

1933

«Коммунизм—сеть советской власти  
—шлюз электрификации всей страны»  
ЛХИИ

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 8



МОСКВА  
Санкт-Петербург

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека

[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)

Г-  
Вы-  
для  
еще  
высту-  
бронтон\*



НИТИ — СССР

## ИЗДАТЕЛЬСТВО НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ ПО ТЕХПРОПАГАНДЕ

# „КНИГОСБЫТ“

**Вниманию**  
**ТЕХПРОПОВ,**  
**ТЕХНИКУМОВ,**  
**КУРСОВ,**  
**ТЕХКРУЖКОВ**  
**И**  
**КРУЖКОВ**  
**ПО**  
**ТЕХМИНИМУМУ**

### ВЪПЛІСКА ИЗ ЦИРКУЛЯРА ТЕХПРОПА ВКТП СССР

.... поставлением коллегии НИТИ СССР издание наглядных пособий по техпропаганде по линии тяжелой промышленности сосредоточивается в издательстве ОНТИ НИТИ СССР.

.... всю свою работу издательство ведет в тесном контакте с об'единениями, трестами, н.и. институтами, ВТУЗами и предприятиями НИТИ....

.... поэтому ВСЕ ЗАКАЗЫ ПО ЛИНИИ ТЯЖЕЛОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ рекомендуем проводить ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО через КНИГОСБЫТ ОНТИ....

Были в свет и вступили в продажу серии диаграмм на стекле, издающиеся пособия при прохождении техники

## ЭНЕРГЕТИКА

НЕВСКИЙ  
ШОРНІ

Уход за котлом . . . . .	Колич. недрв. 36	Цена 16.50
Пятаугольное отопление паровых котлов, ч. I-я, II-я и III-я . . . . .	93	32.55
Прокладка кабеля . . . . .	41	14.35
Кабельное производство . . . . .	41	20.50
Конструкция современных котлов . . . . .	41	14.35
Газогенераторы . . . . .	32	11.20
СМИРНОВ и БОЗЛОВ. Моторный привод в промышленности	21	7.35
СМИРНОВ Электроэнергетика (4 цветных)	40	14.—
ЛІХАЧЕВ (р.а.). Монтаж чугун. и свинцовых соединительных кабельных муфт . . . . .	33	11.55
Энергетические ресурсы для целей электрификации . . . . .	28	9.80
Мощные ветро-силовые установки . . . . .	35	12.25
Транспорт тепла при электрификации . . . . .	42	14.70
Изоляция деталей паропроводов . . . . .	33	11.55

СМИРНОВ  
СЕКТОРОВ  
САЛИКОВ  
БАБАЙЦЕВ

Заказы направлять по адресу: г. Москва,  
центр, проезд Владимира (Юшков пер.),  
д. 4, КНИГОСБЫТ ОНТИ.

При заказе необходимо перевести на расчетный счет Книгосбыта ОНТИ в Моск-Ленинской к-ре Госбанка № 15031 или почтовым переводом задаток—25% стоимости заказа. Остальная сумма выполняется наложенным платежом. Упаковка и пересылка за счет заказчика. Без задатков заказы не выполняются.

Заказы также принимаются  
отделениями Книгосбыта:

г. Ленинград, просп. 25-го октября, 22  
г. Ростов-на-Дону, ул. Энгельса, 114  
г. Свердловск, ул. Ленина, 36  
г. Самара, Ленинградская, 34  
г. Горький, ул. Мопра, 15  
г. Саратов, ул. Республики, 12  
г. Киев, ул. Володарского, 14  
и уполномоченными Книгосбыта, снабженными соответствующими удостоверениями.

# ЭЛЕКТРОНИКА

Орган ВЭО и ГЛАВЭНЕРГО НИКП, Энергетического института Академии наук СССР и Всесоюзного энергетического научного инженерно-технического общества (ВЭНИТО)

Адрес редакции: МОСКВА, Ильинка, Ипатьевский п., 2, 1-й эт. Тел. 72-46 и 1-57-19

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.	Стр.
1	Инж. Н. Перевозский—Рациональное напряжение на
4	важимах синхронных генераторов большой мощ-
9	ности . . . . .
11	39
11	Проф. Р. А. Лютер, инж. Ю. А. Шредер, проф. Б. П.
	Апаров—О статье Перевозского . . . . .
15	40
15	Проф. Л. С. Бобровский—За рационализацию нашего
	технического языка . . . . .
	Обзор поступивших статей . . . . .
16	43
16	Инж. Ф. Вейтков—Новая редакция правил безопасно-
19	сти и правил устройства и содержания для элек-
	тротехнических сооружений сильного тока низ-
21	кого и высокого напряжения . . . . .
21	45
25	Библиография . . . . .
25	48
29	Хроника . . . . .
29	49
35	Из книг и журналов . . . . .
35	52

## Будем бдительны на своих постах!

Закончившийся недавно в Верховном суде против вредителей на электростанциях привлек внимание всего Союза и получил широкий отклик даже за рубежом.

Это вскрытое на суде гнусное предательское  
и находилось так же, как и прежние вреди-  
мьеские действия, в тесной связи с заграничными  
империалистическими империалистическими кру-  
пнейшими в данном случае английскими.

Военный, экономический и политический шпионаж наряду с подкупами, вредительством и прямым разрушением оборудования был главным источником шайки преступников как иностранцев, вырывавшихся из коммерческой и инженерной деятельности в фирме Метро-Виккерс, так и русских государственных служащих, занимавших отственные технические должности на станциях КРФ.

Английское правительство не остановилось перед наглым требованием прекращения следствия и измены суда над своими подданными. Советская власть снова продемонстрировала всему миру свою самостоятельность и силу, с негодованием отвергla империалистические притязания и показала публичном суде лицо признавших свои преступления английских агентов.

Английские твердолобые, желающие использовать своих агентов для усиления мирового советского фронта, позорно провалились.

Общественное мнение всех стран, взбудороженное волнями англичан, внимательно следило за процессом, но даже буржуазная печать не могла скрыть признаний самих подсудимых и правоту советского суда. Процесс поэтому приобрел, как выразился государственный прокурор т. Вышинский, мировое значение, пять дней процесса были пятью днями схватки двух миров.

Разумеется, группа <sup>1)</sup> английских разведчиков не могла бы провести в жизнь свои намерения собственными руками. Они нашли себе соратников и преданных слуг в среде тех остатков буржуазии и колчаковцев, которые не могут примириться с советской властью, которые уже бессильны причинить крупный вред, но рады хотя бы мелко лягнуть, укусить, пустить немного крови, в чем-нибудь на деле проявить свою бешеную слепую ненависть. Между тем только огромный размах строительства, осуществляемый при советской власти, обусловивший большую потребность в квалифицированных кадрах, мог обеспечить им такую ответственную работу.

1) Во главе этой группы, как известно, стоял Торнтон, англичанин по происхождению, родившийся в России, сын крупного петербургского фабrikанта, «петербургий» от советской власти. Это сын того самого фабrikанта, который выделялся своим притеснением рабочих в старое «добро» для фабrikантов времена и против которого Ленин боролся еще в начале своей революционной деятельности—в 1895 г., выступая в письме к рабочим и рабочницам ф-ки Торнтон (см. Ленин, соч. т. 1).

В какой еще стране имеется столько возможностей для проявления своих творческих сил, в какой еще стране правительство так заботится об интеллигенции вообще и в особенности о специалистах. Недаром к Советскому союзу тянутся значительные слои иностранных специалистов, большинство которых, привлеченное на социалистическую стройку, работает не за страх, а за совесть.

Вредители инженеры и техники забыли свои обязательства, свой долг по отношению к государству и его учреждениям, особую ответственность государственных служащих, предали интересы своей страны, доверившей им общественную социалистическую собственность.

Технические особенности энергетического хозяйства таковы, что диверсионная работа может быть сделана довольно легко и может в то же время принести очень значительный материальный ущерб не только самой станции, но, главным образом, связанному с последней промышленному району.

Высокое совершенство и тонкость конструкции оборудования, его чувствительность к нарушениям нормального режима работы облегчают разрушение мощных агрегатов каким-нибудь одним кусочком железа, а технологическая связь, электрическая централизация производства и распределения дают возможность из одного даже мало значительного самого по себе пункта станции разрушить всю систему.

Убытки от простоя, от порчи оборудования, от порчи сырья и пр. в связанных с крупной электростанцией предприятиях настолько значительны, что никаким другим образом не могли бы быть причиненными так "дешево", как это было сделано при условии нарушения работы в энергетическом сердце этих промышленных предприятий. Преступники правильно рассчитали наиболее уязвимое место хозяйственного организма.

Какие основные цели ставили себе вредители?

Основной их целью был подрыв обороноспособности Союза. Для этого они наносили как прямой ущерб производству, так и косвенно влияли на ослабление обороноспособности страны через задержку развития народного хозяйства и разрушение дорогостоящего оборудования, главным образом, генераторов и турбин.

Конечной целью шпионско-вредительской организации была подготовка к основательному и длительному выводу из строя электростанций во время войны и к приведению, таким образом, к параличу ряда жизненно важных промышленных районов—Урала (Златоустинская станция), Центрально-Промышленной области (Мосэнерго и в особенности 1-я Московская и Ивановская станции), Донбасса (Зуевка), Бакинского нефтяного района (Бакинские станции).

Для этого руководители шайки, прямые служащие английской разведки, непосредственно изучали электрические схемы станции—доступ на станции им не был затруднен благодаря помощи вредителей—и вырабатывали детальные, конкретные планы разрушений. Так, например, на 1-й Московской станции предполагалось прежде всего вывести из строя распределительное устройство 6 000-В сети, к которой присоединен Кремль, красноармейские казармы, гостиница радиопередача, база воды „Серп и молот“, „Спартак“ и др. На дру-

гих станциях имели в виду прежде всего обесточить заводы, присоединенные к сетям, и затем по возможности на длительный срок и серьезно остановить станции. „Серьезно“ же по выражению Монггауза—это значит, когда „турбина вылетит через крышу“, т. е. когда простой ремонт помочь уже не может.

Интересно отметить новые методы вредительства, которые заключались в том, что последнее проводилось, так сказать, мелкими порциями, но почти непрерывно и было замаскировано под производственные неполадки и привычную небрежность в работе. Когда каждый день случаются сравнительно мелкие аварии в одной или другой части оборудования, то вредительство не бросается в глаза, к нему привыкают как к „обычным“ трудностям в работе и обясняют их „объектными“ причинами.

