения коэффициента мощности.

То обстоятельство, что ротор фазокомпенсатора Леблана имеет коллектор и обмотку, ничем не отличающиеся от таковых обычной машины постоянного тока, наталкивает на мысль об использовании последней в качестве фазокомпенсатора.

Такой опыт был проделан энергобюро Союзцемента на новороссийских цементных заводах и дал весьма положительные результаты. Таким способом были компенсированы свыше 10 наиболее мощных заводских двигателей, которые при этом увеличили свой коэффициент мощности с $0,75 \div 0,85$ до $0,98 \div 1$, а общий коэффициент мощности цементной группы (потребляющий от Новрзс по плану 1933 г. $60 \cdot 10^6$ kWh) подняли с 0,8 до 0,92.

Для приспособления машины постоянного тока на работу в качестве фазокомпенсатора необходимо отключить ее обмотки возбуждения и переделать токосборное устройство с таким расчетом, чтобы число щеточных пальцев (будем в дальнейшем для простоты

говорить просто щеток) на коллекторе составило три на каждую пару полюсов.

На рис. 1 схематически показано такое устройство для динамомашины, имеющей две пары полюсов ($p=2$), причем для наглядности якорь показан здесь с кольцевой обмоткой, а коллектор и щетки помещены внутри кольца.

Так как при вращающемся магнитном потоке проводимость магнитопровода не постоянна, а колеблется в зависимости от положения оси потока по отношению к оси полюсов (для промежутков между полюсами она резко снижается), то в соответствии с этим и э. д. с. E_k такого фазокомпенсатора будет несинусоидальной и помимо своей основной составляющей будет иметь еще ряд высших гармонических, влияние которых несколько осложнит картину фазокомпенсации в роторе главного двигателя.

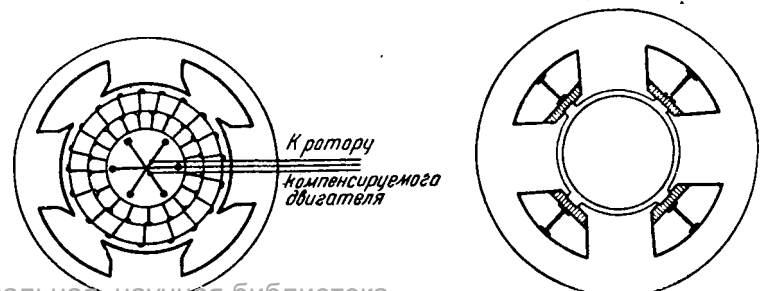


Рис. 1

Рис. 2

¹⁾ См. например, Костенко и Завалишин, „Электричество“, № 19—20, 1929.

Тем не менее практика эксплуатации первых экземпляров переделанных таким образом машин мощностью по 90 л. с. (для компенсации двигателей мощностью порядка 500 kW) показала, что указанное обстоятельство серьезно не влияло ни на работу самой машины ни на работу главного двигателя. В дальнейших опытах этот вопрос был окончательно разрешен путем установки между полюсными башмаками динамомашинных железных соответствующим образом укрепленных мостиков, схематически показанных на рис. 2.

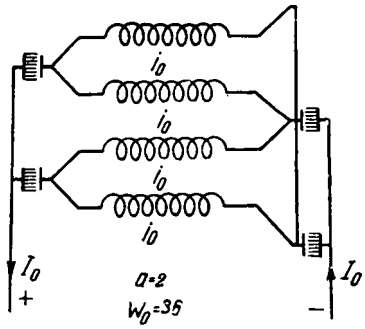


Рис. 3

тально ниже расчетной для данной машины. Годичный опыт эксплуатации этих машин в Новороссийске не показал каких-либо ненормальностей в этой части.

Схема токораспределения в обмотке якоря машины постоянного тока может быть представлена так, как это изображено на рис. 3. Поэтому, если число пар параллельных ветвей равно a , то при номинальном токе $I_{0н}$ в каждой ветви ее будет протекать ток

$$i_{0н} = \frac{I_{0н}}{2a} \quad (1)$$

В случае использования такой динамомашинны в качестве фазокомпенсатора схема токораспределения в якоре будет подобна указанной на рис. 4. Допуская и здесь одинаковый ток $i_{0н}$ в каждой ветви обмотки, как и при номинальном режиме, мы для p щеток на фазу можем снять с коллектора ток

$$I_1 = \sqrt{3} p i_{0н} \quad (2)$$

Сравняя выражения (1) и (2), получим уравнение

$$I_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{p}{a} I_{0н} = 0,87 \frac{p}{a} I_{0н} \quad (3)$$

которое и будет определять соотношение между номинальным током динамомашинны при нормальном ее использовании и допустимым током при использовании ее в качестве фазокомпенсатора.

Определим число оборотов в минуту n_k , которое нужно дать такому фазокомпенсатору для получения в его обмотках э. д. с. E_k .

Электродвижущая сила машин постоянного тока

$$E_0 = 4 \frac{pn_0}{60} \Phi_0 \frac{\omega_0}{2a} 10^{-8} \text{ В}, \quad (4)$$

где p —число пар полюсов; n_0 —число оборотов в минуту; Φ_0 —магнитный поток; ω_0 —число витков обмотки и a —число пар параллельных ветвей.

Электродвижущая сила той же машины, используемой компенсатором, вычисляется так же, как для всякой машины переменного тока, и будет равна

$$E_k = 4,44 f c_k \Phi_k \omega_k \cdot 10^{-8} \text{ В}, \quad (5)$$

где c_k —частота пересечения обмотки магнитным потоком Φ_k ; ω_k —число последовательных витков фазы; а f —обмоточный коэффициент для трехфазной обмотки типа обмоток постоянного тока, равный 0,826.

Но $\omega_k = \frac{\omega_0}{3p}$, а $c_k = \frac{pn_k}{60} - \sigma \cdot c$, где $\sigma \cdot c$ —частота роторного тока.

Так как $\frac{pn_k}{60}$, как правило, в несколько десятков раз больше $\sigma \cdot c$,

то можно принять приближенно $c_k \approx \frac{pn_k}{60}$ так, что

$$E_k = 3,67 \frac{pn_k}{60} \Phi_k \frac{\omega_0}{3p} \cdot 10^{-8} \text{ В}. \quad (6)$$

Сравняя выражения (6) и (4), найдем

$$E_k \approx 0,61 \frac{n_k}{n_0} \frac{\Phi_k}{\Phi_0} \frac{a}{p} E_0 \text{ В}. \quad (7)$$

Отсюда получаем

$$n_k = 1,64 \frac{E_k}{E_0} n_0 \frac{\Phi_0}{\Phi_k} \frac{p}{a} \quad (8)$$

В формуле (4) n_0 и E_k могут быть выбраны произвольно. Возьмем n_0 равным номинальному числу оборотов в минуту, а E_0 —равным E_k . Тогда формула (8) примет вид

$$n_k = 1,64 n_{0н} \frac{\Phi_0}{\Phi_k} \frac{p}{a} \quad (9)$$

где Φ_0 —магнитный поток динамомашинны для такого ее возбуждения, когда при номинальной скорости она имеет напряжение холостого хода, равное E_k .

Чтобы можно было воспользоваться формулой (9) для определения n_k , нужно знать отношение потоков Φ_0 и Φ_k . Заменим отношение магнитных потоков отношением магнитодвижущих сил, вызывающих²⁾ эти потоки. Тогда получим

$$\frac{\Phi_0}{\Phi_k} = \frac{2 i_{e0} \cdot \omega_{e0}}{2 \cdot 0,9 \cdot 1,5 \cdot f i_{rk}} = 4,7 \frac{i_{e0} \cdot \omega_{e0}}{I_{rk} \cdot \omega_0} p^2 \quad (10)$$

и окончательно

$$n_k = 7,8 \frac{p^3}{a} \frac{i_{e0} \cdot \omega_{e0}}{I_{rk} \cdot \omega_0} n_{0н} \quad (11)$$

Здесь $I_{rk} = \sqrt{3} ip$ —ток, посылаемый в компенсатор из ротора главного двигателя, ω_{e0} —число витков на одном полюсе и i_{e0} —ток намагничивания при возбуждении машины (до переделки) на холостом ходу при номинальных скоростях до напряжения $E_0 = E_k$.

Магнитодвижущая сила в ампервитках якоря компенсатора, вызывающая появление потока Φ_k , может быть написана в следующем виде:

$$a \omega_k = 2 \cdot 0,9 \cdot 1,5 f i \frac{\omega_0}{3p} = 0,73 \frac{\omega_0 i}{p} \quad (12)$$

Но $\frac{\omega_0 i}{p}$ —ампервитки реакции якоря нормальной динамомашинны при несмещенных щетках; следовательно, переходя опять от магнитодвижущих сил к потокам, найдем поток компенсатора

$$\Phi_k = 0,73 \Phi_{pя}$$

где $\Phi_{pя}$ —поток реакции якоря при нагрузке $I_0 = \frac{I_{rk}}{0,87} \frac{a}{p}$ и насыщенных щетках.

Магнитный поток реакции якоря, даже при нагрузках порядка номинальной, всегда значительно меньше основного потока динамомашинны³⁾. Следовательно, и Φ_k меньше этого основного потока. Отсюда можно сделать заключение, что магнитная индукция в нашем фазокомпенсаторе будет значительно ниже расчетной индукции той динамомашинны, из которой он переделан, и потому потери в железе его якоря будут также много ниже расчетных. Но для такого случая легко можно доказать допустимость известной перегрузки якоря током, с учетом чего формула (3) переписывается в виде

$$I_{rk} \leq \frac{p}{a} I_{0н} \quad (14)$$

При фазокомпенсации по рассматриваемому методу приходится иногда сталкиваться с таким фактом, что вполне подходящая динамомашинна не может обеспечить заданной величины фазокомпенсации данного двигателя, несмотря на то, что ни по току, ни по индукции она не будет перегруженной.

Это замечание станет ясным, если проанализировать формулу (11). Действительно, поскольку динамомашинна, использованная здесь в качестве фазокомпенсатора, подбиралась таким образом, чтобы было приблизительно соблюдено равенство (14) $I_{rk} \approx \frac{p}{a} I_{0н}$, по-

скольку мы вправе написать, что для условия полной нагрузки обмоток фазокомпенсатора током должно быть соблюдено соотношение

$$n_k \approx 7,8 \frac{p^2 \cdot i_{e0} \cdot \omega_{e0}}{I_{0н} \cdot \omega_0} n_{0н} \quad (15)$$

В этой формуле все параметры правой части определяют конструктор динамомашинны. Поэтому n_k имеет числовое выражение от нас не зависящее, и в частности, оно может оказаться настолько выше $n_{0н}$, что не сможет быть допущено по условиям механической прочности машины. Но это и будет указывать на то, что пол-

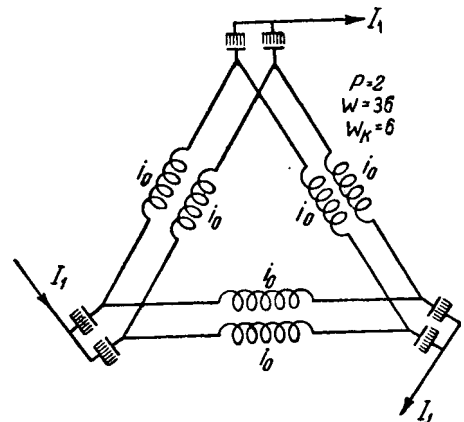


Рис. 4

²⁾ Что мы имеем право сделать, ибо $E_k \ll E_{0н}$ и железо компенсатора далеко от насыщения, так что основное сопротивление магнитному пути представляет воздушный зазор.

³⁾ Основной поток машины при номинальном режиме, т. е. номинальных токе и напряжении, не следует смешивать с потоком Φ_0 формул (9) и (11), следовательно, так как последний соответствует напряжению $E_0 = E_k \ll E_{0н}$.

ной фазокомпенсации данного асинхронного двигателя эта динамомашина не обеспечит, несмотря на то, что по току она будет нагружена в пределах номинальных данных, а по индукции железа якоря [формула (13)]—всего на 30 ÷ 40%.

Физически такое положение будет обозначать, что при данном токе ротора главного двигателя и скорости n_k , близких к номинальным, фазокомпенсатор не даст нужного напряжения E_k .

Между отношением $\frac{n_k}{n_{0н}}$, с одной стороны, и отношением $\frac{E_k}{E_{0н}}$, с другой стороны, существует определенное числовое соотношение, порядок которого весьма просто можно установить следующим путем:

Подставляя в формулу (11) значение I_{rk} из уравнения (14), мы получили

$$\frac{n_k}{n_{0н}} = 7,8 \frac{p^2 \cdot i_{e0} \cdot \omega_{e0}}{I_{0н} \cdot \omega_0} \quad (16)$$

Но $i_{e0} \cdot \omega_{e0} = \frac{x}{0,4\pi} B_0 \delta$, где B_0 —индукция в воздушном зазоре δ , со-

ответствующая напряжению $E_0 = E_k$ при холостом ходе и номинальной скорости вращения машины, а x —отношение полных ампервитков намагничивания для этих же условий к ампервиткам, расходуемым на преодоление магнитного сопротивления воздушного зазора. При незначительности индукции B_0 основная часть магнитного сопротивления пути магнитного потока падает на воздушный промежуток, и x не выше 1,1.

В свою очередь, принимая индукции пропорциональными э. д. с., мы можем написать, что

$$B_0 = B_{0н} \frac{E_k}{E_{0н}},$$

где $B_{0н}$ —индукция, соответствующая номинальному напряжению $E_{0н}$ на зажимах машины при полной нагрузке, а коэффициент y —отношение индуктированной при этих условиях в якоре э. д. с. к напряжению $E_{0н}$.

Для современных машин небольшой и средней мощности можно принять $y = 1,06$ и $B_{0н} = 9000$.

С другой стороны,

$$\frac{I_0 \omega_0}{a} = \pi D_0 AS,$$

где D_0 —диаметр якоря машины, а AS —его линейная нагрузка, среднее значение которой для динамомашиной мощностью 30 ÷ 60 kW можно установить в 175 амперпроводов на сантиметр. Отсюда

$$\frac{n_k}{n_{0н}} \approx 2,2 \frac{B_{0н} \delta p^2}{AS D_0 a} \frac{E_k}{E_{0н}} \quad (17)$$

Для машин интересующей нас мощности воздушный промежуток δ имеет величину порядка 0,3 см, так что, подставляя вышеприведенные средние числовые значения для параметров формулы (17), найдем

$$\frac{n_k}{n_{0н}} \approx 34 \frac{p^2}{D_{0[см]} a} \frac{E_k}{E_{0н}}, \quad (18)$$

что и является искомым соотношением между номинальными значениями скорости и напряжения динамомашины при ее нормальном использовании и таковым по переделке ее в фазокомпенсатор.