Враг здесь перешел от методов прямой борьбы к „тихой сапе“. Характерным для данного процесса является и то, что вредительство изменяло, вредители „второго сорта“ как по своему политическому и техническому кругозору, так и по своим методам и целям.

В ряде случаев, особенно на Златоустинской электростанции и в Иванове, методы вредительства были очень просты и грубы. Они заключались, например, в том, что в генераторы и моторы бросались посторонние предметы (небольшой кусок листового железа был брошен Гусевым в вентиляционный канал мотора прокатного станции Златоустинском заводе, в Зуевке в генератор бросаются болт, камень, кусок дерева, в Иванове в мотор, приводящий в движение цепные решетки, сыпется песок) или разрезался кабель, подвешенный к моторам. На Ивановской станции Лобанов разрезал кабель, ведущий к моторам цепных решеток котлов, или, наоборот, пытаются произвести короткое замыкание (Сухоручкин на 1-й Мгэс пытался соединить свинцовую оболочку однофазных кабелей генераторов № 26 и 27 с железной палкой), сжигался мотор дымососа, благодаря открытию вентиляционных каналов (на Ивановской станции). Рвутся телефонные провода (там же), спускается вода из остановленного на зиму колодца, почему замерзает вода в трубках, и последние лопаются (Златоустинская станция), пуск подстанции проводится без масла в баках масляных выключателей и т. д.

Характерным является помимо умолчания о мечтанных недочетах оборудования и монтажа, же очень небрежный ремонт после аварий, неизбежно должно было вызвать повторение аварий. Этот ремонт также часто делался не потому, что он был нужен, а для того чтобы вывести из строя нужное оборудование и тем поставить станцию „в аварийное состояние“ по терминологии вредителей. Так именно была выведена из строя на долгий срок топливоподача на Златоустинской станции. Ремонт также невероятно затягивался. Какие-либо простые топки на Златоустинской станции переделывались и ремонтировались свыше двух лет, в то время как все оборудование, нужное для переделки топок, имелось налицо. И это таже небольшого котла там же длится в течение 2½ лет и т. д.

При всем многообразии вредительства на маэлектрических станций в разных промышленных районах вредительство все же имело локальный характер и поэтому не могло причинить се-

шо ущерба всему народному хозяйству. Этим выясняется мягкий приговор суда.

Советская власть не мстит, она оставляет вредителям жизнь, давая им возможность загладить за преступления.

Каждый честный советский инженер и рабочий должны задать себе вопрос, почему возможно что это вредительство, почему мы не заметили то сразу, почему после опыта „промпартии“ ряжие с малым производственным стажем инженеры и техники в течение нескольких лет безнадежно могли нам вредить.

Причинами были, во-первых, недопустимое отсутствие в ряде случаев у советских работников электростанций революционной бдительности, что смекло допуск социально-чуждых и недостаточно проверенных элементов к ответственным участкам предприятий — к заведыванию станцией (указ — на Златоустинском заводе), к руководству эксплоатацией (на 1-й Мгэс Сухоручкин, Краинников, то же на Зуевке, Ивгрэс и др.).

Этот недостаток бдительности усилился еще существием подлинного технического контроля работы.

Помимо этого необходимо признать в ряде случаев и недостаточность технической квалификации переданных советской власти техников и инженеров, что облегчило возможность некоторым из подготавленных вредителям занимать свои места и втирать очки остальному персоналу станции.

Какие задачи ставит перед нами прошедший процесс?

Прежде всего усилить революционную бдительность. Под этим углом зрения перестроить всю политическую воспитательную работу на предприятиях.

Проверить ряды. Освободить предприятия от подозрительных и сомнительных элементов.

Это относится не только к коллективам специалистов, но и рабочих, поскольку и в их среду могут затесаться бывшие белогвардейцы, раскулаченные и пр.

Усилить конкретную проверку и технический контроль работы. Причина аварии также должна быть выяснена, выяснена до конца, не довольствоваться общей фразой: „авария по вине оборудования“, „авария по вине персонала“, найти конкретные причины и конкретных виновников и возложить им должное.

Далее, поднять техническую квалификацию персонала с тем, чтобы он мог с полной уверенностью руководить производством. Усилить инструктаж. Техническая учеба должна быть поставлена как серьезная политическая задача.

Семнадцатая партконференция и январский пленум ЦК указали, что в связи с социалистическим наступлением по всему фронту классовой борьбы, в связи с задачей ликвидации кулака и прочих остатков враждебных пролетариату групп, формы классовой борьбы на ряде участков и в ряде районов еще могут обостряться.

Вредительство как одна из форм классовой борьбы еще может иметь место до тех пор, пока не будут уничтожены классы. Техническая интеллигенция в своей массе сейчас стоит определенно на стороне пролетариата, но это не значит еще, что в ее среде, как и в другом крупном общественном слое, не могут найтись мелкие группы людей, враждебных советской власти и могущих заключить блок с агентами иностранного капитала.

Электростанции будут особенно привлекать вредителей и впредь, тем более, что роль станций в хозяйственной жизни с повышением степени электрификации, с проведением теплофикации, с ростом концентрированных мощностей, будет также значительно возрастать.

Будем же бдительны на своих постах!

**„В результате осуществления пятилетки мы добились того, что вышибли в конец последние остатки враждебных классов из их производственных позиций, разгромили кулачество и подготовили почву для его уничтожения. Таков итог пятилетки в области борьбы с последними отрядами буржуазии. Но этого мало. Задача состоит в том, чтобы вышибить этих бывших людей из наших же собственных предприятий и учреждений и окончательно их обезвредить“.**

**СТАЛИН.**

(Доклад на пленуме ЦК и ЦКК, „Правда“ № 10 от 10 янв. 1933 г.)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

## Опыты по разрушению атома

Инж.-физ. В. И. Бунимович  
Харьков, УФТИ

Опыты по искусственному превращению обычных химических элементов были предприняты многими исследователями. Первый успешный эксперимент этого рода был осуществлен Резерфордом, которому в 1919 г. удалось добиться разрушения ядра азота.

Таким путем удалось разрушить ядра многих других легких химических элементов. Случаев разрушения ядер элементов, обладающих большей массой, чем ядро атома аргона, вовсе не удалось наблюдать.

Разрушение ядер методом бомбардировки  $\alpha$ -частицами обычно происходит по следующей схеме:  $\alpha$ -частица, попадающая в ядро, выбивает из него протон, а сама застревает во вновь образованном ядре. Таким образом, строго говоря, происходит не разрушение ядра, а скорей обратный процесс, так как вновь образованное ядро имеет большую массу и более сложное строение, чем первоначальное. Поэтому собственно, правильнее говорить о преобразовании, а не разрушении ядер. Для примера укажем, что ядро атома азота при попадании  $\alpha$ -частицы и вылете протона переходит в ядро атома кислорода. Ядро алюминия переходит в ядро кремния. Интересен случай преобразования ядра алюминия, так как здесь энергия вылетающего протона примерно на 40% больше энергии  $\alpha$ -частицы, вызывающей разрушение ядра. Таким образом, мы имеем здесь случай выигрыша энергии за счет внутренней энергии ядра. Это происходит потому, что внутриддерная энергия нового элемента, именно кремния, меньше внутриддерной энергии алюминия, и разность между ними больше энергии  $\alpha$ -частицы, вызывающей превращение ядра.

При разрушении ядер других элементов наблюдается обратное явление. В этих случаях происходит не выигрыш, а потеря в энергии. Вылетающий протон обладает меньшей энергией, чем  $\alpha$ -частица, вызывающая превращение ядра; при бомбардировке  $\alpha$ -частицами ядер легких элементов иногда вместо протона наблюдается излучение  $\gamma$ -лучей. Однако, совсем недавно удалось обнаружить, что некоторые легкие элементы, будучи подвержены бомбардировке  $\alpha$ -частицами, обладают еще совершенно новым типом излучения, обладающим в значительно большей степени способностью проникать через материю, чем даже самые жесткие из известных  $\gamma$ -лучей. Таким излучением обладают, например, элементы бериллий и бор.

Работами французских физиков Кюри и Жолье и в особенности английского физика Чэдвика (в лаборатории Резерфорда) была выяснена природа этого излучения. Оказалось, что это излучение представляет собой поток быстрых нейтральных частиц, совершенно неизвестного до сих пор вида. Эти частицы были названы нейтронами. Нейтроны, вылетающие из бериллия, обладают скоростью около  $3 \cdot 10^9$  см/сек, т. е. одной десятой скорости света. Процесс превращения аналогичен описанному выше. Вместо протона в этом случае из ядра вылетает нейtron. Бомбардирующая  $\alpha$ -частица остается в новом ядре. Таким

путем, например, ядро бериллия превращают в ядро углерода.

Нейtron—сложная частица. Он образован из одного электрона и одного протона. Из тех же элементов состоит и атом водорода, в котором протон является ядром, а электрон образует внешнюю электронную оболочку атома. Однако нейtron является совсем иным образованием, чем атом водорода. Здесь протон и электрон гораздо более сильно связаны, чем в случае водорода. Связь между электроном и протоном, образующими нейtron того же характера, что и связь между электронами и протонами, входящими в состав атомных ядер. Нейtron по существу представляет собой ядро нового элемента, элемент, который не имеет электронной оболочки, так как заряд его ядра равен нулю. В настоящее время существует предположение, что нейtron, подобно  $\alpha$ -частице, т. е. ядру гелия, входит в состав ядер различных элементов как отдельная единица.

Не подлежит никакому сомнению, что изучение свойств нейтрона обогатит физику чрезвычайно важными сведениями о строении атомного ядра. Сама возможность такой тесной комбинации нейтрона с протоном, каким является нейtron, совершенно необъяснима с точки зрения современной квантовой механики, точно так же, как эта теория не в состоянии обяснить и вообще явление происходящих внутри атомных ядер. Дальнейшее выяснение свойств нейтрона несомненно послужит мощным толчком к разработке релятивистской квантовой механики.

До сих пор мы говорили о разрушении ядер методом бомбардировки их  $\alpha$ -частицами радиоактивных элементов. В 1919 г., когда Резерфорд бомбардировал ядра  $\alpha$ -частицами из радиоактивного препарата, добился разрушения ядра азота, и оказалось, что наступает новая эпоха в изучении ядерного ядра. Казалось, что наконец-то физики учились действовать на ядра частицами большей энергии, которые производят в ядрах заметные изменения. И действительно, этот метод дал новые сведения о ядре, о его составе, частях и о превращениях в них. Однако, метод в очень короткий срок себя исчерпал.

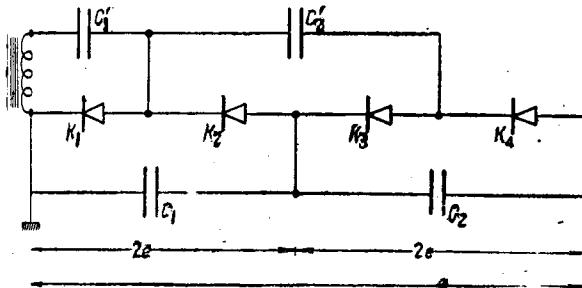
Дело в том, что  $\alpha$ -частицы, т. е. ядра  $\alpha$ , имеют очень большие недостатки. Ядра  $\alpha$  обладают сравнительно большим зарядом (весьма элементарным зарядом), поэтому им трудно приблизиться к ядру. Ядро гелия обладает сравнительно большой массой—его масса в 4 раза превосходит массу протона. Это также сильно затрудняет проникновение внутрь ядра. Кроме того, радиоактивные вещества дают очень мало  $\alpha$ -частиц и в ограниченном интервале скоростей.

Квантовая механическая теория ядра, разработанная Гамовым, которая более или менее применима к вопросу проникновения положительно заряженных частиц внутрь ядра, давала основание ожидать, что лучшими снарядами для обстрела ядра будут протоны, т. е. ядра водорода, как они значительно легче и обладают меньшим зарядом, чем ядра гелия. Кроме того, про-

жение протона к ядру может вызвать громадное испытание энергии. К сожалению, нет радиоактивных веществ, испускающих самопроизвольно протоны. Поэтому в последнее время в разных лабораториях мира начали разрабатываться методы получения быстрых протонов искусственным путем. Это является весьма трудной задачей, стоящей на вершинах современной техники физического эксперимента. Она потребовала разработки сложной аппаратуры, работающей в тяжелых условиях. Нужно было разработать источники очень высокого электрического напряжения; разработать водородные трубы, которые могли бы выдержать напряжения и разработать способы получения в этих трубках протонов.

Подготовкой этих опытов занялись многие лаборатории Англии, Германии и Америки. В СССР к этому вопросу работает Украинский физико-технический институт в Харькове (УФТИ).

Схема всех опытов такова. Полученные тем или иным способом протоны, т. е. ядра водорода, угоняются до большой скорости в высоковакуумной разрядной трубке при помощи электрического поля, и эти быстрые протоны бомбардируют то вещество, ядра которого изучаются.



1. Схема выпрямительной установки с умножением напряжения.  $T$  — трансформатор;  $K_1, K_2, K_3, K_4$  — кенотроны;  $C_1, C_2, C_1', C_2'$  — конденсаторы

Итак, задача получения быстрых протонов, в главных чертах, распадается на две части. Первая часть — это построение источника высокого напряжения от нескольких сотен тысяч, до нескольких миллионов вольт. И вторая — разработка высоковакуумной трубы, в которой должны бороться протоны. Постройка трубы на столь высокие напряжения представляет большие затруднения. Применяемые до настоящего времени высоковакуумные трубы (рентгеновские трубы, кенотроны) могут работать при напряжениях не выше  $250 \div 300$  кВ. Две причины затрудняют создание высоковакуумной трубы на высокие напряжения. Во-первых, выделение под действием высокого напряжения остатков газа, обволакивающих стенками трубы и электродами. Выделяющийся газ „портит“ вакуум; в трубке возникает электрический разряд, что создает большую нагрузку для источника высокого напряжения. Помимо напряжение, приложенное к трубке, сильно шум. Другая причина — это электрический пробой стенок трубы. Пробой происходит вследствие случайного накопления зарядов в том или иной месте внутренней поверхности стенки трубы, идущей внутренней и внешней поверхностями соединяется вследствие этого разность потенциалов, которая часто приводит к разрушению стенки. Создание условий, предупреждающих возникновение разряда и пробоя трубы при очень высоких напряжениях, является технически весьма сложной проблемой.

нелегким делом. Это осложняется еще тем обстоятельством, что теория электрического разряда, в особенности при очень высоких напряжениях, еще недостаточно хорошо разработана. И при конструировании трубы, предназначенной для работы на этих напряжениях, приходится ограничиваться лишь соображениями качественного характера и часто итти чисто эмпирическим путем.

Описание различных способов получения быстрых протонов и результатов работ с ними мы начнем с работы Кокрофта и Уолтона, работающих в лаборатории Резерфорда в Англии. Этим исследователям первым удалось получить результаты по разрушению атомных ядер протонами.

Кокрофт и Уолтон работают методом постоянного напряжения. Основным источником напряжения у них служит трансформатор, напряжение которого выпрямлялось и увеличивалось в несколько раз при помощи системы конденсаторов и выпрямителей. Такие схемы умножения и выпрямления существовали и раньше (схемы Греймакера, Шенкеля и др.) и нашли себе техническое применение. Кокрофт и Уолтон разработали схемы, являющиеся видоизменением существующих, но обладающих большими техническими преимуществами перед последними.

На рис. 1 представлена такая схема. Если амплитуда напряжения на трансформаторе  $T$  равна  $e$ , то на каждом из конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  получается удвоенное выпрямленное напряжение  $2e$ , и полное выпрямленное напряжение оказывается в четыре раза больше максимального напряжения на трансформаторе.

Такую схему, принципиально, можно продолжить сколь угодно далеко, и при  $n$  конденсаторах и  $n$  кенотронах основное напряжение можно повысить в  $n$  раз. В схеме Кокрофта и Уолтона каждый конденсатор и каждый кенотрон должны быть рассчитаны всего лишь на двойное максимальное напряжение трансформатора. Это представляет большие преимущества перед ранее предложенными схемами, при которых некоторые звенья должны выдерживать относительно большие напряжения. Кокрофту и Уолтону удалось сконструировать кенотроны на 400 кВ и, пользуясь схемой, дающей четырехкратное повышение напряжения трансформатора, они могли получать потенциалы до 800 кВ.

За недостатком места мы не будем останавливаться на конструкции кенотронов и перейдем к описанию трубы. Трубка состояла из двух стеклянных цилиндров диаметром 35 см и высотой около 1 м каждый (рис. 2). На концах цилиндров находились металлические пластины  $C$ , при помощи которых укреплялись электроды  $B$ . Последние представляли собой металлические трубы, заканчивающиеся толстыми кольцами, служащими для предупреждения холодного испускания электронов. Назначение электродов — фокусировать поток протонов в трубке и защищать стеклянные стенки от пробоя. Протоны получались путем разряда в водороде в специальной разрядной трубке  $T$ , находящейся на верхней крыше основной трубы. Водород просачивался

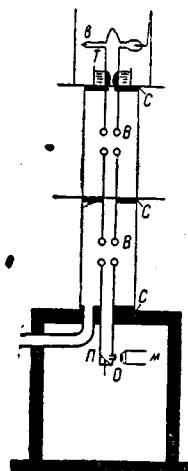


Рис. 2. Трубка для получения очень быстрых протонов

из колбы через вентиль *b*. Разрядная трубка питалась от особого трансформатора на 60 кВ. Образованные разрядом протоны под влиянием электрического поля попадали в главную трубку через специальное отверстие. Отверстие имело достаточно малые размеры, чтобы могла поддерживаться разность давлений. Так как в верхней разрядной трубке для получения разряда должно быть давление водорода примерно равным  $10^{-3}$  mm Hg. В основной же трубке, находящейся под непрерывной откачкой, должен быть создан возможно лучший вакуум. Практически здесь давление, по порядку величины, равно примерно  $10^{-5}$  mm Hg. Откачка трубы производилась диффузионным масляным насосом.

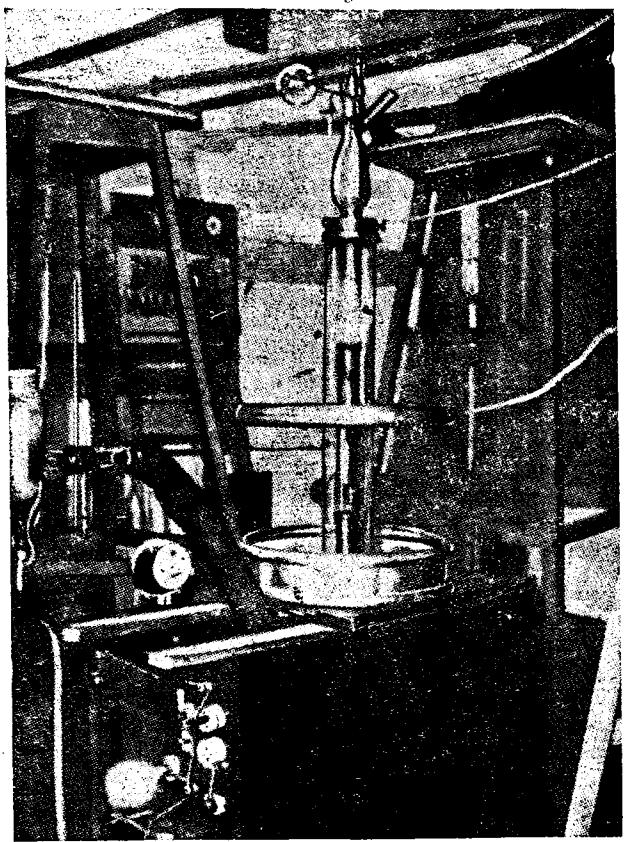


Рис. 3. Фотография трубы, построенной в УФТИ

К такой трубке оказалось возможным прилагать напряжение до, приблизительно, 700 кВ при протонном токе порядка  $10 \mu\text{A}$  ( $10^{-5}$  А). Существенно отметить, что в смысле числа частиц трубка, дающая поток заряженных частиц в  $10 \mu\text{A}$ , эквивалента примерно 1 kg радиа.

Попавшие в трубки протоны, приобретя полную скорость, попадают на пластинку *P*—из исследуемого вещества. Пластинка *P* расположена под углом  $45^\circ$  к направлению потока протонов. Если какой-либо протон вызывает разрушение ядра исследуемого элемента, то частица, выбитая из ядра и пролетевшая через окошко *O*, закрытое слюдяным листком, попадает на расположенный перед окошком экран, покрытый слоем сернистого цинка. Эта частица вызывает на экране видимую в микроскоп вспышку, так называемую сцинцеляцию, которая и указывает на то, что произошло разрушение ядра. Первым удалось разрушить ядро атома лития (март 1932).