Это же соотношение дает и условие, при котором использование переделанной в фазокомпенсатор машины осуществимо при скорости вращения, не превышающей номинальной. Это будет, как легко подсчитать, для

$$\frac{E_k}{E_{0н}} \leq \sim 0,03 \frac{D_{0[см]} a}{p^2} = 0,02 \frac{a}{p} \tau, \quad (19)$$

где τ —полюсный шаг в сантиметрах. При значениях $\frac{E_k}{E_{0н}}$ больших $0,02 \frac{a}{p} \tau$ приходится брать динамомашину большей мощности, чем это нужно для условий нормальной загрузки ее обмоток током, откуда делаем то заключение, что фазокомпенсация с помощью переделанных динамомашиной лучше всего проводится для двигателей, имеющих в роторе относительно невысокое напряжение. Кроме того, лучше работают компенсаторами такие машины, у которых полюсный шаг $\tau = \frac{\pi D_0}{2p}$ больше, т. е. машины больших мощностей. Физически это объясняется большей реакцией якоря этих машин.

Для машин с параллельной обмоткой, $a = p$ и все выведенные формулы несколько упрощаются. Тогда имеем:

$$I_{rk} \leq I_{0н}, \quad (14a)$$

$$n_k = 7,8 p^2 \frac{i_{e0} \cdot \omega_{e0}}{I_{rk} \cdot \omega_0} n_{0н}, \quad (11a)$$

$$\frac{E_k}{E_{0н}} \leq 0,02 \tau_{[см]}. \quad (19a)$$

Если сравнить изложенный выше способ повышения коэффициента мощности двигателей помощью фазокомпенсаторов, переделанных из динамомашиной, с принятым в настоящее время способом синхронизации двигателей, то можно установить следующие положения:

1. При наличии рядом расположенных нескольких крупных двигателей одинаковой конструкции или приблизительно одинакового роторного тока повышение коэффициента мощности на данную величину при синхронизации осуществимо большей частью при меньших капитальных затратах, чем при фазокомпенсации, ибо в первом случае мероприятие потребует приобретения одной динамомашины, а во втором—нескольких. Мощности нужных динамомашиной в обоих случаях бывают обычно одного порядка, а точно определяются особо для каждого конкретного случая.

2. При наличии только одного крупного двигателя фазокомпенсация может оказаться выгоднее, чем синхронизация, поскольку в первом случае кроме динамомашины потребуются приобретение привода двигателя незначительной мощности, а во втором—значительно большей.

3. Для асинхронных двигателей, обладающих высоким роторным током при относительно низком напряжении, для которых $\frac{E_k}{E_{0н}} \ll 0,02 \tau_{[см]}$, фазокомпенсация требует несколько меньших динамомашиной, чем синхронизация, и наоборот. То же можно сказать и об асинхронных двигателях, имеющих низкие скольжения.

4. При фазокомпенсации скорость главного двигателя понижается на несколько процентов, а при синхронизации—повышается. В некоторых случаях это обстоятельство по технологическим условиям может оказать решающее влияние на выбор способа.

5. Для синхронизации необходима вполне доброкачественная машина постоянного тока, а для фазокомпенсации фактически нужны один якорь и коллектор. Поэтому способом реализации внутренних ресурсов машину для фазокомпенсации подобрать легче, чем для синхронизации. На одном из новороссийских цементных заводов, например, фазокомпенсатор был собран из якоря от одной негодной машины и индуктора (без полюсов) от другой. Экономический эффект тем не менее получился разительный, определяясь суммой в несколько десятков тысяч рублей в год.

6. Если двигатель загружен слабо, синхронизация его может дать больший эффект, чем фазокомпенсация, так как позволит получить от него большую опережающую мощность.

7. Наоборот, для двигателя, сильно нагруженного, особенно если он подвергается частым толчкам нагрузки, фазокомпенсация может оказаться единственным способом повышения его $\cos \varphi$, поскольку синхронизация здесь будет неприемлема из-за вероятности частых выпадений из синхронизма.

Резюмируя все вышесказанное, устанавливаем следующий порядок расчета фазокомпенсации:

1. Определяется роторный ток I_r , э. д. с. скольжения $E_r \sigma$ и коэффициент мощности $\cos \varphi$ компенсируемого двигателя для условий фактической его загрузки. При этом напряжение E_r между кольцами при разомкнутом роторе, скольжение σ и коэффициент мощности $\cos \varphi$ определяются путем измерений, а I_r с достаточной точностью вычисляется по формуле

$$I_r = \frac{0,61P}{E_r}, \quad (20)$$

где P —загрузка двигателя в ваттах.

2. Вычисляется ток фазокомпенсатора, что для условия фазокомпенсации до $\cos \varphi = 1$ с достаточной точностью может быть сделано по формуле

$$I_{rk} = \frac{I_r}{\cos \varphi}. \quad (21)$$

3. Вычисляется э. д. с. E_k компенсатора, причем для компенсации до $\cos \varphi = 1$ достаточно точные результаты дает формула

$$E_k = 1,5 \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \varphi} E_r \sigma. \quad (22)$$

4. Подбирается машина постоянного тока, пригодная для использования фазокомпенсатором как в отношении величины тока [формула (14)], так и в отношении напряжения компенсации [формулы (18) и (19)].

5. Вычисляется ориентировочное число витков w_0 каждого полюса этой машины, что можно сделать, например, по сопротивлению и средней длине витка.

6. Вычисляется по формуле (11) скорость вращения фазокомпенсатора.

7. Определяется мощность привода фазокомпенсатора, равная потерям фазокомпенсатора при его работе на ротор главного двигателя.

Пример расчета фазокомпенсации

Пусть требуется компенсировать трехфазный асинхронный двигатель мощностью 385 kW.

Фирменные данные двигателя: $P = 385$ kW, $E_r = 2000$ V, $I_r = 147$ A, $n = 144$ об/мин.

Фактическая нагрузка генератора, найденная измерением, 120 A и 283 kW, фактический коэффициент мощности при этой нагрузке $\cos \varphi = 0,75$.

Измеренное напряжение на зажимах совпадает с номинальным, измеренное напряжение между кольцами ротора при поднятых щетках $E_r = 600$ V.

Скольжение σ при имеющей место нагрузке, измеренное путем отсчета колебаний стрелки включенного в ротор амперметра, равно 3%. Ток ротора при имеющем место режиме

$$I_r = \frac{0,61P}{E_r} = \frac{610 \cdot 283}{600} = 293 \text{ А.}$$

Ток ротора при фазокомпенсации до $\cos \varphi = 1$

$$I_{rk} = \frac{I_r}{\cos \varphi} = \frac{293}{0,75} = 379 \text{ А,}$$

что ротор выдержит вполне безопасно, так как это будет даже несколько ниже номинального роторного тока.

Электродвижущая сила компенсации

$$E_k = 1,5 \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \varphi} E_r \sigma = 1,5 \cdot \frac{0,67}{0,75^2} \cdot 600 \cdot 0,03 = 32 \text{ В.}$$

Подбираем динамомашину постоянного тока со следующими номинальными параметрами:

Мощность $P = 45 \text{ kW}$, напряжение $E_{0н} = 110 \text{ В}$, ток $I_{0н} = 410 \text{ А}$, скорость $n_{0н} = 1200 \text{ об/мин}$, число пар полюсов $p = 2$, возбуждение — шунтовое.

По схеме обмотки находим $\omega_0 = 108$ и $a = 2$.

Возбуждая машину на холостом ходу при $n = 1200 \text{ об/мин}$ до напряжения $E_0 = E_k = 32 \text{ В}$, измеряем $i_0 = 3 \text{ А}$.

Измеряя сопротивление обмотки и рассчитывая число витков по этому сопротивлению и по средней длине витка, находим $\omega_0 = 560$.

Отсюда скорость вращения динамомашин при использовании ее как генератором

$$n_k = 7,8 \frac{P^3}{a} \frac{i_{00} \cdot \omega_{00}}{I_{rk} \cdot \omega_0} n_{0н} = \frac{7,8 \cdot 2^3}{2} \frac{560 \cdot 3}{379 \cdot 108} \cdot 1200 = 1580 \text{ об/мин,}$$

что на 32% превосходит номинальную.

Для подсчета мощности привода нашего фазокомпенсатора заметим, что машина постоянного тока мощностью 45 kW при $n = 1200 \text{ об/мин}$ должна иметь к. п. д. около 0,9. Это составит потери номинального режима порядка 5 kW. Ориентировочно их можно распределить следующим образом: механические потери 1000 W, потери в железе якоря 1250 W, потери в меди якоря 1250 W, потери в меди индуктора 1250 W, прочие потери 150 W.

При режиме фазокомпенсатором потери в железе, с одной стороны, уменьшатся в отношении $\left(\frac{B_{0н}}{B_0}\right)^2 = \left(\frac{E_k}{1,06 E_{0н}}\right)^2 = 0,08$, а с

другой стороны, увеличатся в отношении $\left(\frac{n_k}{n_{0н}}\right)^2 = 1,7$; потери в меди якоря уменьшатся в отношении $\left(\frac{379}{0,87 \cdot 410}\right)^2 = \frac{1}{1,06}$; потери

в индукторе исчезнут и, наконец, механические и прочие потери увеличатся приблизительно пропорционально числу оборотов в минуту. Общие потери, таким образом, составят: $1510 + 170 + 1330 = 3010 \text{ W}$, на какую мощность и должен быть подобран привод компенсатора.

4/X 1933 г.

ХРОНИКА

Всесоюзный энергетический комитет рабочих, научной и инженерно-технической общественности (ВЭК-РНТО)

Работа Московского изоляционного бюро

Московское изоляционное бюро при электротехническом секторе Всесоюзного энергетического комитета рабочих, научной и инженерно-технической общественности объединяет и организует работников в области получения, использования и исследования электроизоляционных и материалов.

В конце 1933 г. бюро приняло решение о наибольшем оживлении работы и о максимальном приближении ее к интересам производства. В качестве средства оживления предположено часть совещаний бюро проводить непосредственно на предприятиях и в научно-исследовательских учреждениях, более тесно связаться с заводами, организовав на них местные ячейки бюро, практиковать метод создания рабочих бригад, и вообще во всей работе ставить упор на решение конкретных задач и устранение узких мест сегодняшнего дня нашей электротехнической промышленности.

За время, оставшееся до конца 1933 г., бюро провело следующие совещания:

В конце 1933 г. на Московском электроизоляционном заводе (МЭИЗ) были заслушаны доклады завода МЭИЗ (т.т. Гринштейн и В. Б. Березин) о производстве кембрика, были подвергнуты обсуждению вопросы качества кембрика и требования, предъявляемые к нему заводами-потребителями, представленными на совещании. Рассматривались также вопросы унификации методики испытаний, производство черного (асфальтового) кембрика и кембриковой ленты, вопросы снабжения сырьем и распределения продукции. Разрешен вопрос об издании литературы по кембрику. Выделена рабочая бригада для обеспечения реализации решений совещания.

На совещании при ВЭК-РНТО по вопросу применения стекловидных электроизолирующих эмалей Б. М. Тареев (завод „Динамо“) сделал сообщение о применении этого нового вида изоляции, находившего себе место до сих пор лишь для изоляции трубчатых сопротивлений, о возможности использования эмалей как теплостойкой изоляции, как заменителя других изоляционных материалов и о подлежащей дальнейшей разработке тем научно-исследовательских работ. В сообщении и в выступлениях присутствовавших представителей научно-исследовательских институтов и заводов указан целый ряд случаев, где возможно применение эмалей—пазовая и лобовая изоляция машин, изоляция роторов асинхронных двигателей, электрические кипятильники, прокладочные шайбы и т. п. Как особо важную проблему совещание отметило изучение проблемы нанесения расплавленной эмали пульверизацией. Совещание наметило распределение исследовательских работ в области эмали между ЛЭФИ, Лабораторией завода „Динамо“, Керамическим институтом и ВЭИ.

На конференции по асбестовым изоляционным материалам при заводе „Динамо“ были заслушаны доклады проф. В. В. Аршинова (Инсти-

тут прикладной минералогии—ИПМ) об асбесте как минерале, инж. М. А. Романова (завод „Динамо“) о значении асбеста как электроизоляционного материала в электромашино- и аппаратостроении и важнейших задачах, стоящих перед электроизоляционной техникой в деле расширения возможностей его использования, доц. Меренкова (ИПМ) о месторождениях в СССР и о физико-химических свойствах хризотил-асбеста, инж. Бродского (ИПМ) о способах обогащения асбеста, проф. А. А. Брюшкова (Институт асбестовой промышленности—АНИ) о новых работах АНИ, о получении исключительно тонких (до 8μ —тонкость, ранее совершенно невыполнимая как для советской, так и заграничной техники) и прочных асбестовых бумаг, о прокладках асбобумаг и о получении комбинированной асбобумаги высокой диэлектрической прочности с использованием дешевой гидрослюды—уральского вермикулита, проф. Н. И. Красильникова (АНИ) о налаживании в СССР производства электроизоляционных асбестовых лент и тканей, инж. Б. М. Тареева (завод „Динамо“) об исследовательских работах по асбесту в изоляционной лаборатории завода „Динамо“, инж. Хаустова (Асбоцементный завод в г. Ростове-на-Дону) о производстве асбоцементных досок, инж. М. А. Трахтенберга (завод „Динамо“) о требованиях электропромышленности к асбоцементным доскам и о недостатках работы Союзасбеста в этой области, инж. Васильева (АНИ) об исследовательских работах АНИ по асбоцементу и инж. Э. М. Фейгиной (завод „Динамо“) о разработанной химической лаборатории завода „Динамо“ методике определения железа в асбесте. После обмена мнениями конференция приняла ряд резолюций по организации научно-исследовательских и производственных работ в области асбестовой изоляции. Стенографический отчет конференции готовится к печати.

Намечаемый план работ бюро на 1934 г. (помимо текущей работы по разработке стандартов, консультации проектов, учебной и издательской работы и т. п.).

I квартал

Проведение совещаний:

1. По эмалированным проводам (вопросы методики испытаний, вопросы качества и сырьевой базы в связи с изъятием импорта, унификации номенклатур и технических условий).
2. По базальту (расширение применения базальта как изоляционного материала, улучшение работы камнеплавильных заводов).
3. По сегнетоэлектрикам (теоретические вопросы, новые сегнетоэлектрики, пути практического использования сегнетоэлектриков).
4. Подготовка к проведению III Всесоюзной конференции по изоляционным материалам (предлагается к проведению в середине апреля 1934 г. в Ленинграде).

II квартал

1. Участие в проведении III Всесоюзной конференции по изоляционным материалам.
2. Проработка вопросов с проведением совещаний по:
 2. Сложной изоляции (гэтинакс, фенолит и т. п.)—вопросы качества, сырьевой базы, освоения иностранного технического опыта и новых способов производства.
 3. Стандартизации и унификации методики испытаний миканитовых изделий.
 4. Вопросам транспорта и складского хранения изоляционных материалов и изделий.
 5. Организация совместно с ОПТЭ разведок запасов минерального изоляционного сырья.

III квартал

Проработка вопросов с проведением совещаний:

1. Об использовании в электротехнике обогороженного дерева (пропитанная, прессованная и плавная древесина) и твердых пород.
2. О высыхающих маслах в СССР и замене импортных масел.
3. О производстве теплостойкого миканита.
4. Об установлении испытаний теплостойкости, огнестойкости, дугостойкости и жаростойкости.

5. О возможности применения гагата и пластмасс на основе гагата в сильноточной электропромышленности.