Разрушение ядра лития заметно по сцинцеляциям уже начиная с ускоряющих напряжений всего 125 кВ и протоном тока около 1  $\mu\text{A}$ , и число разрушаемых атомов сильно возрастает с увеличением энергии протонов, т. е. напряжения. Дальнейшие исследования показали, что вылетающие при разрушении ядра лития частицы являются  $\alpha$ -частицами.

Процесс происходит следующим образом. Ядро лития, присоединив к себе протон, распадается на два ядра гелия, т. е. разлетающихся в противоположных направлениях с весьма большой энергией. При этом процессе выделяется громадная энергия, именно кинетическая энергия протона, произведшего разрушение ядра. Но вероятность такого процесса оказывается очень малой. Например, при ускоряющем напряжении в 250 кВ всего один протон из миллиарда производит разрушение ядра лития. Остальные же протоны попадают во внутрь ядер, а, сталкиваясь с электронами внешней оболочки атома, бесполезно теряют свою энергию. Таким же путем удалось разрушить ядра многих других элементов.

Эти опыты ведутся на аналогичной установке и у нас в Украинском физико-техническом институте. В августе 1932 г. на этой установке удалось разрушить ядра атома лития. На рис. 3 изображена фотография разрядной трубы, построенная в УФТИ. В настоящее время в УФТИ заканчивается постройкой более мощной установки: постоянное напряжение и соответствующая разрядная трубка и начинаются опыты по изучению ядер более тяжелых элементов.

Метод постоянного напряжения имеет большие преимущества перед другими методами получения быстрых протонов, так как помимо прочего здесь легче всего получить мощный постоянный поток протонов. Однако, этот метод не может полностью удовлетворить физиков, так как он дает практическую возможность получить протоны сравнительно небольших энергий, соответствующих напряжений не выше примерно 1000 кВ. Дальше повышать напряжение очень трудно из-за очень больших затруднений, которые встречаются при разработке разрядной трубы на более высокие напряжения. Протоны небольших скоростей могут подойти только к сравнительно легким ядрам с малым зарядом, для изучения же более сложных тяжелых ядер нужны методы, дающие возможность получать более высокие напряжения. Поэтому, приблизительно два года тому назад, в УФТИ начали разрабатывать другой метод, дающий возможность сравнительно просто получать высокие напряжения и строить высокомощные трубы, способные выдерживать эти напряжения. Мы имеем в виду метод трансформатора Тесла. В октябре 1932 г. методом трансформатора Тесла в УФТИ разрушено ядро атома лития, а в ноябре—ядро атома фтора. Следует отметить, что это является пока единственным случаем разрушения атомных ядер методом трансформатора Тесла. Такой же метод разработан американским физиком Тью, Хофстед и Дэниелсоном. Они получили напряжение до 5000 кВ, однако, им пока не удалось построить разрядную трубку на эти напряжения и получить результаты по разрушению ядер. В УФТИ построен трансформатор Тесла на напряжение до 2500 кВ и соответствующая трубка, выдерживающая без разрушения напряжение до 2000 кВ.

Трансформатор Тесла представляет собою высокочастотный резонансный трансформатор с большим коэффициентом трансформации, работающий в затухающих колебаниях. Схема его изображена на рис. 4. Самоиндукция первичного контура  $L_1$  создана всего из нескольких витков, самоиндукция вторичного контура  $L_2$  состоит из катушки с большим числом витков. Емкостью вторичного контура служит собственная емкость катушки самоиндукции и емкость шара  $C_2$ . Выпрямленное с помощью кенотрона напряжение от обычного трансформатора подводится к зажимам  $A$  и  $B$ . Напряжение, равное примерно нескольким киловольтам, заряжает конденсатор  $C_1$  тех пор, пока не наступает пробой искрового разрядника  $D$ . Тогда в колебательном контуре  $L_1 C_1$  и в индуктивно с ним связанным контуре  $L_2 C_2$  возникают затухающие колебания. Такой процесс повторяется 50 раз в секунду. Величина напряжения во вторичном контуре, кроме напряжения на первичном контуре и соотношения между самоиндукциями и емкостями, зависит от потерь и, главным образом, от потерь на корону. Для уменьшения потерь на корону на всей вторичной катушке, находящейся под большим потенциалом, насаживается мегаллический шар  $C_2$ ; кроме того, первичная и вторичная спираль трансформатора погружаются в масло. Разрядная трубка помещается также в масле внутри спирали трансформатора.

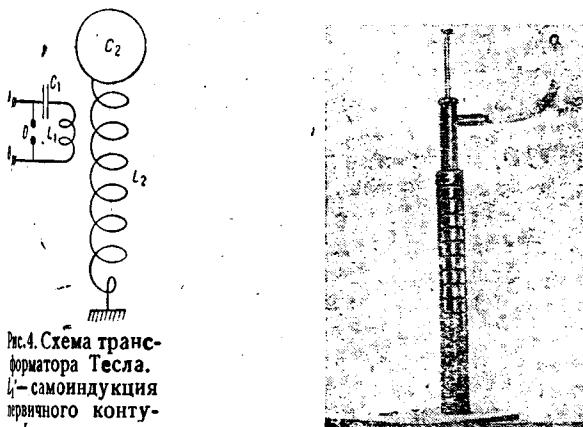


Рис. 4. Схема трансформатора Тесла.  $L_1$  — самоиндукция первичного контура;  $L_2$  — самоиндукция вторичного контура;  $C_1$  — конденсатор первичного контура;  $D$  — разрядник

Рис. 5. Трубка для получения быстрых протонов методом трансформатора Тесла

На рис. 5 дана фотография трубы, сконструированной УФТИ, выдерживающей напряжение 2000 кВ. Трубка состоит из 28 отдельных секций, сделанных из стекла (советского пайка), рецепт которого был недавно найден на финском стеклозаводе. Протонами, ускоренными в этой трубке, удалось разрушить, о чём упоминалось выше, ядра атомов лития и геля. В настоящее время ведутся опыты над разрушением ядер других элементов.

Существует еще метод получения очень высоких напряжений; это метод так называемого ударного генератора, который дает отдельные кратковременные импульсы высокого напряжения постоянного напряжения. Такие генераторы имеют значение в технике высоких напряжений, где они для исследований высоковольтных линий и задач электрической энергии.

Построен, предназначенный для этой цели, генератор на напряжение до 10 000 кВ. Для целей изучения атомного ядра, методом ударного генератора работают германские физики Браш и Ланге. Браш и Ланге работают с ударным генератором на 2400 кВ. Ими построена трубка, предназначенная для работы с ударным генератором. В настоящее время строится ударный генератор на 7 000 кВ. Конденсаторы этого генератора будут погружены в железный бак, наполненный маслом. Давление внутри бака для повышения изолирующей способности масла может быть доведено до 6 ат.

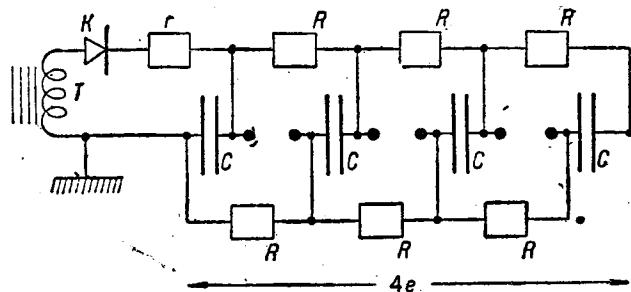


Рис. 6. Схема ударного генератора

Ударный генератор представляет преимущество в том отношении, что с его помощью легче всего получить очень высокие напряжения, а следовательно, и протоны, обладающие большой энергией. Однако, он страдает тем большим недостатком, что дает напряжение в виде весьма кратковременных (порядка тысячных долей секунды) импульсов, следующих относительно редко друг за другом, и этим, следовательно, не дает возможности получения среднего протонного тока достаточно большой интенсивности. Ударный генератор представляет собой систему конденсаторов (рис. 6). Принцип действия ударного генератора таков. Все конденсаторы  $C$  заряжаются через большие сопротивления  $R$ . Зарядка производится при помощи обычного трансформатора  $T$  и кенотрона  $K$ . Как только зарядное напряжение достигнет определенной величины (равной пробивному напряжению разрядников  $D$ ), то между шариками разрядников проскаивает искра, разрядники практически замыкаются накоротко (так как сопротивлением искры можно пренебречь сравнению с сопротивлениями) и все конденсаторы, таким образом, переключаются из параллельного соединения на последовательное. Напряжение между левой пластинкой первого конденсатора и правой последнего оказывается в первый момент равным зарядному напряжению, умноженному на число конденсаторов. На практике для того, чтобы получить напряжение желаемой величины, выбирают соответствующее расстояние только между шариками первого разрядника. Расстояние между шариками остальных разрядников берется несколько большим, чем в первом. Как только зарядное напряжение достигнет величины, равной пробивному напряжению первого разрядника, первые два конденсатора соединяются последовательно. Вследствие этого пробиваются остальные разрядники, так как они оказываются под двойным напряжением. Практически можно считать, что все разрядники пробиваются одновременно.

Трубка, сконструированная Брашем и Ланге, предназначена для ускорения протонов при по-

мощи напряжения, получаемого от ударного генератора, представляет собою стопку, состоящую из наложенных друг на друга поочередно металлических шайб и шайб из изолирующего материала; между каждой стеклянной и алюминиевой шайбами проложены резиновые кольца. В последней модели такой трубки, рассчитанной на напряжение в 2500 кВ, изолирующие шайбы сделаны из иелона. Такая трубка оказалась безопасной в смысле пробоя и в ней удалось избежать возникновения мешающего разряда при напряжениях в 2400 кВ.

Работы методом ударного генератора ведутся и в СССР. В УФТИ имеется ударный генератор (построенный осенью 1931 г.) на 1500 кВ и трубка системы Браша и Ланге, выдерживающая эти напряжения. На рис. 7 представлена фотография ударного генератора.

В настоящее время в УФТИ удалось наладить производство высоковольтных конденсаторов большой емкости. Конденсаторы состоят из листов алюминиевой фольги, между которыми проложена специального сорта бумага, пропитанная маслом. Емкость этих конденсаторов равна 0,5  $\mu F$ . Испытательное напряжение 75 кВ. Эти конденсаторы предназначены для постройки ударного генератора на несколько миллионов вольт с большой длительностью импульса высокого напряжения.

Следует отметить, что, насколько известно, до настоящего времени не имеется результатов по разрушению атомных ядер методом ударного генератора. Это, повидимому, объясняется описанными выше недостатками этого метода и в этом отношении является существенным создание генератора с большой продолжительностью импульса высокого напряжения.

В заключение остановимся на описании весьма остроумного метода получения быстрых протонов при помощи сравнительно низкого напряжения незатухающих колебаний высокой частоты, получаемых от обычного лампового генератора, применяемого в радиотехнике. Этот метод предложен американскими физиками Лауренсом и Ливингстоном.

В своем окончательном виде прибор Лауренса и Ливингстона в существенном представляют собой плоскую металлическую коробку цилиндрической формы, разрезанную на две части *A* и *B* по диаметру *C* (рис. 8). Половины цилиндра присоединяются к ламповому генератору, и, таким образом, в области *CD* между цилиндрами полу-

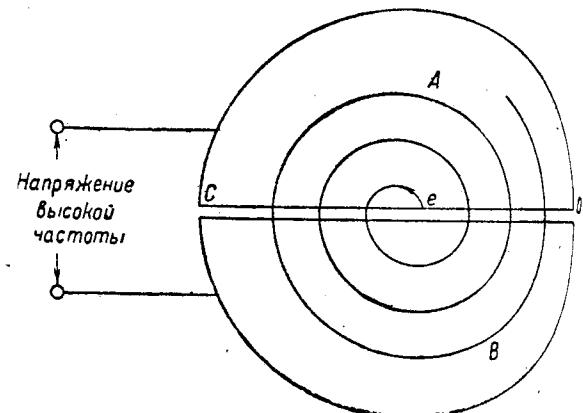


Рис. 8. Схематический чертеж прибора Лауренса и Ливингстона для получения быстрых протонов

чается переменное электрическое поле высокой частоты. Прибор помещается между полюсами электромагнита так, что магнитное поле оказывается направленным перпендикулярно основанию цилиндра.

Механизм получения быстрых протонов. Пусть в некоторый момент, когда напряжение между обеими половинами цилиндра достигнет максимальной величины, протон находится в точке *E* (рис. 8); под действием электрического поля протон при его движении в области *C* приобретает скорость, соответствующую напряжению *e*, где через *e* обозначена амплитуда напряжения высокой частоты. Далее протон попадает в область, где отсутствует электрическое поле. Магнитное поле заставляет протон двигаться по окружности. Пройдя полуокружность, протон опять попадает в область электрического поля *CD*, но с противоположной стороны. Ес-за этого время направление электрического поля успело как раз измениться на противоположное, и протон снова получает дополнительную скорость, соответствующую той же величине напряжения и приобретенная протоном скорость уже будет соответствовать удвоенному напряжению  $2e$ .

Таким образом, протон последовательно побегает полуокружности все возрастающего радиуса и каждый раз при прохождении области *C* испытывает ускорение. Пройдя *n* полуокружностей, протон приобретает скорость, соответствующую кратному основному напряжению  $nE$ . Для того, чтобы протон в подходящий момент попадал в поле *CD*, достаточно, чтобы напряжение магнитного поля *H* и частота электрических колебаний (длина волны) находились в определенном соотношении. Например, при напряжении магнитного поля в 10000 Gans длина волны генератора должна быть равна 19,4 м.

Лауренс и Ливингстону удалось получить ток протонов со скоростями, соответствующими 12  $\mu W$  при волне генератора 14,1 м. Амплитуда напряжения высокой частоты была равна 4000 V. Поэтому для приобретения указанной скорости протону пришлось пробежать 300 полуокружностей. Протонный ток был равен примерно 10  $\div$  9 A, т. е. в тысячи раз меньше получаемого Кокрофтом и Уолтоном.

Полученными таким методом быстрыми протонами, Лауренсу, Ливингстону и Уатту удалось также разрушить ядро атома лития.

Методом Лауренса и Ливингстона заканчивается описание различных способов получения быстрых

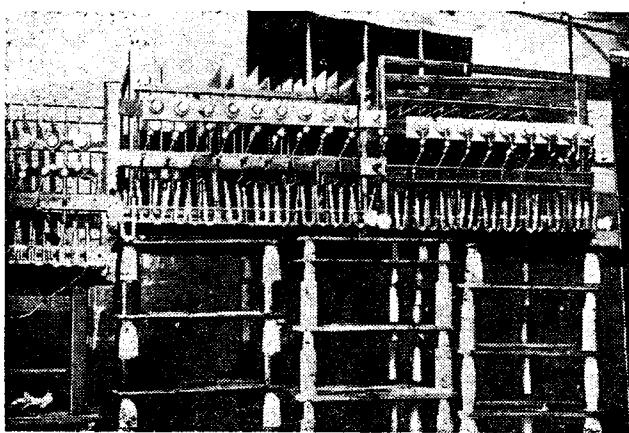


Рис. 7. Фотография ударного генератора

протонов. Каждый из этих способов обладает цепи рядом преимуществ и недостатков, и в настоящее время еще нельзя с полной уверенностью предсказать, который из них окажется наиболее полезным в будущем для изучения ядра ядра. Пока все преимущества лежат на стоящем способе, предложенного Кокрофтом и Уолтоном.

В заключение еще раз остановимся на вопросе практическом использовании работ по изучению атомного ядра. Мы, в частности, здесь имеем в виду знаменитый вопрос об использовании энергии внутриядерных превращений. Опыты с искусственными протонами, произведенные в особенности Кокрофтом и Уолтоном, показали, что в многих случаях попадание протона в ядро ядра приводит к выделению большого количества энергии, превосходящей энергию падающего протона.

Однако, при работе методом обстреливания протонами, возможность использования этой энергии внутриядерных превращений следует считать практически невыполнимой из-за чрезвычайно малого процента попадания протонов в ядра.

Это не значит, что энергия внутриядерных превращений не сможет быть использована при помощи других методов. Например, одним из этих методов может оказаться метод обстреливания вновь открытыми частицами нейтронами, о которых мы говорили выше. Нейтроны, как показал опыт, тоже могут вызывать ядерные превращения. Нейтроны обладают тем преимуществом, что они, повидимому, почти не взаимодействуют с внешними электронами атома, а только

с ядрами. Следовательно, принципиально почти каждый нейtron может быть использован. Вопрос в том, как создать настолько мощный поток протонов, чтобы изучить эти новые возможности. В этом отношении в настоящее время имеются некоторые соображения и в УФТИ уже начата работа в этом направлении. Но это задача еще не слишком близкого будущего. Во всяком случае, можно думать, что, получив в распоряжение мощный поток нейтронов, мы будем иметь новое мощное средство для исследования атомного ядра. Средство, которое, может быть, окажется несравненно более действительным, чем все те, с которыми мы до сих пор имели дело.

И в настоящее время, если рано говорить о каком-либо непосредственном практическом использовании будущих сведений об атомном ядре, мы можем уже сейчас с уверенностью указать на так сказать побочное практическое значение работ в этой области.

Мы имеем в виду, например, усовершенствование и создание новых типов источников сверхвысокого напряжения, — создание высоковакуумных трубок, способных работать при таких напряжениях. Все это будет иметь значение не только в технике и в разных областях физики, но, например, в биологии и медицине.

Во всем мире идет сейчас интенсивная работа по изучению атомного ядра. Шаг за шагом добываются все новые и новые сведения о ядре. Физики Советского союза включились в эту работу, и можно смело утверждать, что здесь, в этой огромной, важной области исследования советских ученых займут подобающее им место.

## НОВОЕ В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

### Динамомашина для дуговой сварки

Академик К. И. Шенфер  
В Э И

#### 1. Описание новой схемы

Как известно, для дуговой сварки применяются динамомашины постоянного тока, имеющие так называемую "падающую" характеристику, при которой напряжение на коллекторе машины понижается при увеличении тока. Большую известность получили сварочные машины системы Розенберга, характеризующиеся двойным числом щеток на магните и полюсами специальной конструкции. Однако, для целей сварки приспособить динамомашину совершенно обычной конструкции, изменив схему ее возбуждения.

На рис. 1 показана новая предлагаемая автосхема<sup>1</sup>). На этом рисунке означают:  $g$  — якорь динамомашины постоянного тока,  $W_1$  и  $W_2$  — обмотки возбуждения, расположенные на одинаковых полюсах;  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  — омические сопротивления;  $D$  — сварочная дуга.

Как видно из рис. 1, сопротивления  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  дуги  $D$  образуют замкнутый контур-параллелограмм 1-2-3-4; к точкам 1 и 2 этого параллелограмма присоединен якорь машины  $g$ , а в другую диагональ 2-4 включена обмотка возбуждения

машины  $W_1$ . Таким образом схема рис. 1 напоминает мостик Уитстона.

Действие этой схемы заключается в следующем: при сильно раздвинутых электродах дуги  $D$  ток в обмотке возбуждения  $W_1$  имеет направление, указанное на чертеже сплошной стрелкой. Путь этого тока следующий: положительная щетка — 1-4- $W_1$  — 2-3 — отрицательная щетка.

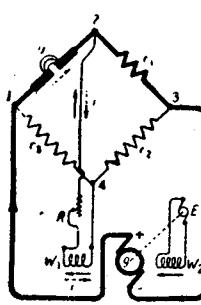


Рис. 1

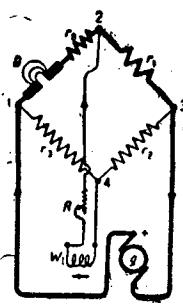


Рис. 2

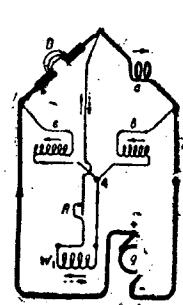


Рис. 3

При сомкнутых электродах дуги  $D$  направление тока в обмотке возбуждения  $W_1$  изменяется на обратное (пунктирная стрелка). Путь тока в этом случае будет следующий: Положительная щетка — 1-2 —  $W_1$  — 4-3 — отрицательная щетка. В по-

следнем случае обмотка  $W_1$  будет действовать размагничивающим образом, в результате чего напряжение машины понизится.