IV квартал

1. Обсуждение итогов исследовательских работ в области изоляции в 1934 г. и планов работ 1935 г. по институтам и заводским лабораториям электропромышленности СССР.
- Проработка вопросов:
2. О поведении электрической изоляции в условиях низкой температуры.
 3. Старение изоляционных материалов под воздействием различных факторов.
 4. О производстве линейных и станционных изоляторов для весьма высоких напряжений.
 5. О производстве микалекса и применении его в радиотехнике и сильноточной электропромышленности.
- Настоящий план является предварительным, так как в него возможно включение тех тем, которые будут выдвинуты жизнью в качестве особо срочных.
- Бюро просит всех товарищей, заинтересованных в его работе или желающих выдвинуть для обсуждения те или иные вопросы или предложения, обращаться по адресу: Москва, Красная площадь д. 9/2, ВЭК-РНТО, Изоляционное бюро.

Ученый секретарь бюро инж. Б. М. Тареев

I Всесоюзный светотехнический съезд

Президиум ВЭК—РНТО утвердил следующий план работ I Всесоюзного светотехнического съезда, созываемого в 1934 г.

№ по пор.	Наименование доклада	Докладчик или учреждение	№ по пор.	Наименование доклада	Докладчик или учреждение
П л е н у м			Секция светотехнической промышленности		
1	Итоги развития светотехники в СССР за первую пятилетку и ее значение в народном хозяйстве в связи с задачами второй пятилетки	Проф. Б. Ф. Федоров	1	Производство ламп накаливания и новые стандарты на них	Инж. Алаторцев
2	Проблема новых источников света	Проф. С. О. Майзель	2	Производство газосветных ламп	Инж. А. П. Иванов
3	Современные технико-экономические проблемы промышленного освещения	Инж. А. А. Труханов	3	Производство и стандартизация эмалированной и стеклянной осветительной арматуры	Проф. Л. Д. Белькинд
4	Современные технико-экономические проблемы транспортного освещения	Проф. П. Н. Костромитин	4	Производство и стандартизация зеркальной арматуры	Ермолинский (ВЭИ)
5	Экономика светового хозяйства городов	Проф. П. М. Тиходеев	5	Производство и стандартизация прожекторов	Электрозавод
6	Современные проблемы специальной светотехники		6	Производство аппаратуры театрального освещения	Д. Н. Лазарев
Секция физических и психо-физиологических основ светотехники			7	Производство стекла для нужд светотехники	ВЭИ
1	Современные воззрения на природу чистой энергии	Акад. Рождественский	8	Производство фотометрических приборов	М. М. Гуревич
2	Результаты работ по изучению влияния условий освещения на зрительные восприятия	Проф. С. В. Кравков	9	Производство фотоэлементов	„Светлана“
3	Влияние условий освещения на профзаболевания и, в частности, на болезни органа зрения		10	Производство установочных материалов (щитки, выключатели и пр.)	Инж. Г. М. Пасибов
4	Новые характеристики условий освещения (вопросы качества освещения)	Д-р Сахновский	11	Производство и стандартизация конструкций местного освещения	Инж. Е. Д. Суворов
5	Теория, изготовление и применение фотоэлементов	Проф. А. А. Гершун	12	Требования светотехники к изделиям кабельной промышленности	Инж. П. Ф. Надеждин
6	Достижение в области световых измерений при помощи глаз	В. В. Тимофеев (ВЭИ)	Секция промышленного освещения		
7	Современные проблемы цветоведения и цветных измерений	Проф. П. М. Тиходеев	1	Выбор наиболее выгоднейших условий освещения	Инж. А. А. Труханов
8	Расчет осветительных приборов	Л. И. Демкина	2	Нормирование промышленного освещения	Инж. Р. А. Сапожников
9	Перспективы усовершенствования ламп накаливания	Г. Г. Бодырев	3	Сравнение и рекомендация способов расчета освещения	Инж. Е. Н. Яковлев
10	Теория и устройство газосветных ламп	Инж. А. М. Сабуренков	4	Выбор напряжения для осветительных установок (общее освещение)	Проф. Хрущов
11	Лампа жизни (солнечная лампа)	Б. И. Клярфельд (ВЭИ)	5	Особенности расчета электрических осветительных сетей, в частности, расчет сети на минимум меди с учетом групповой проводки, расчет трехфазных сетей с однофазной нагрузкой, вопросы эластичности осветительных сетей	
12	Вопросы смешанного и цветного освещения	Инж. С. М. Борщевский	6	Экономика нормирования и расчет естественного освещения	Инж. Е. Н. Яковлев
		Проф. С. О. Майзель	7	Современные проблемы освещения в	Проф. А. А. Гершун
					Инж. Л. Е. Слухай-

№ по пор.	Наименование докладов	Докладчик или учреждение
8	Освещение открытых пространств и в частности строительных работ, его нормирование и экономика	Инж. В. В. Мешков
Секция транспортного освещения и сигнализации		
1	Современные проблемы световой сигнализации и светосигнальные установки на водном и воздушном транспорте	Инж. М. В. Соколов
2	Светосигнальные установки на рельсовом транспорте	И. Х. Озолинг
3	Осветительные установки на воздушном транспорте	Инж. Г. К. Устюгов
4	Автомобильное освещение	
Секция светового хозяйства города		
1	Нормирование уличного освещения	Проф. Б. Ф. Федоров
2	Фонарное и прожекторное освещение улиц и площадей	Л. В. Бурде (ВЭИ)

№ по пор.	Наименование докладов	Докладчик или учреждение
3	Светосигнальные установки в коммунальном хозяйстве	
Секция декоративного и театрального освещения		
1	Светооборудование театральных сцен	Д. Н. Лазарев
2	Внутреннее декоративное освещение и световая архитектура	ГОИ
3	Расчет архитектурного освещения	Проф. П. М. Тиходеев
4	Освещение витрин	Инж. Г. М. Кнорринг
5	Иллюминация города	Инж. Л. Е. Слухай-Натальченко
6	Световая агитация	Инж. И. Б. Левитин
7	Световая реклама	ЛОВЭК
8	Световое оформление фасадов	Инж. Л. Е. Слухай-Натальченко
9	Нормирование освещения в кинопроекции	Инж. Горбачев
10	Освещение Дворца советов	ГОИ

Всего по съезду 56 докладов.

Энергетическое хозяйство за 1933 г.

Установленная мощность районных станций СССР, включая мощность промышленных станций районного значения (Баку, Грозный, Магнитогорск, Кузнецк, Березники) с 2 988 MW на 1 января 1933 г. возросла до 3 666 MW на 1 января 1934 г. Прирост 22,8%.

Общая мощность всех станций СССР с 4 590 MW на 1 января 1933 г. выросла до 5 360 MW на 1 января 1934 г. Прирост 16,8%.

Удельная роль районных станций, топливоснабжение которых базируется на использовании местных энергетических ресурсов, выросла с 31% в 1928 г. до 68,5% на 1 января 1934 г.

В течение 1933 г. пущены в эксплуатацию нижеследующие мощности на новых и расширенных станциях Главэнерго (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Новые станции, пущенные в 1933 г.

Наименование станции	Мощность MW
ВТИ	12
Свирь	48
Дубровка	100
Воронеж	24
Каз. тэц	20
Рионгрэс	24
Дзорагрэс	15
Кадырья	13

Таблица 2

Мощность, вступившая в эксплуатацию в 1933 г. на расширенных станциях

Наименование станции	Мощность MW
I Мгрэс	12
Шатура	44
Орехово-Зуевская тэц	4
II Лгрэс	12
Челябгрэс	24
Егоршинская	12
Грэс им. Артема	24
Горьгрэс	46
Новосибирск	6,0
Севдонгрэс	22
I-я Харьковская	9,5
Одесская	6,0
Днепропетровская грэс	124,0
Грэс	24,0
Дзержинская	24,0

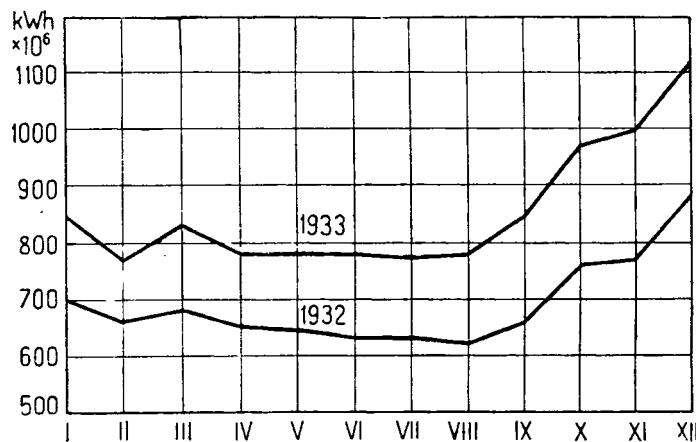


Таблица 3^а

Производство электрической энергии за 1933 г.

Наименование районного управления	За 1933 г.	За 1932 г.	Прирост %
Мосэнерго	2 947,8	2 416,6	22,0
ВТИ	11,0	—	—
Ленэнерго	1 722,2	1 522,7	13,0
Донэнерго	1 701,3	1 303,1	30,0
Харэнерго	230,0	20,4	4,0
Уралэнерго	670,0	516,7	29,2
Горьэнерго	511,4	525,2	—
Ивэнерго	463,7	255,4	82,0
Севкавэнерго	402,7	360,3	11,8
Днепроэнерго	559,1	248,0	125,0
Киевский ЭК	150,7	129,9	16,0
Одесский ЭК	147,5	144,1	2,0
Самарский ЭК	52,0	47,3	10,0
Саратовский ЭК	65,0	60,3	7,9
Сталинградский ЭК	167,0	124,3	34,1
Казанский ЭК	54,6	—	—
Воронежский ЭК	8,0	—	—
Брянский ЭК	32,1	97 (27)	18,8
Белорусский ЭК	64,7	60,8	7,2
Крымский ЭК	37,9	31,4	21,0
Закавказье ЭК	114,5	135,6	40,0
		(81,6)	
Новосибирский ЭК	37,4	28,0	33,3
Архангельский ЭК	70,4	59,3	18,7
Кондопожский ЭК	11,5	11,3	1,8
Казэнерго	1,5	—	—
Среднеазиатское	16,0	—	—
	10 250,0	8 297,2	23,5
		(8 173,2)	(25,2)

Таблица 4
Удельный расход условного топлива

	За 11 мес.		Сниже- ние по отноше- нию к 1932 г. %
	1932 г. kg/kWh	1933 г. kg/kWh	
1. Все станции Главэнерго:	0,775	0,728	6,2
В том числе			
Торфяные станции	0,724	0,696	3,9
Станции на уральском угле	0,813	0,777	4,3
” ” донецком угле	0,795	0,706	11,4
” ” нефти	0,746	0,776	—
” ” смешанном топливе	0,894	0,880	1,7
А. Торфяные станции			
Шатурская грэс	0,693	0,668	3,8
Грэс „Красный Октябрь“	0,791	0,766	3,2
Горьгрэс	0,664	0,639	3,6
Ивгрэс	0,645	0,565	12,3
Брэс	0,944	0,996	—
Яргрэс	0,778	0,690	11,5
Белгрэс	0,772	0,881	—
Гэс им. Классона	0,815	0,715	—
Б. Угольные станции			
Челябгрэс	0,643	0,620	3,5
Кашира	0,663	0,617	6,8
Зуевка	0,730	0,653	10,5
Штергрэс	0,744	0,710	4,6
Грэс им. Артема	0,716	0,662	7,5
Сталгрэс	0,796	0,780	1,1
Саргрэс	0,800	0,826	—

	За 11 мес.		Сниже- ние по отноше- нию к 1932 г. %
	1932 г. kg/kWh	1933 г. kg/kWh	
В. Нефтяные станции			
Г Мгэс	0,663	0,682	—
Новорэс	0,703	0,703	—
Краснодар	1,060	0,962	9,3
Самгрэс	0,712	0,720	—

Производство электрической энергии районными станциями (включая и промышленные станции районного значения) выразилось в 1933 г. в $11,4 \cdot 10^9$ kWh (станциями Главэнерго $10,25 \cdot 10^9$) против $9,217 \cdot 10^9$ kWh в 1932 г. Прирост 23,5%.

Всеми станциями Союза произведено в 1933 г. $15,86 \cdot 10^9$ kWh против $13,39 \cdot 10^9$ kWh в 1932 г. Прирост 18,1%. Выработка станций Главэнерго по районам приводится в табл. 3.

Тепловой энергии станциями Главэнерго отпущено в 1933 г. 2 452 тыс. мегакалорий против 1 800 тыс. мегакалорий в 1932 г. Прирост 36%.

Удельный расход условного топлива на один производственный киловаттчас за 11 мес. 1933 г. по сравнению с тем же периодом 1932 г. приводится в табл. 4. 1933 г. дал дальнейшее снижение этого важнейшего качественного показателя работы грэс, несмотря на то, что на многих станциях условия топливоснабжения были неблагоприятны.

Коэффициент использования установленной мощности по грэс Главэнерго достиг в 1933 г. 42,3 против 41,2% в 1932 г.

По Московскому району отмечается рост с 50,3 до 57,7%; по Ленинградской области с 52,2 до 53,5%; по Донбассу с 33,1 до 42,3%; по Ивановскому району с 24 до 41%.

Существенные достижения мы имеем на грэс Главэнерго в отношении лучшего использования местного топлива. Производство электрической энергии на местном топливе составило в 1932 г. 59,1%, в 1933 г.—достигло 64%. На гидроэнергии имеем—10,3 против 8,4% в 1932 г. Роль привозного топлива упала с 32,5 до 25,7%.

П. С

БИБЛИОГРАФИЯ

SOCIÉTÉ ELECTRO-CABLE. Les conducteurs pour lignes électriques aériennes, изд. Ehrmann, 1931, 212 стр., цена в переплете 140 франков

Разбираемая книга издана крупной французской фирмой, изготовляющей провода и кабели. Содержание отдельных глав книги следующее:

Глава I—таблицы важнейших коэффициентов для проводов из различных металлов; глава II—принципы электрического расчета проводов; главы III и IV—принципы механического расчета воздушных линий; глава V—выбор проводов; глава VI—линии очень высокого напряжения; глава VII—линии связи, распределительные шины, заземления; глава VIII—некоторые элементы расчета опор; глава IX—употребительные вспомогательные таблицы (тригонометрические величины, логарифмы и пр.).

К данной книге при первом знакомстве с ней приходится, конечно, относиться, как и ко всякому фирмовому изданию, с некоторой осторожностью, подвергая содержание ее тщательной критической проверке. Подобную проверку настоящее издание выдерживает полностью, насколько это можно установить путем сравнения содержащихся в ней данных со сведениями по тем же вопросам из других источников. Кроме того, разбираемая книга была весьма сочувственно встречена иностранной критикой, в том числе и немецкой, вообще говоря, не очень-то склонной расточать излишние похвалы по адресу книг на французском языке. Книгу, несомненно, можно рекомендовать как ценное пособие при проектировании воздушных линий. Она содержит весьма интересные данные о проводах из различных сплавов алюминия и омедненной стали. Кроме того, читатель найдет в книге некоторые своеобразные видоизменения употребительных методов расчета в форме весьма удобной для практического пользования.