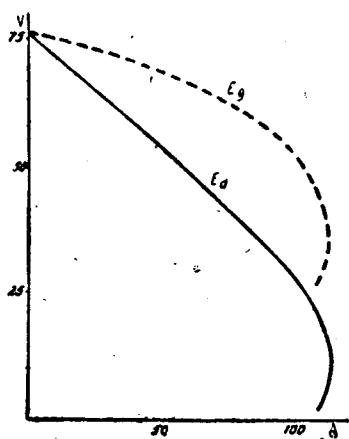


Рис. 4

Эту схему можно несколько упростить, как показано на рис. 2. Последняя фигура отличается от рис. 1 тем, что машина  $g$  здесь имеет только одну обмотку возбуждения  $W_1$  и что последовательно с дугой  $D$  включено добавочное сопротивление  $r_0$ .

Величину последнего сопротивления  $r_0$  можно подобрать таким образом, чтобы ток в обмотке возбуждения  $i$  даже при соприкасающихся электродах дуги  $D$  не изменял своего направления и лишь уменьшался по своей величине.

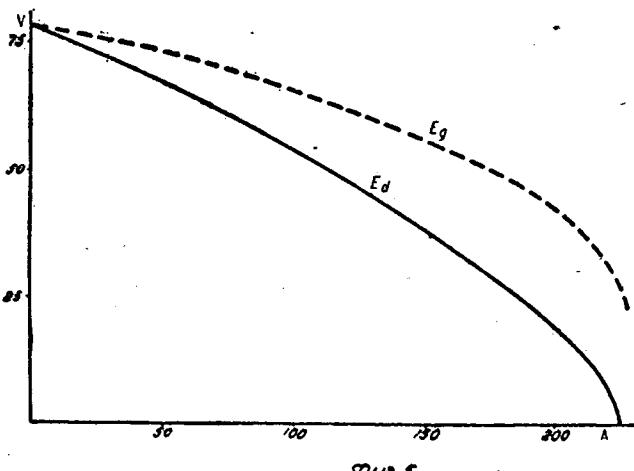


Рис. 5

Для регулировки сварочного тока служит сопротивление  $R$  в цепи обмотки возбуждения.

Схему рис. 1 можно видоизменить, как показано на рис. 3. В последней схеме в качестве сопротивлений параллелограмма Уитстона использованы обмотки возбуждения  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Таким образом из

рис. 3 видно, что на полюсных сердечниках машины кроме обмотки  $W_1$ , еще расположены катушки  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Катушка  $a$  обтекается главным током машины; в катушках  $b$  и  $c$  текут относительно небольшие шунтовые токи. Обмотки  $b$  и  $c$  здесь играют ту же роль, что и обмотка  $W_2$  на рис. 1. Обмотка  $a$  является противокомпенсационной и ограничивает силу тока короткого замыкания.

## II. Опыты

Ленинградский завод „Электрик“ произвел опыты с целью выяснения практической пригодности генератора, соединенного согласно выше описанным схемам для целей электрической сварки. Испытание машины производилось при соединении ее по схеме рис. 1 (1-й вариант) и по схеме рис. 2 (2-й вариант) <sup>2)</sup>.

При испытании 1-го варианта схема рис. 1 была модифицирована таким образом, что обмотка возбуждения  $W_2$  непосредственно присоединяется к щеткам машины. Испытания производились при различных отношениях сопротивлений  $r_0$  и  $r_1$  при различных значениях сопротивлений  $r_1$  и  $r_0$  (рис. 4). При опытах вместо электрической дуги в соответствующую цепь включался реостат с изменимым сопротивлением. Для опытов была взята шунтовая машина завода „Электрик“ типа СМ.

На рис. 4 и 5 показаны характеристики, полученные из опыта согласно схеме рис. 1. Кривые напряжения на щетках генератора  $E_g$  и кривые напряжения на электродах вольтовой дуги в функции тока машины были найдены при различных значениях сопротивлений  $r_0$  и  $r_1$ .

На рис. 4 приведены кривые, полученные при  $r_0 = 0,12 \Omega$  и  $r_1 = 0,12 \Omega$ ; как видно из кривой, при коротком замыкании при этом достигается величина 120 А. С уменьшением сопротивлений  $r_0$  и  $r_1$  ток короткого замыкания должен возрастать. Это подтверждают кривые рис. 5, снятые при значениях  $r_1 = 0,04 \Omega$  и  $r_0 = 0,08 \Omega$ ; как видно из этих рисунков, ток короткого замыкания при этих условиях достигает 220 А.

Таким образом генератор, соединенный по выше схемам, имеет „падающие“ характеристики с очертаниями кривых, необходимыми при электрической сварке.

На заводе „Электрик“ производилась опытная сварка с машинами, соединенными по рис. 1. Во время опытов машина возбуждалась в пределах от 45 до 75 В. При диаметре прутков 1 и 5 мм сварка происходила удачно, и вольт-амперная характеристика держалась устойчиво <sup>3)</sup>.

<sup>2)</sup> Испытание производилось в электроизмерительной лаборатории завода „Электрик“ инж. Гребенщиковой при содействии инж. Г. М. Тиходеева, которым здесь автор выражает глубокую благодарность.

<sup>3)</sup> См. техническую записку завода „Электрик“ ТС-28.

## Новый тип осветительной динамо для тракторов

Инж. Шильдинер Л. М.  
ВЭИ

Специфические условия работы динамо на тракторе выдвигают задачу разработки соответствующего типа осветительной машины, которая удовлетворяла бы следующим требованиям:

1) на зажимах динамо должно поддерживаться постоянное напряжение при изменении числа оборотов двигателя трактора, который вращает якорь динамо;

2) постоянное напряжение должно также поддерживаться и при различных нагрузках внешней яли, ибо разные сельскохозяйственные работы требуют питания различного числа ламп;

3) чрезвычайно тяжелые условия работы тракторной динамо и недостаточно квалифицированный под за ней настоятельно требуют, чтобы она была выполнена возможно проще и надежнее.

Требование постоянства напряжения на зажимах динамо при различных числах оборотов и различных нагрузках, включая холостой ход, может быть достигнуто добавлением к динамо такого электрического элемента либо устройства, которые являются составной частью цепи нагрузки. Действительно, электромагнитный быстродействующий регулятор напряжения, работающий по принципу Тириля и применяющийся в настоящее время для регулирования напряжения, представляет дополнительный прибор, не требующий включения цепи нагрузки.

Постоянство силы тока машины может быть обеспечено лишь саморегулировкой с помощью реакции якоря, создаваемой нагрузкой (Розенберг, САУ, трехщеточная и др.). Напомним также, что машины могут работать только с аккумуляторами.

На рис. 1 показана схема новой осветительной динамо, разработанной автором в ВЭИ.

Из этой схемы видно, что последовательно с шунтовой обмоткой включается барреттер и якорь динамо имеет две обмотки. Одна из них — рабочая обмотка постоянного тока, концы ее выведены на коллектор, а другая — демпфирующая обмотка в виде беличьей клетки. Первую обмотку будем в дальнейшем называть рабочей. Демпфирующая обмотка при вращении якоря в магнитном потоке создает противопоток, взаимодействующий с главным магнитным полем таким образом, что поддерживается постоянное напряжение с изменением числа оборотов якоря. Для выяснения как качественных, так и количественных явлений, происходящих при работе осветительной машины, для чего начинаем с рассмотрения такого режима, при котором внешняя нагрузка машины равна нулю, т. е. холостой ход, и обмотка возбуждения питается от постороннего источника. Это позволит выяснить значение отдельных параметров демпфирующей обмотки посредством приведения нашей машины к синхронному генератору. Режим холостого хода нашей машины при постороннем возбуждении позволяет совершенно не учитывать электромагнитных влияний рабочей обмотки, можно рассматривать лишь взаимодействие главного магнитного поля с полем демпфирующей обмотки. В стержнях последней при вращении в магнитном потоке полюсов возникают э. д. с., которые вызывают появление токов, взаимно сдвинутых по фазе. Эта многофазная уси-

стема токов образует м. д. с. реакций якоря с амплитудой, равной

$$AW_a = 0.45 \frac{mI}{2p},$$

где  $m$  — число фаз (стержней) на якоре,  $I$  — сила в стержне,  $2p$  — число полюсов. Магнитодвижущую силу реакции якоря принимаем гауссированной по синусоиде. Из-за наличия в нашей машине выступающих полюсов магнитный поток реакции якоря не будет синусоидальным.

При постороннем возбуждении имеем полную аналогию с синхронным генератором, работающим с коротким замыканием всех фаз якоря. Поэтому мы можем рассматривать режим холостого хода осветительной машины как установившийся режим короткого замыкания многофазного синхронного генератора.

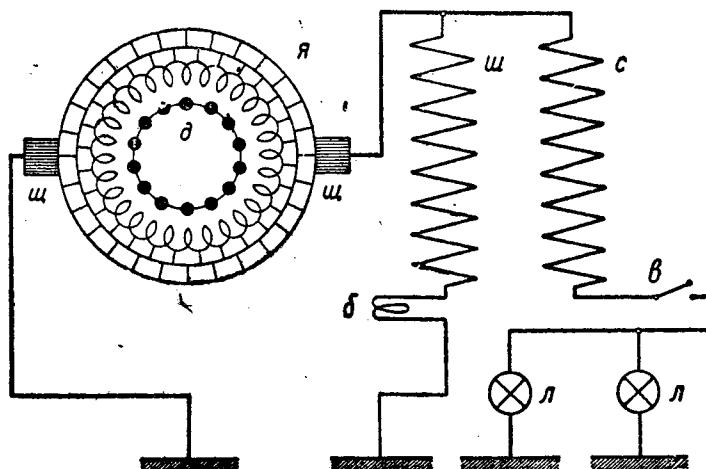


Рис. 1. Схема осветительной динамо для тракторов:  
— демпферная обмотка; я — якорь; щ — щетки; ш — шунтовая обмотка; с — серийная обмотка; б — барреттер; в — выключатель; л — лампа

Обратимся к рассмотрению диаграммы напряжения и потоков при коротком замыкании синхронного генератора с явно выраженным полюсами. Эта диаграмма, представленная на рис. 2, облегчает выяснение количественных соотношений между отдельными величинами. Принимаем для диаграммы следующие обозначения:

$Ir$  — омическое падение напряжения в каждом стержне;

$Ix_2$  — индуктивное падение напряжения в каждом стержне, обусловленное рассеянием;

$E_a$  — противо-э. д. с., создаваемая потоком реакции от демпферной обмотки;

$E_x$  и  $E_y$  — поперечная и продольная составляющие э. д. с. реакции якоря  $E_a$ ;

$$Ix_1 = \frac{E_a}{\cos \phi} = 1,77 m \lambda' q f(kw)^2 I \frac{l_1 \tau}{p \delta k_1} 10^{-8} \text{ В}, \quad (1)$$

где  $\lambda' q$  — коэффициент поперечной проводимости:

$$\lambda' q = 0,9 \frac{\alpha_1 \pi - \sin \dot{L} i \pi + \frac{2}{3} \cos \alpha_1 \frac{\pi}{2}}{\pi};$$

$f = \frac{pn}{60}$  — частота;

$m$  — число фаз (стержней) на пару полюсов;  
 $k$  — обмоточный коэффициент демпфирующей обмотки ( $k=1$ );

$w$  — число последовательно соединенных витков в фазе ( $w = \frac{1}{2}$ );

$l_i$  — идеальная длина железа якоря;  
 $\tau = \frac{\pi D}{2p}$  — длина полюсного деления;

$\delta$  — длина воздушного зазора;

$k_1$  — коэффициент картера;

$p$  — число пар полюсов;

$a_i = \frac{b_i}{\tau}$ .

И соответственно потоки:

$\Phi_m$  — магнитный поток полюсов;

$\Phi_a$  — " реакция якоря,

$\Phi_r$  — результирующий магнитный поток в воздушном зазоре.

Магнитный поток, существующий в воздушном зазоре, равен геометрической сумме

$$\Phi_m + \Phi_a = \Phi_r. \quad (2)$$

Этот результирующий поток будет наводить одинаковую э. д. с. во всех проводниках как рабочей обмотки, так и в стержне беличьей клетки, которые лежать в одном пазу, и поэтому все эти проводники находятся в одинаковых магнитных условиях. В стержнях беличьей клетки наводимая результирующим потоком  $\Phi_r$  э. д. с. должна покрывать падение напряжений от омического и индуктивного сопротивления каждой фазы:

$$Iz = Ix_2 + Ir, \quad (3)$$

где  $I$  — сила тока в стержне,  $x_2$  — реактанц расцетия. Вектор силы тока в стержне демпфирующей обмотки, который совпадает с вектором омического падения напряжения, отстает от вектора э. д. с. холостого хода в стержнях демпферной обмотки на угол  $\psi$ . Последний обусловлен так называемым синхронно-индуктивным сопротивлением каждой фазы беличьей клетки и характеризует внутренний сдвиг фаз.

Обмотку постоянного тока мы условились здесь рассматривать работающей без нагрузки и поэтому она не оказывает влияния на образование результирующего потока в воздушном зазоре. Если принять, что щетки находятся на геометрической нейтрали, то измеряемое напряжение между щетками пропорционально вектору  $E_{qn}$ , который перпендикулярен к вектору  $\Phi_m$ . Электродвижущая сила в проводах рабочей обмотки, пропорциональная вектору  $E_{qn}$ , наводится действующим магнитным потоком:

$$\Phi_{qn} = \Phi_m - \Phi_r, \quad (4)$$

т. е. равный арифметической разности магнитного потока полюсов и продольно размагничивающей реакции якоря (рис. 2). Чтобы определить величину  $\Phi_{qn}$ , следует правильно оперировать фиктивными величинами, которые помогают находить количественные выражения для фазовых сдвигов, и величины отдельных составляющих для диаграммы.

Теперь с помощью той же векторной диаграммы выясним величину и характер изменения силы тока в каждом стержне в зависимости от изменения числа оборотов и значения этого процесса для регулировки напряжения на внешних зажимах

рабочей обмотки. Последнее, конечно, главным образом, нас интересует. Напишем следующие равенства э. д. с. холостого хода каждой фазы

$$E_o = 4,44 kw f \Phi_m \cdot 10^{-8} = m_o \Phi_m n. \quad (5)$$

Электродвижущая сила для рабочей обмотки при холостом ходе машины равна:

$$E_{qn} = \frac{p}{a} \frac{n}{60} N \Phi_{qn} \cdot 10^{-8} = C \Phi_{qn} n. \quad (6)$$

Поперечно составляющая противо-э. д. с. каждой фазы якоря:

$$E_q = Cn \lambda_q' I \cos \psi. \quad (7)$$

Продольно составляющая противо-э. д. с. каждой фазы якоря

$$E_i = Cn \lambda_i' I \sin \psi. \quad (8)$$

Индуктивное падение напряжения в каждой фазе

$$Ix_2 = Ik_2 n. \quad (9)$$

Все векторы рассматриваемой диаграммы соответствуют номинальному рабочему числу оборотов

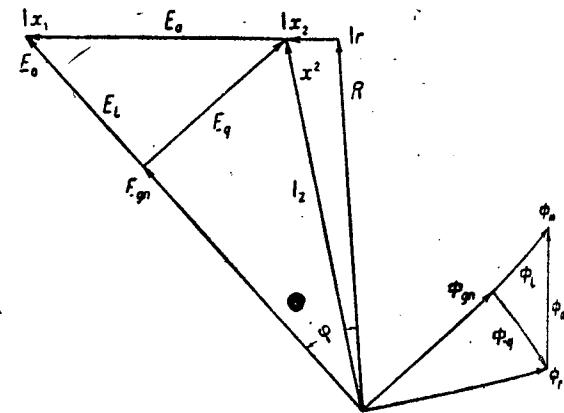


Рис. 2

напряжения. Причем вектор омического падения напряжения  $Ir$  принимаем за неподвижный. Затем для определения угла  $\psi$  воспользуемся известным способом, согласно которому на продолжении вектора  $Ix_2$  должны откладывать величину

$$\frac{E_q}{\cos \psi} = C \lambda_q' In,$$

где

$$C = 1,77 m \frac{p}{60} (kw)^2 \frac{l_i r}{\delta k_1 p} \cdot 10^{-8},$$

откуда получаем, что

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{Ix_2 + IC \lambda_q' n}{Ir} = \frac{n}{r} (k_2 + C \lambda_q'). \quad (10)$$

Из этого выражения мы видим, что  $\operatorname{tg} \psi$  не зависит от силы тока. Но вместе с тем это выражение включает все величины, характеризующие конструкцию нашей машины. Далее, отмечаем, что  $\operatorname{tg} \psi$  изменяется прямо пропорционально числу оборотов.

Составим следующее уравнение, которое позволит найти выражение для силы тока:

$$m_o \Phi_m n - Ix_2 \cos(\psi - \varphi) = Cn \lambda_q' I \sin \psi. \quad (11)$$

После ряда преобразований, получаем выражение для силы тока

$$I = \frac{m_o \Phi_m n}{\cos \psi \left[ r + \frac{n^2}{2} (C\lambda_q' + k_2) (C\lambda_i' + k_2) \right]} \quad (12)$$

Принимая, что при большем числе оборотов

$$\cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \psi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{C\lambda_q' + k_2}{r} \right)^2 n^2}} \approx \frac{r}{C\lambda_q' + k_2},$$

получим следующее приближенное выражение для силы тока в стержне

$$I \approx \frac{m_o \Phi_m}{C\lambda_q' + k_2}.$$

Не вошедшие сюда члены из уравнения (12) зависят на  $n^2$ , и поэтому мы можем ими пренебречь.

Напряжение между щетками пропорционально следующему выражению:

$$E_{on} = I z \cos(\psi - \phi) =$$

$$= \frac{m_o \Phi_m n (r \cos \psi + x_2 \sin \psi)}{\cos \psi \left[ r + \frac{n^2}{2} (C\lambda_q' + k_2) (C\lambda_i' + k_2) \right]} \quad (13)$$

Представленные значения выведены из диаграммы рис. 2.

Выше было отмечено, что уравнение (1) используется лишь для определения значения угла  $\psi$ . Равновесие этой теории лежит методом, предложенным Блонделем. Чтобы создаваемую якорем сила разложить на продольную и поперечную, имеющие с соответствующими амплитудами:  $\sin \psi$ , совпадающую с осью полюсов, и  $\cos \psi$ , перпендикулярную оси магнитов. В уравнение (1) входит также  $\lambda_q'$  — коэффициент, характеризующий проводимость для поперечной составляющей потока реакции якоря. Для нашей машины, имеющей явно выраженные полюса, продольный поток проходит, главным образом, по воздуху, и поэтому можем принять  $\lambda_q'$  за постоянную величину. Проводимость поперечного магнитного поля не зависит от его амплитуды, хотя определяется углом  $\psi$ . Но весьма сомнительно, чтобы  $\lambda_i'$  — коэффициент, характеризующий проводимость для продольного потока, — был постоянен для различных значений его амплитуды. Видимая величина зависит также и от угла  $\psi$ . Применим к нашей машине, в которой имеет место синусоидальное колебание магнитного потока, очевидно, неизвестно требует учитывать изменения проводимости продольного потока при различных изменениях его амплитуды. Попутно отметим следующее положение, которое многими авторами подчеркивается. Физические явления при распределении создаваемой реакцией якоря синусоидальной м. д. с. с амплитудой, сдвинутой относительно полюсов в зависимости от угла  $\psi$ , неизвестно отличаются от тех явлений, которые место, если м. д. с. якоря разложить на продольную и поперечную составляющие по отношению к оси магнитов. В первом случае доказем, что м. д. с. не изменяет свою величину

(при  $I = \text{const}$ ), а имеем лишь поворот вектора поля по отношению к оси полюсов в зависимости от угла  $\psi$ . Очевидно, что каждое изменение положения вектора поля из-за неоднородности и неравномерности магнитной проводимости, обусловленной сложной формой полюсов и между полюсами пространством, будет создавать различные конфигурации распределения магнитного потока. Это также будет влиять на образование суммарной проводимости, которая меняется вместе с поворотом вектора поля. Во втором случае, рассматривая влияния в отдельности поперечной и продольной составляющих м. д. с. якоря, получим совершенно другую конфигурацию распределения потоков и, следовательно, проводимости в сравнении с той картиной, которая получилась в первом случае.