Представляется сомнительным, нужно ли было включать в книгу такое большое количество вспомогательных таблиц всякого рода (тригонометрические величины, кубы, квадраты, различные меры, веса, гиперболические функции и пр.). Так как подобные таблицы можно найти в целом ряде весьма распространенных справочных изданий (хотя бы, например, в Hütte), то думается, что их смело можно было и не помещать в данной книге.

Проф. В. Хащинский

Electrotechnische Gesellschaft ETG Frankfurt am Main 1881—1931. Geschichtstafeln der Elektrotechnik. Zusammengestellt von Prof. Dipl. Ing. Sigwart Ruppel. Frankfurt am Main, 1931, цена 6 германских марок

В начале книги помещено описание Международной электротехнической выставки 1891 г. во Франкфурте на Майне и первой значительной линии передачи энергии Лауффон Франкфурт.

Далее книга содержит систематизированные по различным отраслям электротехники хронологические даты. В каждом отделе на особом листе помещены изображения, отмечающие важнейшие этапы прогресса электротехники; на этих изображениях сопоставлены современные конструкции различных предметов электротехнического оборудования с их прототипами.

В конце помещен краткий обзор развития электрических станций в Германии с 1881 г., принадлежащий перу известного электротехника Н. Passavant.

Изложение истории развития отдельных отраслей электротехники можно найти в книге Герцога и Фельдмана „Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze in Theorie und Praxis“, в книге Клейна „Kabeltechnik“, у проф. В. А. Толвинского в его „Электрических машинах постоянного тока“, в преследующей специально исторические цели, но написанной по заданиям фирмы книге Meyer'a „Fünfzig Jahre bei Siemens“. Книжка о работах русских электротехников выпущена в начале второго десятилетия нашего века Русским техническим обществом. В остальном же приходилось искать сведений по истории нашей науки в журнальных статьях.

Появление рецензируемой книги, содержащей сравнительно полные сведения по всем отраслям электротехники, следует приветствовать. В книге уделено преувеличенное внимание достижениям немецких электротехников, вследствие этого она не дает объективного изображения участия других стран в прогрессе электротехники (в частности, почти не отражены на страницах книги работы русских электротехников). Большая часть книги содержит сухие хронологические даты. Все же составителями собран материал (хотя и нуждающийся в дальнейшей обработке), представляющий значительную ценность.

Проф. В. Хащинский

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

Электрические станции

Борьба с пожарами трансформаторов на открытых подстанциях „El. World“, 22, июль 1933, стр. 110—111

На основании анализа результатов ряда проведенных опытов по тушению пожаров трансформаторов автор приходит к заключению, что вода является наиболее действительным и экономичным средством для тушения наружных пожаров, которые могут случиться с трансформаторами на открытых подстанциях.

Вода должна подаваться в большем количестве в разбрызганном виде и должны быть приняты меры, чтобы под трансформатором не скопьялись лужи масла.

Против внутреннего пожара идеальным средством является углекислый газ.

Инж.-эл. А. М. Рушинская

Техника высокого напряжения и линии передач

М. NEUSTÄTER. Грозовые разряды на 100-kV линиях передачи. Доклад на Мировой конференции по высоким напряжениям, 1933 г.

Автор описывает наблюдения нескольких лет за грозовыми разрядами в 100-kV сети общей протяженностью 560 km. В этой сети благодаря наличию двух параллельных линий передачи, из которых одна была оборудована одним, а другая двумя заземленными тросами, сравнивались защитные действия заземленных тросов. Результаты получились следующие: на 100 km длины линии передачи и 100 гроз для линии только с 1 заземленным тросом было 21 перекрытие на опору, а на линии с 2 заземленными тросами—4,15 перекрытий на опору. Из этого следует отметить особое преимущество устройства линий передачи с 2 заземленными тросами. Эти цифры перекрытий относятся к опорам, на которых были разряды с проводов. Но могут быть удары молний в опору без перекрытия изоляции, поэтому рекомендуется для учета этих ударов устанавливать регистраторы прямых ударов молнии. Защитное действие одного заземленного троса противоречит данным теории, по которой для трех фаз одной опоры с тремя траверсами он является очень значительным. На самом деле, как отмечает автор, защитное действие одного троса в этом случае незначительно. Как указывает автор, перекрытия изоляции сразу в нескольких фазах бывают чаще, чем в одной фазе. При большом сопротивлении заземлений опор автор считает возможным обратные разряды с опор в провода линии передачи.

В шестилетних гирляндах изоляторов гораздо сильнее при разрядах повреждались элементы, ближе расположенные к проводу линии передачи, а также и элементы, расположенные ближе к траверсе, в то время как средние элементы в гирлянде повреждались значительно меньше. Разряды по изоляторам (каскадирование) наблюдаются крайне редко. Сопротивление заземления опор изменялось в пределах от 20 до 1 000 Ω . Зависимости грозовых аварий от сопротивления заземления опор автор не смог заметить. Но он указывает, что в одном из грозовых „гнезд“ удалось значительно повысить эксплуатационную надежность работы линии передачи, прохлотившей в этом районе, путем снижения сопротивления заземления опор, которое имело значительную величину. Для уменьшения сопротивления заземления, особенно в чисто песчаной почве, где оно достигало нескольких сотен ом, автор рекомендует забивать трубы до уровня грунтовых вод.

В описываемом случае эта глубина оказалась от 15 до 24 м. При этом в среднем улучшение сопротивления заземления было от 80 до 90%.

Инж. К. И. Пяртман

C. BFRGER и E. SCHNEEBERGER. Импульсный генератор на 1 000 kV с конденсаторами из высоковольтного кабеля. Доклад на Международной конференции по высоким напряжениям

Импульсные установки, в особенности применяемые для исследований на линиях передачи (где требуется весьма значительное импульсное напряжение), обычно состоят из большого числа конденсаторов, включаемых для генерирования импульсных напряжений по схеме Маркса. Авторы описывают импульсный генератор, у которого в качестве конденсаторов применен высоковольтный кабель на 350 kV постоянного тока. Генератор импульсов работает по схеме устроения напряжения. Для того чтобы получить значительную емкость кабеля, он выполнен пустотелым $\varnothing 11,25$ mm. Емкость кабеля составляет 0,33 $\mu\text{F}/\text{km}$. Кабель испытывался свыше 112 час. напряжением 140 kV переменного тока 50 Hz. Каждый отрезок кабеля, представляющий собою отдельный конденсатор, свернут в виде бухты. Длина кабеля в отдельной бухте равняется 370 м. Емкость отдельного элемента—0,245 μF . Емкость в „ударе“ генератора импульсов при теоретическом напряжении 1 050 kV составляет 0,0817 μF . Осциллограммы показали, что генератор импульсов с конденсаторами в виде высоковольтного кабеля практически ведет себя также, как при обычных конденсаторах. Преимущества кабельных конденсаторов заключаются в следующем: возможность получения

гораздо больших емкостей в схеме генератора импульсов, уменьшение количества ступеней генератора импульсов благодаря возможности выполнения кабеля на весьма высокие напряжения, достаточно легкое осуществление генератора импульсов на открытом воздухе для исследований на линиях передачи.

Инж. К. И. Пяртман

GOLLHOFER. Поворотная траверса с новым типом успокоителя от удара, „ETZ“, N. 33, S. 791.

Поворотные траверсы на опорах линий передачи служат для уменьшения удара на опору и на изоляторы при обрыве проводов. Описываемая в статье шарнирная соединенная со стойкой опоры поворотная траверса сконструирована так, что при обрыве проводов при помощи специального тормозящего приспособления—успокоителя (демпфера) от удара—уменьшается кручение стойки опоры.

Это устройство состоит в том, что между стойкой опоры и траверсой встраиваются специальные стержни, работающие на осевое сжатие и изгиб. Промежуточные звенья рассчитываются так, чтобы скручивающее усилие на стойке опоры не превосходило определенной величины. Затухание при повороте траверсы происходит за счет работы деформации промежуточных стержней.

Опыты, произведенные на опытном участке фирмы BBC, показали хорошую работу поворотной траверсы.

Испытания были произведены на двухцепных опорах с горизонтальным расположением проводов.

Во время опытов было установлено:

- 1) отклонение траверсы после обрыва провода происходит медленно и плавно;
- 2) во время отклонения траверсы качания изоляторов не наблюдалось; после обрыва одного провода на необорванных проводах не было заметно удара об арматуру, изоляторы, стойку и траверсу;
- 3) сказанное в пп. 1 и 2 относится также и к случаю обрыва двух проводов;
- 4) на второй промежуточной опоре, считая от места обрыва, отклонение траверсы было весьма незначительно;
- 5) время, требуемое для восстановления траверсы в нормальное положение, весьма мало (замена деформированных промежуточных стержней); провода после обрыва не требуют новой регулировки, потому что можно употреблять глухие зажимы. Необходимость в применении выпускающих зажимов отпадает.

Эти опыты вполне совпали с результатами ранее произведенных исследований поворотных траверс в линейных условиях.

Преимущество поворотных траверс состоит в том, что при них уменьшаются вес опор и объем фундаментов по сравнению с опорами с жесткими траверсами.

Работа описываемой траверсы в нормальных условиях аналогична работе жесткой траверсы, потому что отклонение траверсы можно ограничить до определенной величины, если оно вызывается ветром вдоль линии или разностью тяжелей проводов в соседних пролетах. Монтаж проводов происходит так же, как и при жестких траверсах. Естественно, что поворотные траверсы могут быть применены при любой подвеске проводов и в опорах из различного материала (железобетон, дерево).

При перестройке старых линий можно легко добиться повышения надежности линии путем замены жестких траверс на поворотные с успокоителем.

Инж. Г. Савицкий

F. D. FIELDER. Для импульсных испытаний нужны лучшие стандарты „El. World“, 30 сент. 1933, стр. 433—35.

Научное обоснование расчет изоляции высоковольтных аппаратов и устройств получает благодаря широко развивающемуся импульсному испытанию тех или иных объектов; однако ценность импульсных испытаний, проводимых в различных лабораториях, в значительной степени теряется вследствие отсутствия твердых стандартов в этой области. Соответствующая подкомиссия AIEE, выработавшая определение волны двумя цифрами (первая—время нарастания от нуля до максимума, вторая—время спадания от максимума до 50% амплитуды), еще не дала этим самым исчерпывающей определенности. Это определение не дает указаний на характер возрастания до максимума и спадания до 50% амплитуды, в то время как эти обстоятельства нельзя считать не существенными. Идеальная волна должна иметь хвост, следующий строго экспоненциальному закону. В действительности форма волны импульсного генератора в той или иной степени отличается от идеальной волны в зависимости от: 1) величины демпфирующего сопротивления и 2) места его включения в генераторе. Рис. 1 иллюстрирует сказанное: недостаточная величина сопротивления связана с наличием высокочастотных колебаний на фронте и максимуме кривой и колебаний более медленных при весьма малом расстоянии демпфирующего сопротивления. Чрезмерное увеличение демпфирующего сопротивления сопряжено с искривлением формы волны и ее удлинением. Опыт показывает

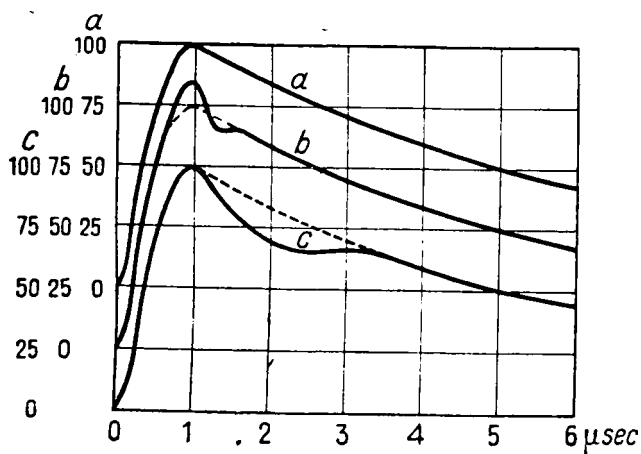


Рис. 1.

a—идеальная форма волны $1/5$; *b*—недостаточное демпфирующее сопротивление; *c*—неправильное расположение демпфирующего сопротивления

что искажения, вносимые в результате испытаний неправильным очертанием волны, сказываются в меньшей степени для волн с длинным хвостом. При длинных волнах и определении минимальных разрядных напряжений, т. е. при разряде на хвосте волны, наличие колебаний на фронте волны (рис. 1 *b*) не сказывается на результатах испытаний, и волны 1, *a* и 1, *b* в этом случае равноценны. Иная картина будет при волне формы 1, *c*. В этом случае наличие разряда при идеальной волне не всегда может соответствовать разряду на хвосте искаженной волны; можно полагать, что во втором случае разряда не будет при равных амплитудах. Мы видим, что рассмотренные случаи иллюстрируют затруднения, могущие возникнуть при сравнении результатов испытаний в различных условиях. Далее, автор спрашивает, как же поступать при оценке результатов испытаний, проведенных не стандартной волной, но зафиксированных во всех деталях катодным осциллографом. В случае незначительных отклонений и в предположении малого влияния высокочастотных колебаний на явление разряда автор рекомендует заменить действительную кривую эквивалентной идеальной.

В случае значительных расхождений следует изменить константы импульсного генератора для получения максимальных расхождений с идеальной кривой. Значительные затруднения возникают при осциллографировании волны, так как искажения в записи могут произойти вследствие непостоянства коэффициента деления делителя (его емкость), сооруженного из сопротивлений, и вследствие сглаживающего влияния кабеля подводящего записываемую волну к осциллографу. Опыт показывает, что высокочастотные колебания с амплитудой в 5% от основной волны сглаживаются в кабеле, и получается хорошая, плавная и гладкая волна в записи осциллографа. При хорошо рассчитанном делителе искажения происходят, главным образом, на фронте и у максимума кривой. Хвост волны, где в большинстве случаев происходит разряд, записывается почти без искажений, что дает возможность минимальных ошибок при анализе осциллограммы. Применение шарового разрядника для определения разрядных импульсных характеристик в связи с вышеизложенным может привести к значительным ошибкам: для волны 1, *b* ошибка может быть в 10—15%; при этом получим более высокие разрядные сопротивления, поскольку шаровые разрядники пробиваются при максимуме волны. Сглаженная волна (очень высокое демпфирующее сопротивление) дает на шаровых разрядниках преуменьшенные результаты сравнительно со стандартной волной. Отсюда—требование применить шары для измерения только для стандартных волн; в противном случае форма волны должна быть известна, и в отсчеты должна быть введена соответствующая поправка. В этих обоих случаях необходимо иметь хороший катодный осциллограф и соответствующий делитель напряжения. Автор указывает на парадоксальный вывод: измерения шаровым разрядником возможны только при наличии катодного осциллографа. Добавочные затруднения возникают в связи с использованием калибровочными кривыми для шаровых разрядников; приводимые автором кривые для шаров диаметром 50, 75, 100 и 150 см показывают значительное расхождение расчетных кривых с опытными при „+“ и „—“ волнах. Во всех случаях данные для „+“ волны выше, чем для „—“ волны. Расхождение между практическими и теоретическими (нормализованными) становится значительным для шаров в 50 и 100 см уже при малых расстояниях, для шаров в 150 см это расхождение начинается позже. Эти кривые были получены с помощью катодного осциллографа в Траффордской лаборатории. Выводы автора:

1. Необходимо полнее указать требования к стандартной волне.
2. При отсутствии стандартности волны надо создать единый метод приведения результатов.
3. Шаровой разрядник можно использовать только при наличии катодного осциллографа.

4. Необходима стандартизация калибровочных кривых шарового разрядника при измерениях импульсов.

5. Первичным стандартом для измерения импульсов может быть только катодный осциллограф с соответствующим делителем.

Инж. К. Стефанов

NORCROSS A. S. Новый метод уничтожения краевого эффекта при электрическом пробое, „The Review of Scientific Instruments“, Vol. 4, № 8, aug. 1933

Автор, описав вкратце методы уничтожения краевого эффекта, предложенные Мосцикким, Инге и Вальтером и Роховым, отмечает трудности и большую стоимость выполнения этих экспериментов.

Электроды, предлагаемые автором, состоят из латунных стаканчиков с П-образными выступами в дне, заключенных в теплоизолирующие цилиндры. Между ними и образцом проложены листочки станиола большего диаметра, чем соприкасающиеся с ними поверхности электродов. Последние нагреваются в центре электрическим способом, температура измеряется термопарой. Вся конструкция погружена до известного уровня в жидкий полупроводник с регулируемой температурой.

Был произведен ряд пробоев покровных стекол (толщина—200 μ) постоянным током при нагреве электродов от 47 до 55° С в кабельном масле и в ксилене. В кабельном масле пробой произошел в центре при разнице температур в центре и по краям на 6 и 7° С. В ксилене краевой эффект исчезал при разнице температур на 5 и 9° С.

Во всех случаях уничтожения краевого эффекта пробивное напряжение оказывалось одинаковым.

Г. Стеллих

F. S. DOUGLASS. Линия, защищенная от действия грозы, „El. W“, 24 июня 1933, стр. 820—822.

Установка деионизирующих защитных трубок на линии Clinton—Dubuque (Jowa) имела своим следствием полную ликвидацию выпадения линии из работы в период самых сильных гроз. С 1926 г. (года ее сооружения) в значительной степени повысились требования к бесперебойности ее работы; конструкция опор, в достаточной степени легких, не давала возможности ни подвесить заземленных тросов, ни увеличить число элементов в гирлянде (рис. 1). Кроме того, грунт обладал весьма неблагоприятным свойством—очень высоким переходным сопротивлением опор. Тщательное обследование возможностей защиты тросами и снижением переходного сопротивления приводило все же к выводу о возможности от 8 до 10 выпадений линии из работы в течение года.

Радикальным методом было бы полное переустройство линии, что было, конечно, сопряжено со значительными капитальными затратами. Единственным, экономически выгодным было снабдить линию деионизирующими трубками, расположенными под каждой из гирлянд (гирлянды по 4 элемента нормальных размеров: 10" и $5\frac{3}{4}$ "). Как видно из рис. 1, трубка расположена под гирляндой и снабжена сверху дугой, гарантирующей неизменность расстояния между зажимом провода и трубкой (в электрическом отношении) при качании первого. С этими трубками был проведен предварительно ряд опытов на установке при 66 kV с глухозаземленной нейтралью.

Токи короткого замыкания имели величину порядка от 600 до 1200 А. В лабораторной обстановке были воспроизведены в основном расположение трубки как относительно гирлянды, так и окружающих раскосов опоры. При этом воздушный зазор между линейным зажимом и дугой трубки был максимум 5" (в большинстве установок он был 4"). Испытательная волна была 1,5—40 μ с.

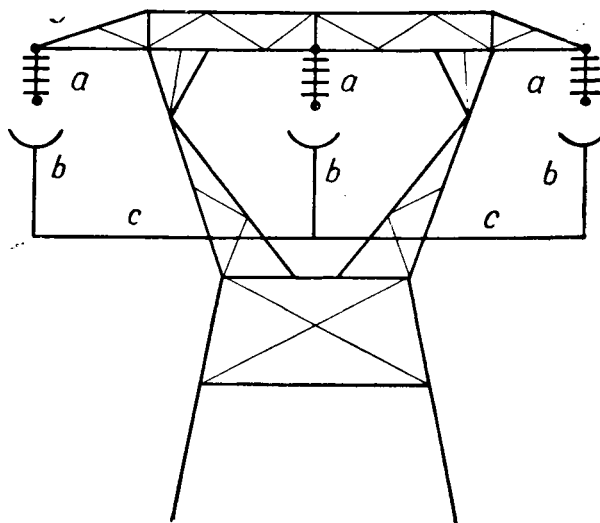


Рис. 1. Эскиз расположения защиты гирлянд: *a*—гирлянда в 4 элемента; *b*—защитная трубка с дугой; *c*—траверса, на которой закреплены трубки

Амплитуда импульсов была до 1500 kV, при этом ни разу не наблюдалось разряда по гирлянде (из 50 опытов в процессе испытаний). Проводимые автором вольт-временные характеристики искрового промежутка трубки и гирлянды в 4 элемента показывают координированность изоляции в случаях обычных запаздываний разряда. Желание защитить каждую из гирлянд линии обусловило установку трубки под каждой гирляндой. Определение 60-периодных сухих и мокрых разрядных напряжений всего устройства дало соответственно 160 и 22 kV эффективных, т. е. примерно вдвое и вчетверо больше напряжения относительно нейтрали. Вся установка была исследована с точки зрения влияния на радиоустановки; опыт показал, что наличие трубок не влияет на снижение интерференционного напряжения. Опыты были проведены как с помощью короткого замыкания тонким проводником, так и с помощью импульсного генератора. Интересно, что в последнем случае не все разрывы заканчивались коротким замыканием питающей установки. При испытаниях не наблюдалось ни одного случая отказа трубки. Наблюдение над установкой с 1932 г. показало отличную работу трубок без их повреждений при всех атмосферных режимах, а также без разрядов по гирляндам и перерывов в работе линии (длина линии 54 мили).

Инж. К. Стефанов

Е. MARX и Н. GOSCHEL. Потери на корону при высоком напряжении постоянного тока, „ETZ“, № 46, 1933, стр. 1112

Вопросы, связанные с проблемой передачи сверхмощностей на очень далекие расстояния постоянным током высокого напряжения, в последнее время приковывают все большее внимание. Поэтому

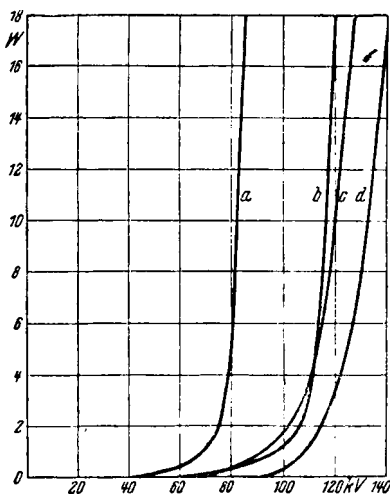


Рис. 1. Потери на корону нормального медного провода сечением в 120 мм²

a — при 50 Hz (эффективное значение); *b* — при 50 Hz (амплитудное значение); *c* — при отрицательном постоянном напряжении; *d* — при положительном постоянном напряжении

значительный интерес представляют проведенные авторами сравнительные измерения потерь на корону при высоком напряжении постоянного и переменного токов на проводах с сечением в 70 мм², 120 мм² и полым проводе диаметром в 25 мм.

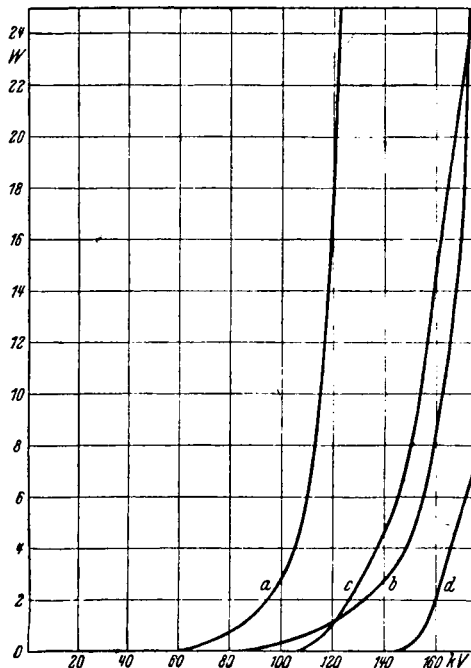


Рис. 2. Потери на корону медного полого провода диаметром в 25 мм:

a — при 50 Hz (эффективное значение); *b* — при 50 Hz (амплитудное значение); *c* — при отрицательном постоянном напряжении; *d* — при положительном постоянном напряжении

Для измерений исследуемые провода располагались вертикально в центре цилиндра, изготовленного подобно наружному цилиндру конденсатора Петерсена. Длина проводов и диаметр цилиндра на

измерениях не учитывалось различие в не вполне однородных внешних поверхностях проводов.

Переменное напряжение к проводам подавалось от трансформатора мощностью 200 kVA, развивающего напряжение до 500 kV относительно земли. Измерения потерь при переменном напряжении производились при помощи моста Шеринга.

Постоянное напряжение получали присоединением к тому же трансформатору двух последовательно соединенных вентиляльных трубок с накаляемым катодом на 250 kV каждая. Для равномерного распределения напряжения по трубкам провод, соединяющий обе трубки, вынужденно заземлялся через большое сопротивление. Пульсирующее постоянное напряжение сглаживалось конденсатором в 0,005 μF. Потери при постоянном напряжении измерялись при помощи гальванометра с вращающейся катушкой.

Из рис. 1 и 2 следует, что начальное напряжение образования короны при постоянном токе больше, чем при амплитудном значении переменного тока. Кроме того, при постоянном токе начальное напряжение короны на положительном проводе значительно больше, чем на отрицательном. В обоих случаях разница между начальными напряжениями короны растет с ростом диаметра провода.

Далее необходимо отметить, что кривые потерь на корону (потери на рисунках отложены в ваттах для длины в 6,9 м) пересекаются при отрицательном проводе и амплитудном значении переменного напряжения. Поэтому для определенного напряжения потери на корону при переменном токе меньше, чем при постоянном токе у отрицательного провода. В случае положительного провода потери на корону значительно меньше потерь при отрицательном проводе и переменном напряжении (амплитудные значения), взятых для любого одинакового напряжения.

Таким образом передачу электрической энергии постоянным током очень высокого напряжения для получения малых общих потерь можно производить либо только по положительному или отрицательному проводу, взятому с большим диаметром, чем положительный провод, либо по обоим проводам одинакового диаметра при различных напряжениях относительно земли.

Кроме того, экспериментальные данные (рис. 1 и 2) позволяют прийти к тому практически важному выводу, что при одинаковых потерях на корону напряжение положительного провода может превышать на 20 ÷ 30% амплитудное значение напряжения переменного тока или на 75% его эффективное значение.

Отсюда следует, что так как передаваемая мощность при одинаковых относительных потерях мощности растет пропорционально квадрату напряжения, то можно передавать при равных потерях на корону по проводам одинакового диаметра в случае положительного постоянного напряжения утроенную мощность по сравнению с таковой при переменном напряжении.

Инж. Ис. Г. Герценштейн

Опыты искусственного старения кабелей высокого напряжения „R G E“, 23 дек. 1933, стр. 861

Опыты производились компанией Эдисона в Чикаго согласно требованиям заказчика с целью исследования 66 киловольтных кабелей перед вступлением их в службу, так как по техническим условиям требовалось кроме обычных испытаний, длящихся короткое время, подвергнуть кабели длительному действию напряжения, притом при напряжении во много раз выше нормального. Так как подобное испытание при обычных условиях кабеля длилось бы по меньшей мере 2—3 года, то и было решено сделать это испытание скорее путем перенапряжения искусственным способом. Применявшиеся при этом способы испытания заключались в том, что образцы кабеля подвергались нескольким циклам нагрузок, и при этом каждый раз время от времени определялся фактор мощности кабеля. Циклы нагрузок тут были следующие: мимо кабеля пускался ток, причем кабель охлаждался водяной рубашкой или же кабель погружался в масляную ванну, которая попеременно то нагревалась, то охлаждалась, или же, наконец, пускали ток в провод, а кабель оставался свободно в воздухе, но с циркуляцией или без циркуляции тока в свинцовой оболочке. Напряжения, которым кабель при этом подвергался, брались в 1,5 ÷ 3 раза выше нормальных. Испытания длились без перерыва от 2 до 84 дней. Температура держалась в пределах от наружной до некоторой максимальной, которая была в пределах от 50 до 85° C. Наиболее длительная нагрузка, оставшаяся без перемен, продолжалась 18 дней.

Опыты были поставлены так, что во всякое время можно было измерять фактор мощности кабеля, не прерывая испытания. Всего, таким образом, был испытан 21 образец. Опыты эти позволили в несколько недель в кабелях всех качеств достигнуть той же степени повреждения или понижения изоляции, которая была установлена на опыте с кабелями тех же типов после нескольких лет службы. При этом критерием качества кабелей служила степень устойчивости изоляции, которая определялась по фактору мощности кабеля или же (небольшому) изменению фактора ионизации во время этих испытаний; кроме того, делались исследования изоляции после испытаний на предмет выяснения того, есть ли какие-либо следы повреждения в ней и т. п.

При этом, понятно, чрезмерно суровых условий при опытах, которые могли бы привести к диэлектрическим разрывам, не создава-

напряжение можно брать равным двойному нормальному или даже выше и уменьшать время испытаний и стоимость их.

С тех пор как подобные испытания кабелей вошли в практику в Чикаго, сортировка кабелей стала более совершенной, а случаи порчи кабелей в службе очень сильно уменьшились.

Инж. И. И. Тихонов

J. J. Torok, W. R. Ellis, Расчет линии передачи, „El. journal“ № 11 1933, стр. 467

Назначение заземляющего троса—перехватить на себя прямой удар молнии и отвести волну перенапряжения в землю. В двухцепных линиях трос следует располагать над крайними проводами, в одноцепных с горизонтальным расположением следует установить трос так, чтобы плоскость троса и крайнего провода образовала не больше 20° с вертикалью. Наименьший зазор между тросом и проводом в середине пролета должен иметь электрическую прочность, немного большую, чем разрядное напряжение гирлянды. Для хорошо изолированных линий этот зазор может быть оценен по мнению автора в 35 фут. Увеличение высоты опоры вследствие этого связано с увеличением расходов на линию, поэтому целесообразно давать тросу наибольшее тяжение и, следовательно, минимальную стрелу провеса. Автор указывает, что разницу в стрелах провеса троса и провода можно иметь до 10 фут. Связь между заземляющими тросами в нескольких точках пролета, очевидно, снижает амплитуду перенапряжения с точки зрения уменьшения волнового сопротивления тросов; подвес двух параллельных тросов и возможно допустимое их сближение с защищаемыми проводами желательны для снижения амплитуды перенапряжения.

Расстояния между проводами определяются из условия, главным образом, наибольшего сближения провода и опоры при ветре. Все факторы в этом случае могут быть достаточно точно учтены, однако, следует оценивать это сближение с двух точек зрения: 1) наибольшее сближение при грозе и расчет искрового промежутка на грозовое перенапряжение; 2) максимально возможное сближение для пробоя промежутка при перенапряжениях от нормальной частоты. Эти последние автором берутся максимум 5-кратными относительно фазового рабочего напряжения, в обычных же условиях они не бывают больше 3,5-кратными. Автор дает кривые зависимости углов отклонения от силы ветра для сталь-алюминевых и медных проводов, провода одновременно расчетную формулу

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{p \left(\frac{d+2t}{12} \right)}{w=1,25(dt+t^2)} \right],$$

где p — давление ветра в футах на кв. фут;
 d — диаметр провода в дюймах;
 t — толщина гололеда в дюймах;
 w — вес провода в футах на фут.

Вопросу о вибрации проводов автор уделяет некоторое внимание, указывая, однако, на неизученность вопроса в настоящее время и необходимость вести дальнейшие исследования. Ряд мер борьбы с „танцующими“ проводами уже предложен, и их не следует игнорировать. Переходное сопротивление заземления опоры является весьма существенным фактором, определяющим величину потенциала (относительно земли) у вершины опоры в момент удара молнии, и следует предпринимать все меры для снижения переходного сопротивления: 1) забивка дощавочных труб и сеток, связываемых с металлом опоры, 2) устройство своего рода противовесов—радиально от опоры закрытых в землю проводов. В последнем случае длина кабелей должна быть небольшой, так как снижение волнового сопротивления далеко не пропорционально их длине, поэтому предпочтительнее иметь ряд коротких кабелей, чем один равной им длины. Соединение опор между собой зарытыми в земле кабелями дает хороший эффект в смысле снижения переходного сопротивления опоры. Указывая на недостаток имеющегося материала о перерывах работы линий передач вследствие гроз, автор проводит все же кривую зависимости общего числа выпадения 100 миль линии в течение одного года в предположении 30-грозовых дней в году; эта кривая в форме таблицы такова:

Степень изоляции линий kV	Число выпадов из работы
12 000	1,75
10 000	2,2
8 000	4,0
6 000	7,0
4 000	12,0
2 000	23,0

Электрический расчет опор может идти тремя путями: 1) для данной гирлянды и опоры рассчитывать расположение и действие заземленного троса; 2) для данной амплитуды перенапряжения определить число элементов гирлянды и высоту подвеса троса; 3) расчет линии на некоторую степень защищенности, определяемой экономическими соображениями; учет удорожания линии при снижении расходов, вызываемых перерывами снабжения от грозных аварий.

Для приближенного расчета расстояния между проводами тросов автор дает кривую, выражаемую следующей таблицей (для середины пролета для проводов его длине).

Расстояние в футах	Разрядное напряжение при прямом ударе MV			
	Пролет в футах			
	1 000	800	600	400
	MV			
2	2,25	3,0	3,5	4,0
4	4,5	5,0	5,7	6,7
6	6,0	6,8	7,5	8,7
8	7,2	8,3	9,0	10,5
12	9,2	11,0	12,0	13,7
16	11,5	13,0	14,7	17,0
20	13,2	15,0	17,0	19,5

Эти данные позволяют в нужном приближении определить высоту опоры, задавшись стрелой провеса троса.

В заключение автор проводит основные параграфы, которые следует положить в основу электрического расчета, мы этих данных в этом реферате не проводим, так как материал данной работы недостаточен для их применения, они будут проведены в связи с рефератом предшествующих работ авторов.

Инж. К. Стефанов

A. O. AUSTIN. Вероятный защитный коэффициент линий передачи от грозных явлений. Доклад на мировой конференции по высоким напряжениям 1933 г., „Elektrizitätswirtschaft“ № 17, 1933, стр. 388

На основании многолетних исследований автор дает величину защитного коэффициента, который зависит от выполнения линии передачи. Как первое приближение он определяет защитный коэффициент следующим образом:

$$K = \frac{NHS}{U},$$

где приняты обозначения: N —число гроз, S —длина пролета линии передачи, H —высота подвеса проводов, U —разрядное напряжение изоляции линии передачи, K —постоянная, которая определяется выполнением линии передачи и статистикой гроз. Для обычных линий передачи этот коэффициент K может быть принят равным $15,4 \cdot 10^{-6}$. Сравнительные подсчеты показали, что защитный коэффициент, определяемый по данной автором формуле, совпадает с наблюдениями на линиях передачи только в том случае, если сопротивление заземления не превосходит среднего значения. Автор расширяет свои исследования на различные конструкции высоковольтных линий электропередачи на деревянных опорах. При этом он указывает на выгоду отказа от заземления деревянных опор и прокладки на них заземленных тросов с целью использования дерева в качестве изоляции для повышения грозоупорности линии передачи.

Инж. К. И. Пяртман

Реле и измерительные приборы

F. J. MOLES. Сверхчувствительный усилитель для измерения очень малых токов порядка 10^{-17} А. „GER“ март 1933, стр. 156—158, 5 рис.

Этот усилитель в соединении с обычным техническим гальванометром дает возможность измерять постоянные токи порядка 10^{-15} А, а в соединении с надлежащим чувствительным гальванометром можно измерить токи порядка 10^{-17} А. Легкость обращения, компактность и портативность делают этот усилитель чрезвычайно полезным во всех отношениях. Он состоит из двух вакуумных ламп типа FP-54, представляющих четырехэлектродную лампу с нитью накала, контрольной сеткой, пространственно-зарядной сеткой и анодом. Контрольная сетка внутри лампы изолирована при помощи плавящего кварца, так же как и внешняя контрольная сетка. Эти лампы работают на низком напряжении и должны иметь наибольший сеточный ток порядка 10^{-15} А. Контрольное сеточное сопротивление равно приблизительно 10^{-16} Ω.

Для данного усилителя эти лампы использованы в схеме, показанной на рис. 1, при помощи которого могут быть измерены токи порядка 10^{-17} А. Схемы с одной только лампой дают возможность измерять токи порядка 10^{-14} А.

Как приложение можно указать на употребление этого усилителя в связи с измерением токов фотоэлемента, как показано на рис. 2; схема на рис. 3 дает возможность измерять очень большие сопротивления без употребления обычных для этой цели высоких напряжений.

Усилитель хорошо защищен от влияний медными листами, а отдельные соединения спаяны. Подобная же защита должна быть употреблена для вводной цепи и для аккумуляторных батарей, служащих источником питания. Все отдельные части защиты должны быть между собой соединены и заземлены; без такой защиты при измерении постоянного тока...

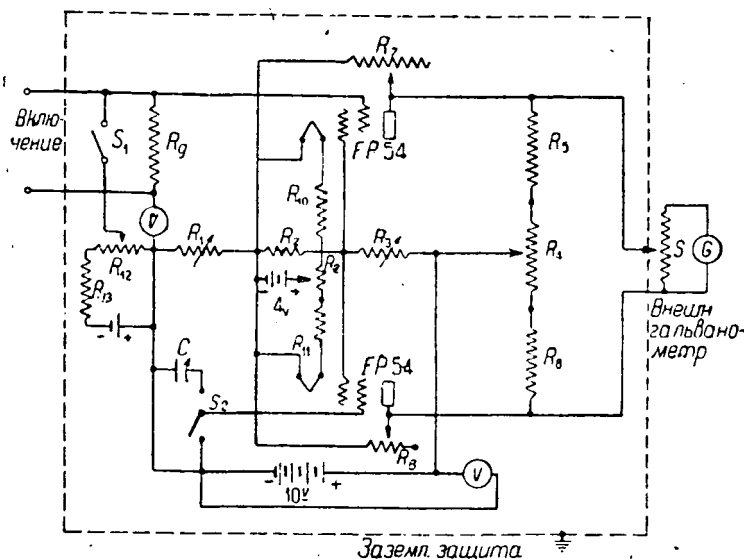


Рис. 1. Схема сверхчувствительного усилителя тока: $R_1 = 3\ 000\ \Omega$ — сопротивление; $R_2 = 5\ 000\ \Omega$ — сопротивление; $R_3 = 2\ 000\ \Omega$ — сопротивление; $R_4 = 10\ 000\ \Omega$ — потенциометр; R_5 и $R_6 = 5\ 000\ \Omega$ — сопротивление; R_7 и $R_8 = 0,1$ до $10\ \text{M}\ \Omega$ — сопротивление; $R_9 = 10\ \Omega$ — потенциометр; R_{10} и $R_{11} = 15\ \Omega$ — сопротивление; $R_{12} = 400\ \Omega$ — потенциометр; $R_{13} = 1\ 000\ \Omega$ — сопротивление; $S = 10\ 000\ \Omega$ — потенциометр; $V = 0 + 200\ \text{mV}$ — милливольтметр; $R_g = 10^{10} \div 10^{14}\ \Omega$ — сопротивление; $C = 15\ \mu\text{F}$ — переменный конденсатор кварцевым изолятором; S_1 и S_2 — переключатели с кварцевой или воздушной изоляцией; G — чувствительный гальванометр; $V_1 = 15\ \text{V}$ — вольтметр

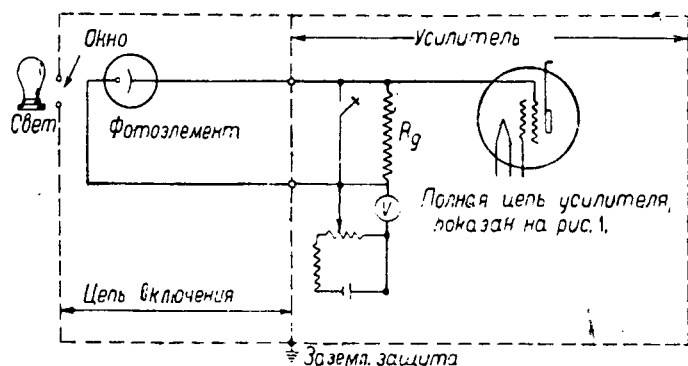


Рис. 2. Приложение усилителя для измерения фототоков

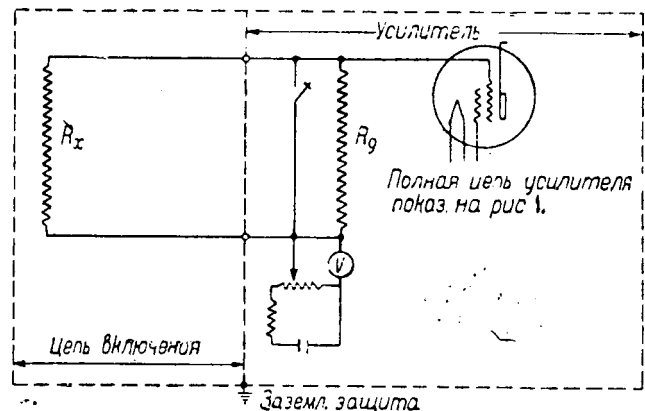


Рис. 3. Приложение усилителя для измерения больших сопротивлений

измерения, влияет на отсчеты. Схема, один раз настроенная, становится совершенно простой в обращении. Наибольшая чувствительность усилителя достигается в состоянии отключения обеих контрольных сеток как выключением R_g , так и включением S_2 к емкости C (рис. 1). Потенциал каждой сетки будет медленно падать вследствие остаточных сеточных токов порядка 10^{-15} А. Если они уменьшаются в одинаковой степени, гальванометр будет показывать нуль, что достигается переменной емкостью $15\ \mu\text{F}$. Ток i заставит потенциал трубки № 1 падать быстрее, и это даст постоянное направление отклонению гальванометра, которое может быть отсчитано секундомером. Ток тогда определяется из формулы

$$C \frac{dU}{dt}$$

где C — сеточная емкость (около $6\ \mu\text{F}$), $G_m = 25\ \mu\text{A/V}$, I_g — ток гальванометра. Гальванометр с чувствительностью в 10^{-10} А/мм, дающий отклонение $1\ \text{mm/sec}$, показывает, таким образом, прохождение тока, равное $2,4 \cdot 10^{-17}$ А. Точность измерений около 5%; однако она еще зависит от известного значения R_g самой защиты внешней подводящей цепи, точности наблюдений и некоторых других побочных факторов.

Можно еще упомянуть об использовании вышеупомянутой схемы для измерений фототоков при астрономическом определении света, получаемого от звезд; она же может служить для измерений эманацій радия и x -лучей.

Инж. Л. Брауде

Влияние коротких замыканий в сети на работу электрических счетчиков. „The Electric Journal“ № 10 1933, октябрь, стр. 438

Уже неоднократно наблюдалось, что в случае короткого замыкания в линии, к которой присоединен счетчик электрической энергии, скорость вращения диска счетчика на этот момент возрастает примерно на 10 — 20% . Это явление объясняется следующим образом: всякий измерительный прибор, в котором применен постоянный магнит, в большей или меньшей степени подвержен размагничивающему действию от внешних причин, каковыми являются: механические удары, наличие поля рассеяния, периодические изменения температуры. Силовое поле, создающееся от прохождения переменного тока, особенно сильно воздействует на естественное размещение молекул в постоянном магните, т. е. создает сильное размагничивающее действие.

В момент короткого замыкания в цепи, в которую включен счетчик, ампервитки его обмотки тока достигают весьма больших значений, вследствие чего результирующий поток может существенно размагнитить постоянный магнит счетчика. И хотя это явление носит непродолжительный, мгновенный характер, все же диск счетчика успевает повысить свою скорость на 10 — 20% .

В редких случаях при особо быстро протекающем процессе короткого замыкания, длящемся не более одного полупериода волны переменного тока, могут наблюдаться ослабление силового поля у одного конца магнита и усиление поля у другого.

Помимо влияния на магнитную цепь счетчика короткое замыкание может оказать воздействие термического характера на обмотку счетчика, т. е. вызвать ее перегорание при известных условиях из-за большой плотности тока.

Л. Г.

Электроматериалы

Р. FERRIER, Новый изоляционный материал-бетон Ламбера „RGE“ от 9 апреля 1933 г., стр. 731—733

Опыты применения для целей изоляции обыкновенного бетона скоро показали, что подобный бетон, как бы он ни приготовлялся, всегда сильно гигроскопичен и пригоден в некоторых случаях только тогда, когда он очень сух. Его свойство втягивать влагу и ее долго сохранять значительно снижают его свойства как изолятора. Если мы к этому добавим, что этот материал требует для своего полного созревания смачивания водой довольно долгое время, то станет понятно, почему многочисленные опыты с таким бетоном не привели к каким-либо практически ценным результатам. Некоторое исключение из этого правила составляют асбобетон и фибробетон, но и эти материалы хороши только в закрытых сухих помещениях и применяются только в виде тонких пластинок, а не больших массивов.

Изоляционный бетон Ламбера (E. Lambert). Логика говорит, что изоляционный бетон можно получить на базе тех же основных материалов, но без воды в том виде, в каком она применяется при приготовлении обыкновенного бетона. В этом направлении и велся с 1928 г. специальные исследования на железных дорогах Париж-Лион и Средиземное море. Опыты эти увенчались большим успехом, так как в результате их получился материал очень хороших качеств, пригодный для изоляционных целей при электрической тяге поездов и в других случаях. Механические качества этого бетона почти такие же, как у обыкновенного, только немного слабее.

По своим изоляционным свойствам определявшимся при испытаниях не по каким-либо телам геометрической формы, а по изоляторам обычного типа, бетон Ламбера значительно превосходит натуральный мрамор, но стоит ниже фарфора и электротехнического стекла. Он выше литого базальта, который равняется с ним только после парафинирования. При этом надо заметить, что этот бетон обладает одним замечательным свойством, а именно: он очень мало страдает от погружения в воду и очень быстро восстанавливает после того свои изоляционные свойства.

При испытаниях на пробой он дает сопротивление порядка $10\ \text{kV/cm}$, т. е. такой же величины, как мрамор, но при этом опять надо отметить, что при таком испытании он не разрушается, как обыкновенные фарфоровые или стеклянные изоляторы, и кроме того, очень быстро восстанавливает после испытания свои свойства.

Испытания при высоких температурах с ним еще не было сделано; впрочем, установлено, что в сухом виде при $100 + 150^\circ$ он держится хорошо. Но погружение на долгое время в кипящую воду

групп может придаваться 4 способами: обточкой, отливкой жидкой массы в гипсовые формы, прессовкой более сухой массы в стальных формах и выдавливанием трубок и т. п.) через соответствующие мундштуки. Способ прессовки применяется преимущественно для массового изготовления мелких установочных деталей.

Даем сводку важнейших величин характеристик для наиболее употребительных в настоящее время в германской практике материалов рассматриваемых групп (табл. 1). Инж. Б. М. Тареев

Тиритовые (Thyrite) реостаты¹⁾

Тирит—единственный материал, сопротивление которого резко падает при увеличении напряжения. Тирит широко применяется как громозвон. Теперь его применяют для короткого замыкания обмотки возбуждения шунтовых моторов постоянного тока. Тиритовые реостаты приключаются параллельно к обмотке возбуждения. Потери в реостате при нормальном напряжении исчезающе-малы: они равны 1—2 W для моторов в 250 V и 5 W при 600 V. При увеличении вследствие самоиндукции напряжения в обмотке возбуждения в момент ее размыкания сопротивление тирита резко уменьшается и замыкает накоротко обмотку. Тиритовый реостат может быть установлен как на щите управления, так и внутри мотора.

Инж. Р. Хайнер

Аппаратура

Выключатель с воздушным дуговым на 220 kV и 1500 MVA „El. World“ № 19, 1933, Vol. 102, стр. 580

AEG приняла французский заказ на величайший выключатель, действующий сжатым газом. Этот 220-kV выключатель на 1,5 млн. kVA разрывной мощности будет состоять из трех однополюсных элементов. Каждый полюс содержит колонну высотой 7,5 m (23 фута), расположенную на резервуаре со сжатым воздухом.

Главные контакты находятся наверху каждой колонны. Стержневой контакт, находящийся внутри колонны, двигается кривошипным механизмом вверх при включении и вниз при выключении. Колончатый вал, расположенный в основании, приводится в движение сжатым воздухом помощью поршня.

Валы трех фаз соединены жестко между собой, им обеспечивается одновременное их действие.

Каждая колонна состоит из двух пустотелых изоляторов, соединенных промежуточным фланцем. Изоляторы изолируют контактные части от земли и друг от друга в выключенном положении.

Сжатый воздух, применяемый для гашения дуги, подводится трубами таким образом изолятор не претерпевает внутреннего давления воздуха. Компрессор располагается в специальном водонепроницаемом кожухе в непосредственной близости от выключателя. Воздух подается в резервуары каждого полюса под давлением 20 at (285 фунт./кв. дюйм).

Пневматический привод выключателя управляется помощью клапанов, приводимых в движение либо на расстоянии, либо вручную на самом выключателе. Несмотря на большие размеры клапанов, пропускающих объем воздуха в 0,6 m³ (21 куб. фут), необходимый для выключения в течение нескольких сотых секунды, они открываются и закрываются очень легко.

Инж. Г. А. Брейтерман

Электрометаллургия

E. FR. RUSS. Автоматическая закалочная печь. R. Oldenburg, 1933

В последнее время начинают находить применение весьма интересные электрические закалочные печи. Примером их является новая печь типа Wild-Barfield, автоматически указывающая момент до-

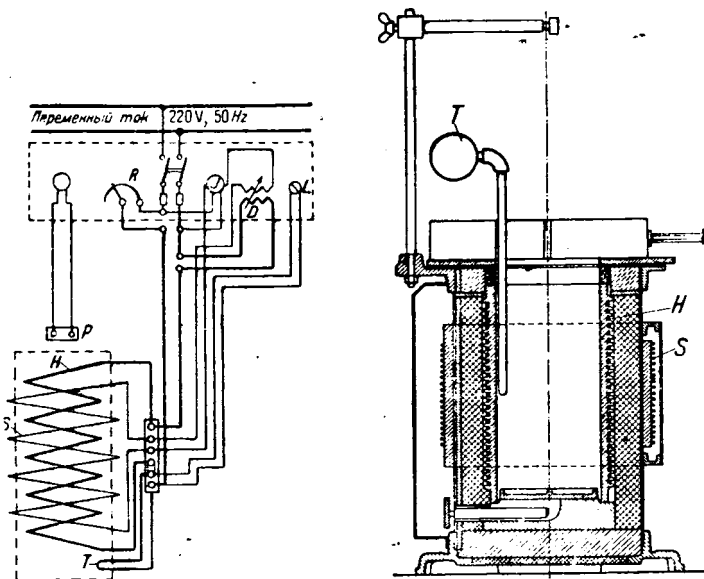


Рис. 1

Рис. 2

стижения сталью закалочной температуры. Действие печи основано на том факте, что у стали с содержанием углерода более 0,66% указанная выше температура совпадает с точкой потери магнитных свойств. На рис. 1 дана схема электрических соединений этой печи. Нагревательная обмотка печи обозначена через H; последовательно с ней включаются реостат R для регулирования тока и первичная обмотка маленького трансформатора D. Вокруг обмотки H намотана также вторичная обмотка S. Обе вторичные обмотки соединены навстречу друг другу. Система настраивается таким образом, что, когда в печи внутри обмотки H нет магнитного материала, э. д. с. обеих вторичных обмоток уравниваются друг друга и стрелка амперметра I стоит на нуле независимо от величины тока, протекающего через обмотку H. Когда в печь вводится магнитный материал, т. е. холодная сталь, подлежащая закалке, то магнитное поле в трансформаторе H—S сейчас же усиливается, э. д. с., индуцируемая в обмотке, резко возрастает, и стрелка амперметра I дает наибольшее отклонение. По мере нагревания стали ее магнитные свойства все ослабевают, и потому уменьшается и э. д. с. в обмотке S.

Наконец, когда температура стали достигнет точки закалки, магнитная проницаемость стали делается равной единице, вновь устанавливается равновесие между э. д. с. обеих вторичных обмоток и стрелка амперметра I останавливается на нуле, что и будет служить показателем того, что сталь доведена до закалочной температуры. В печь вводится электрический пирометр P для наблюдения за температурой, кроме того, предусматривается плавкий предохранитель T, плавящийся при достижении некоторой наивысшей температуры. При плавлении предохранителя разрывается цепь нагревательной обмотки H и загорается сигнальная лампа L.

Печь питается от сети переменного тока 220 V и 50 Hz. Рис. 2 изображает разрез печи Wild-Barfield выполнения фирмы AEG.

Инж. Б. М. Тареев

Электросварка

E. RIETSCH. Новый метод сварки в шов по способу модуляции „AEG Mitteilungen“ № 4, июль 1933, стр. 125—128.

Для электросварки в шов по методу сопротивления имеется целый ряд электросварочных машин, которые можно подразделить на машины с постоянно вращающимся роликом, без перерыва тока, на такие же машины, но с перерывами тока и машины с прерывно вращающимся роликом и с перерывами тока. Возможен еще четвер-

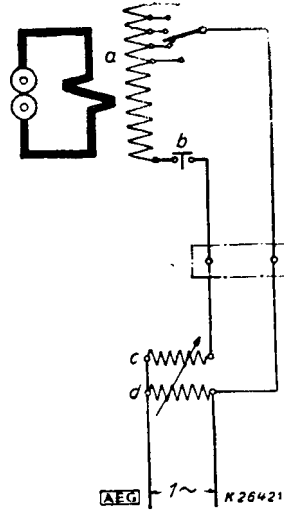


Рис. 1

Схема роликового шовного сварочного аппарата с модулятором. a—сварочный трансформатор; b—ножной выключатель; c—якорь модулятора; d—статор модулятора

тый тип машин—с прерывно вращающимся роликом и без перерыва тока. Но до настоящего времени этот тип машин не употреблялся.

Первый способ применяется для сварки гладких, нетолстых листов; второй и третий—для сварки негладких и толстых листов. При сварке без перерывов тока скоростью сварки, ток и сопротивление должны находиться в определенном соотношении для данного шва: скорость постоянная, но ток и сопротивление могут изменяться, например, вследствие колебаний в сети или изменений в толщине листов.

Способы сварки с перерывами тока используют преимущества быстрой точечной сварки. Каждая точка здесь получает такое количество энергии, которое гарантирует сварку. Продолжительность пика энергии при этом настолько незначительна, что листы до своих наружных поверхностей не прогреваются—это гарантирует от перегрева металла. Такой метод скоростной точечной сварки позволяет сваривать неэкапированные железные листы, листы разной толщины и в количествах более двух, а также листы из нержавеющей стали, латуни и т. д. Для того чтобы шов был плотен, сварочные точки должны перекрывать друг друга, а потому при быстрой сварке число точек в 1 сек. должно быть велико (от 5 до 10 в секунду и больше). Это приводит к необходимости частых включений и выключений выключающих аппаратов, что вызывает быстрый их износ. Кроме того, при быстро чередующихся включениях дуга не успе-

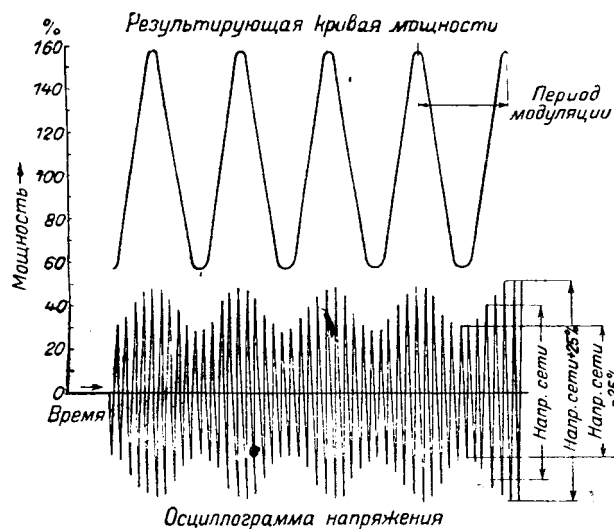


Рис. 2. Осциллограммы напряжения и мощности модуляторного шовного сварочного аппарата

вайт гаснуть, и ее изменчивое сопротивление вызывает неравномерность шва.

При большом вылете держателей электродов это положение еще более ухудшается, так что при этом уменьшается коэффициент мощности аппарата, что вызывает увеличение образования дуги при выключениях.

Во избежание указанных недостатков прерывистой сварки АЕГ выработала новый метод, при котором механическое прерывание тока заменено его модулированием помощью специальной вращающейся машины.

Модулятор с внешней стороны похож на электродвигатель; работает он по принципу однофазного вращающегося трансформатора (фазного регулятора) и включается в сеть до сварочного аппарата. В зависимости от положения в данный момент якоря модулятора сварочный аппарат получает или повышенное или пониженное напряжение.

Схема данной установки показана на рис. 1. При вращении якоря модулятора эффективное напряжение на его клеммах колеблется выше или ниже нормального значения, причем частота сети (50 Hz) сохраняется, а периодически изменяются амплитуды напряжения в такт оборотам модулятора.

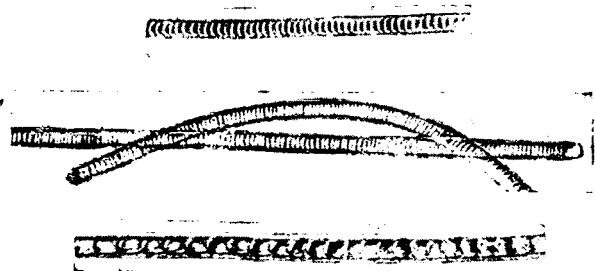


Рис. 3. Пробы сварки в шов при разных частотах модуляции

Осциллограммы модулятора шовной сварочной машины показаны на рис. 2. Здесь нижняя кривая относится к напряжению, получаемому сварочным трансформатором от модулятора. Верхняя кривая показывает изменение мощности при данной величине модуляции. Если модулятор имеет одну пару полюсов, то один оборот его соответствует одному периоду модуляции и число его оборотов в секунду называется модуляторной частотой.

Потребная для вращения модулятора мощность весьма мала, и модулятор можно привести в действие от мотора сварочного автомата. Изменением числа оборотов модулятора достигается разное расстояние между сваренными точками шва. На рис. 3 сверху показан плотный шов, в середине—шов, сваренный при слишком частой модуляции, и внизу рисунка—неплотный шов.

Модуляторный способ сварки, как показывает тот же рисунок (в своей средней части), дает возможность сваривать пересекающиеся швы без пережога металла, что очень важно для замкнутых швов внахлестку.

Описанный метод позволяет применять шовную сварку всюду, где возможна точечная сварка, причем сварка листов толщиной 3—5 мм является вопросом лишь величины машины.

Применяя соответствующие электроды, способ модуляции позволяет сваривать также листы из цветных металлов.

Вполне автоматическая асинхронная гидроэлектростанция Триберг в Шварцвальде, „AEG-Mitt“ № 8, 1932, стр. 275—277

Взамен старой сильно изношенной гидростанции мощностью 270 kW, не могущей конкурировать по стоимости энергии с районной сетью, фирмой АЕГ построена новая автоматическая гидроэлектростанция, интересная тем, что на ней установлен асинхронный генератор той же мощности 270 kW, напряжением 5 000 V, 500 об/мин. приводимый в действие турбиной Пельтона фирмы Эшер-Висс и К°. Полезная высота напора 95 м. Турбина снабжена струйным отклонителем, чтобы и при остановленной турбине гарантировать проход воды без особой обводной задвижки.

Стальной струйный отклонитель действует от турбинного регулятора, работающего как ограничитель скорости, тогда как игла сопла имеет моторный привод, управляемый от автоматического регулятора уровня воды.

Для уменьшения реактивных токов асинхронный генератор, несущий почти постоянно полную нагрузку, снабжен трехфазной возбуждающей машиной, приводимой во вращение электродвигателем в 1 kW. Возбудитель берет на себя весь реактивный ток в пределах $30 \pm 100\%$ номинальной нагрузки.

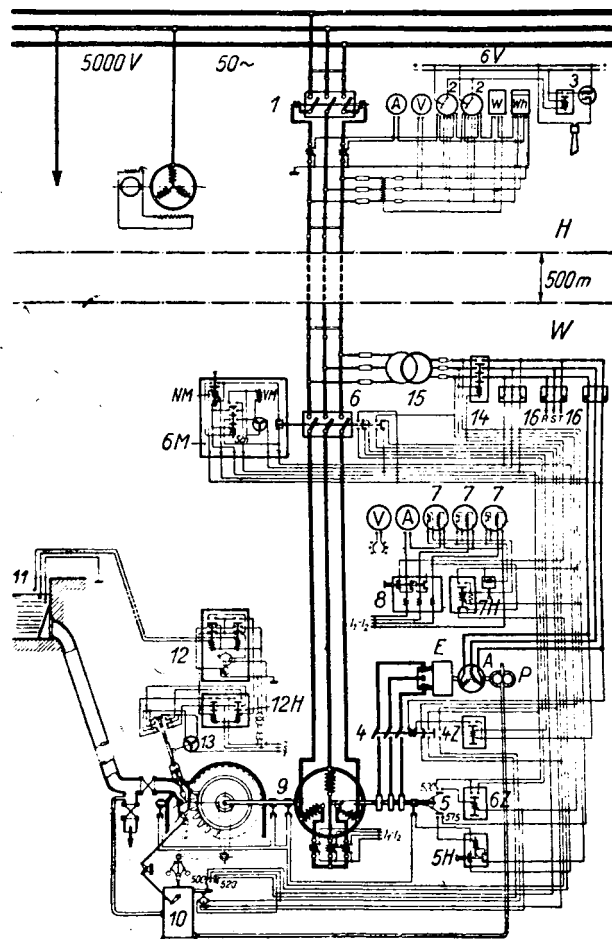


Рис. 1

Никаких вспомогательных источников энергии (аккумуляторной батареи и т. п.) на станции не имеется. Предусмотрен лишь для собственных нужд трансформатор в 5 kVA.

Установка действует вполне автоматически без управления на расстоянии помощью особых проводов. Для ввода в эксплуатацию или для остановки достаточно лишь включить или выключить масляный выключатель 1, установленный на командном посту на питающем пункте районной сети и обслуживающий рабочую линию напряжением 5 000 V, идущую от данной установки.

Процесс пуска асинхронной гидростанции таков. Включают на командном посту упомянутый выше масляник (рис. 1) и этим самым дают напряжение станционному вспомогательному трансформатору 15 мощностью 5 kVA напряжением 5 000/220 V. Получив напряжение, реле 14 включают короткозамкнутый мотор А трехфазной возбуждающей машины Е и масляного насоса Р. Последний нагнетает масло для турбинного регулятора 10, который и передвигает отражатель постоянно текущей водяной струи турбины настолько, что турбина начинает вращаться. При достижении номинальной скорости соединенные с валом турбины контакты тахометра 5 помощью реле времени 6 Z включают станционный масляник 6. Следом включается контактор 4, находящийся между кольцами генератора и возбуждающей машиной, и генератор начинает отдавать полезную мощность при одновременном действии автома-

тической регулировки уровня воды. Турбина разворачивается в течение 2—3 сек. и от момента включения масляника 1 у питательного пункта до достижения полной нагрузки проходит всего 40 сек.

Ударный ток включения, как показал осциллограф, достигает всего 1,3 номинального тока и уже в течение $\frac{1}{6}$ сек. снижается до своего нормального значения, так что не отражается на работе сети, с которой данная установка работает параллельно.

Выключение гидростанции происходит также просто: достаточно, выключить масляник 1 со щита управления на питательном пункте, где данная установка присоединяется к районной сети, и гидростанция прекращает работу, так как асинхронный генератор по данной схеме не может самостоятельно давать напряжение и генерировать энергию, не будучи параллельно соединен с работающей сетью. Как только напряжение исчезнет, останавливается масляный насос, турбинный регулятор теряет давление, струйный отражатель поднимается, отклоняет струю воды от лопаток, и турбина останавливается. Одновременно происходит „нулевое“ выключение масляника 6 на гидростанции и прочих реле.

Не считая того недостатка, что асинхронные генераторные установки не могут самостоятельно вырабатывать энергию, они по сравнению с автоматическими синхронными установками отличаются большей простотой, а потому для небольших установок, параллельно работающих с другими станциями, имеют будущее.

Инж. Э. Рейхман

SLEPIAN AND LUDWIG. Новый метод зажигания дуги. „Electr. Eng.“, сентябрь 1933

В статье сообщаются опыты возбуждения дуги на холодном электроде новым приспособлением за время нескольких микросекунд в газе при низком и атмосферном давлении. Этот зажигающий электрод большого удельного сопротивления (карборунд, гален. ферросилиций и т. п.), погруженный в ртутный катод, имеет свойство вызывать дугу, ионизируя пространство в колбе. Новый метод зажигания дуги в выпрямителе может заменить одновременно и электроды

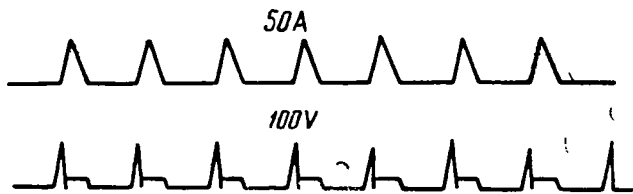


Рис. 1. Осциллограмма, показывающая мгновенные напряжения и ток зажигающего электрода

Письмо в редакцию

На статью инж. Л. Гейлера „О каталогах крановых электродвигателей ВЭО изд. 1932—34 г.“, помещенную в отделе хроники журнала „Электричество“ № 2 за 1934 г., редколлегия каталогов Всесоюзного электротехнического треста считает необходимым дать следующие пояснения:

1) Все указания автора, касающиеся стр. 7, 8, 11, 14 части III каталога КЭО № 1 изд. май 1933 г., после получения пробного экземпляра, были своевременно приняты во внимание, так что к клиентуре поступил тираж соответствующим образом „выправленный“.

2) По поводу отмеченной автором неясности фразы: „Электродвигатели с максимальным числом оборотов, в 2,5 раза превышающим синхронное число оборотов, изготавливаются по особому заказу“ (стр. 14), сообщаем: электродвигатель вообще имеет число оборотов ниже синхронного. Но на крановых установках (грейферный кран) при так называемом сверхсинхронном спуске, машина может получить число оборотов, в несколько раз превышающее синхронное число оборотов. В таких случаях завод гарантирует число оборотов, превышающее синхронное, только в 2,5 раза.

3) В подписи фиг. 5, стр. 6 действительно имеется опечатка: вместо „коэффициента ускорения“ должно быть „коэффициента укорочения“.

4) Автор находит векторные диаграммы на фиг. 7 и 9 стр. 10 и 11 неправильными. Прежде всего, на фиг. 7 и 9 показаны схемы соединения статора и ротора. Схемы соединения правильны. Векторные диаграммы этих схем такие же, как и на фиг. 6, где автор замечки не находит ошибок.

5) Автор считает, что название „кольцевого коллектора“ на фиг. 9

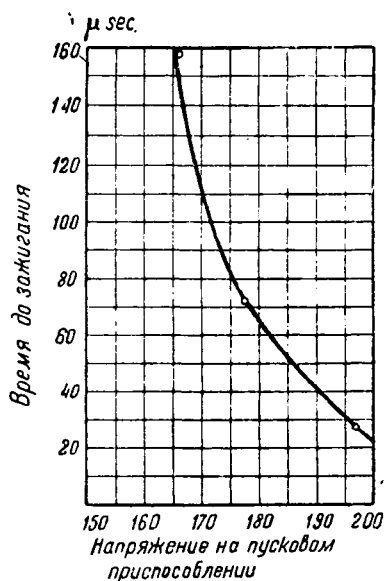


Рис. 2. Изменение запаздывания зажигания при различных напряжениях

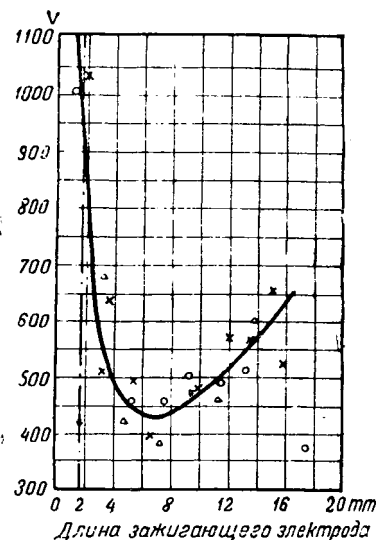


Рис. 3. Изменение напряжения зажигания от длины зажигающего электрода

возбуждения (без которых до сих пор была немыслима работа ртутных выпрямителей) или накаливаемый катод (в тиратронах) и сетку. Ток, требуемый для зажигания дуги новым способом, колеблется около 10 А. Зажигающее напряжение на вспомогательном электроде — около 100 В (см. осциллограмму, изображенную на рис. 1).

В статье разбирается теория нового пускового приспособления. Приводятся результаты опытов по определению времени зажигания дуги в зависимости от приложенного напряжения на пусковом приспособлении (рис. 2). Приводятся данные зависимости подводящего напряжения на пусковом приспособлении от высоты зажигающего стержня (рис. 3).

Применение нового зажигающего приспособления возможно во многих областях электротехники и особенно сильных токов.

Инж. А. А. Глебович

Инж. К. Г. Старокадомский

РЕДКОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аватков, проф. В. И. Вейц, инж. В. Н. Глазнов, инж. М. Н. Грановская, инж. Я. А. Климовицкий, акад. Г. М. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. Н. А. Сазонов, проф. М. А. Шателен, проф. Я. Н. Шпильрейн.

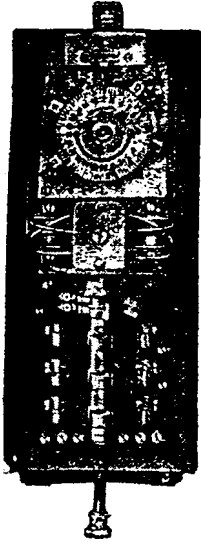
ОТВ. РЕДАКТОР инж. Н. А. Сазонов

ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Г. Г. Андреев

ФАБРИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ **Фр. САУТЕР, Акц. Общ. в БАЗЕЛЕ** Fabrik elektrischer Apparate Fr. SAUTER, A.-G., BASEL

Мы строим:



Автоматический часовый выключатель с электрическим заводом

6686

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 „Технопромимпорта“.

Поставщики Электроимпорта.

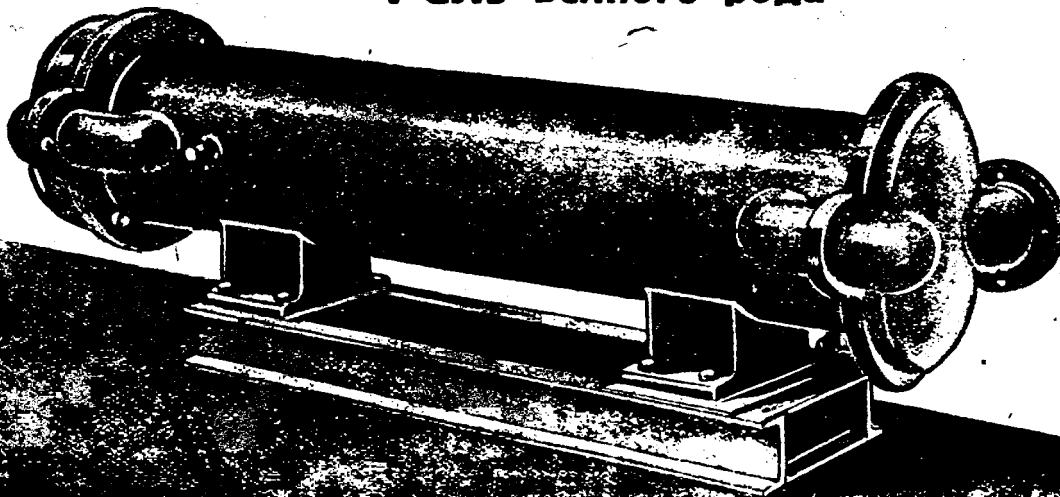
Запросы могут быть составлены и на русском языке.



Max Buchholz G.m.b.H. Kassel

Германия

Сигнализаторы дыма
для защиты генераторов и сигнализация пожара
Защита трансформаторов
Реле всякого рода

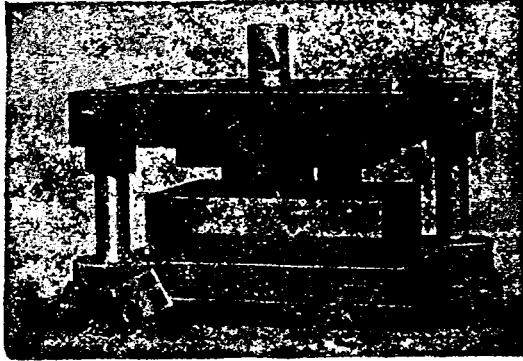
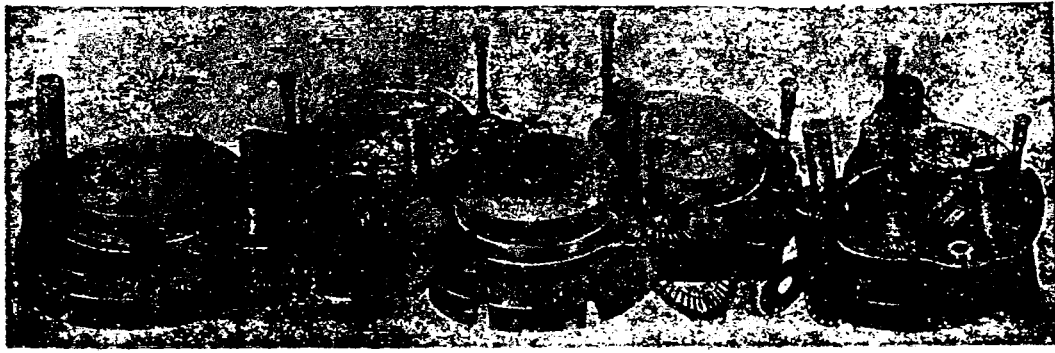


Требуйте
проспекты

6692

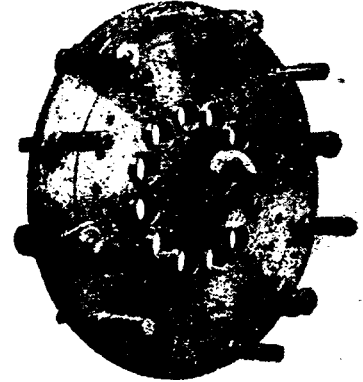
При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим со ссылаться на № нашего журнала. Выписка зарубежных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли

Вологодская областная универсальная научная библиотека



**Инструменты для
штамповки
Приспособления
Многошпиндельные
сверловочн. головки
Формы для прессовки
изоляц. материалов
Специальные машины**

первоклассной конструкции
и наилучшего выполнения
поставляются фирмой



VORRICHTUNGSBAU HÜLLER / LUDWIGSBURG (Wittbg.) Германия

При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим сослаться на № нашего журнала. Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР о монополии внешней торговли.

О Н Т И

Энергоиздат

**ПРОДОЛЖАЕТСЯ 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 (ВЭН-РНИТО)

20 номеров в год

Подписная цена:

на 12 мес. . . 25 р. —
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 электро-машино- 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 ВЭНИТО. 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, 19, Гоголевский бульвар, 27, Главной конторе периодических и подписных изданий ОНТИ „ТЕХПЕРИОДИКА“.
Подписка принимается отделениями, магазинами и уполномоченными ОНТИ, снабженными соответствующими удостоверениями, общественными сборщиками подписки на предприятиях, всеми отделениями и магазинами КОГИЗ'а, всеми почтовыми отделениями и письмомосцами.