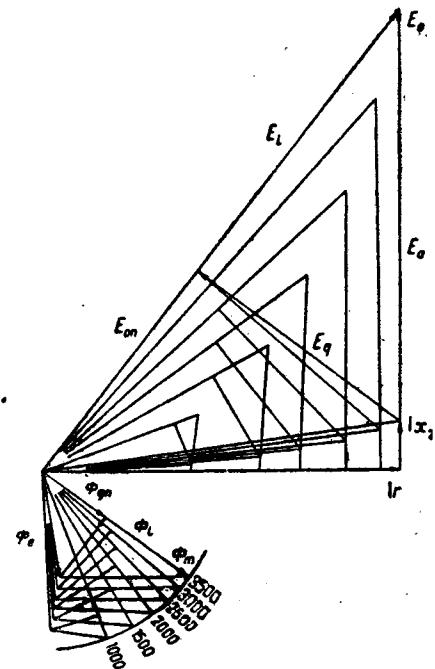


Рис. 3

$n$	$I$	$\lambda_i'$	$\psi$
1 000	26,4	0,626	20°
1 500	38,4	0,51	29°
2 000	45	0,495	37°
2 500	53,5	0,45	43°
3 000	60	0,42	49°30'
3 500	63	0,43	53°

Между распределением потока и устанавливающейся для него проводимости существует тесная зависимость. Поэтому навряд ли возможно лишь одними геометрическими величинами учесть проводимости для продольного потока. В выражение

$$\lambda_i' = 0,9 \frac{\alpha_i \pi + \sin \alpha_i \pi}{4 \sin \alpha_i \frac{\pi}{2}}$$

входят только отвлеченные числа, связанные с конструктивными размерами полюсов. Таким образом нами принимается  $\lambda_i'$  за постоянную величину, величина же  $\lambda_i'$  будет изменяться по неизвестному нам пока закону в зависимости от угла  $\psi$ . В нашу задачу как раз и входит определение характера изменения  $\lambda_i'$ . Для определения  $\lambda_i'$  и воспользуемся нижеприведенным графоаналитическим методом поверочного расчета.

## Графоаналитический метод нахождения силы тока в стержне и коэффициента проводимости для продольного потока

(Пример расчета)

Определяем все параметры для якоря с демпфирующей обмоткой. Данные якоря  $D = 70,9$  мм,  $l = 48,7$  мм, число пазов  $z = 14$ , число витков в секции  $w = 10$ , число проводов в пазу  $N_s = 40$ .

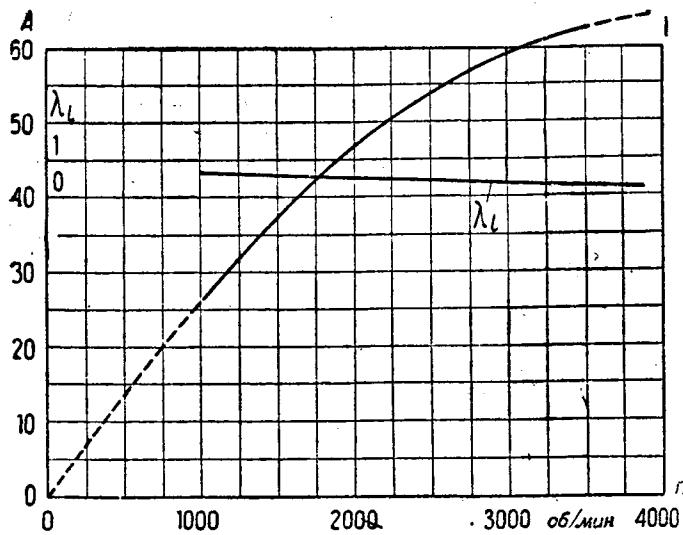


Рис. 4

Омическое сопротивление и индуктивное сопротивление, обусловленное рассеянием, находим по общепринятому способу подсчета этих сопротивлений для короткозамкнутых обмоток.

### Омическое сопротивление

$$r = r_s + \left( \frac{2r_k}{2 \sin \frac{\pi}{m}} \right)^2. \quad (14)$$

Первый член правой части уравнения представляет омическое сопротивление стержня, а второй член представляет приведенное сопротивление для части кольца, соединяющего два смежные стержня.

### Индуктивное сопротивление

$$x_2 = x_s + \left( \frac{2x_k}{2 \sin \frac{\pi}{m}} \right)^2. \quad (15)$$

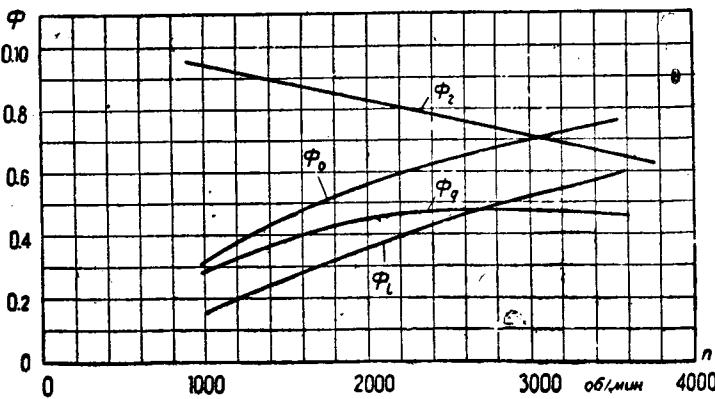


Рис. 5 Вологодская областная универсальная научная библиотека

Рассеяние в пазу и лобовых частях демпфирующей обмотки подсчитываем общепринятым способом. Лишь для определения рассеяния головных зубцов считаем, что более верный результат получим, если воспользуемся формулой Арнольда

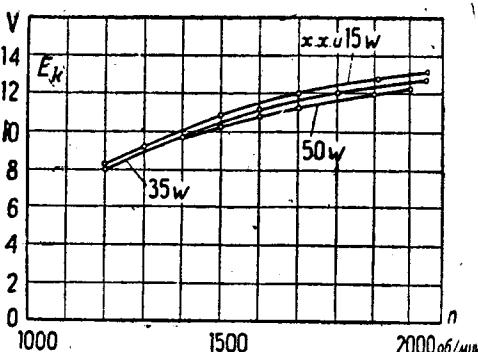


Рис. 6. Нагрузочные характеристики динамомашины при работе на тракторе СТЗ-15/30

которую он рекомендует для подсчета рассеяния в машинах постоянного тока с дополнительными полюсами:

$$\lambda_k = \frac{t_1}{2k_1 \delta},$$

где  $t_1$  — зубцовый шаг,  $k_1$  — коэффициент Карри и  $\delta$  — длина воздушного зазора.

Значение  $x_1$  определяем из уравнения (1). На якорь демпфирующую обмотку, снимаем пространственную характеристику  $E_k = f(n)$  для  $I=0$  ичисляем продольно действующий поток  $\Phi_p$ .

Определив перечисленные величины, можем приступить к построению диаграммы. Поступим следующим образом. Откладываем в каком-либо масштабе омическое сопротивление  $r$  и параллельно к этому отрезку откладываем величину равную  $x_1 + x_2$  (рис. 2). Из начала отрезка  $r$  проводим два луча. Один из них проходит через начало отрезка  $r$  и конца отрезка  $x_2$ ; образуя угол  $\psi$ . А другой луч проводится из того же начала  $r$  и конца отрезка, равного  $x_1 + x_2$ . Он образует угол  $\phi$ . На луче, проходящем под углом  $\psi$ , определяем величины

$$E_o = 4,44 fkw \Phi_m \cdot 10^{-8}$$

$$E_{gn} = 4,44 fkw \Phi_{gn} \cdot 10^{-8}.$$

Значения потока  $\Phi_{gn}$  находим следующим образом. Для интересующего нас числа оборотов  $n$  соответствующее значение  $E_{gn}$  [уравнение (1)] из вышеприведенного уравнения определяем  $\Phi_{gn}$ . Эту величину магнитного потока используем для определения  $E_{gn}$ . Найденное значение определяем на векторе  $E_o$  и восставляем перпендикуляр из конца отрезка  $E_{gn}$  до пересечения с лучом, проведенным к отрезку  $r$  под углом  $\phi$ . Тогда

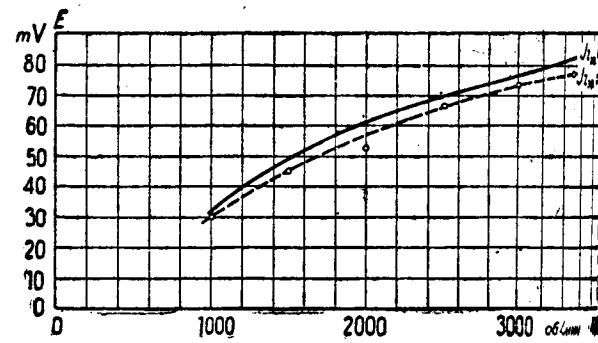


Рис. 7

действия является концом вектора величиной  $I = \sqrt{(I_r)^2 + (I_r)^2}$  в масштабе напряжения. По вектору  $I_r$  определяем силу тока в стержне, ибо  $I_r$   $\perp I$ .

Обстоятельство, что нами привлекается индуктивное сопротивление, обусловленное всем сопротивлением для определения силы тока в стержне, а не только рассеяния части стержня, выдающей из паза и сегмента кольца, соединяющие два смежные стержня, дает небольшую погрешность. Ибо по отношению к другим составляющим индуктивное сопротивление представляет значительную величину (рис. 3).

На рис. 3 дано построение диаграмм для различных чисел оборотов, для чего потребовалось квадратично вычислить значения  $x_1, x_2, E_0$  и  $E_{0r}$  соответствующих скоростей. На рис. 4 показаны кривые изменения  $I$  и  $\lambda'_i$ , в зависимости от скорости. На рис. 5 представлены кривые магнитных потоков в зависимости от изменения числа оборотов. На рис. 6 показаны кривые, полученные при испытании опытного образца динамо на тракте СТЗ-15/30. Изменяя нагрузку включением на разную мощность и при значительных колебаниях оборотов, напряжение поддерживают в допустимых для практики пределах.

### Опытное исследование

Для подтверждения правильности значений, приведенных на диаграмме рис. 7, полученных путем

подсчета по теоретическим формулам, было произведено следующее опытное исследование.

На якорь динамо положили добавочный виток медной проволоки, одна сторона которого была проложена в пазу вместе со стержнем демпферной клетки, и начало выведено к кольцу, а другая сторона витка подводилась через просверленный для этой цели вал к другому кольцу. К кольцам присоединялась шлейфа осциллографа для измерения э. д. с., наводимой в этом витке. Таким образом получался виток кольцевой обмотки с одной активной стороной, находящейся в одних и тех же электромагнитных условиях, что и стержень клетки. Поэтому наведенная э. д. с. как в активной стороне витка, так и наведенная в стержне клетки будут равны между собой.

На диаграмме рис. 7 приведены эффективные значения  $I_r$ . Поэтому необходимо полученные значения э. д. с. с помощью осциллографа также привести к эффективным своим значениям. Последнее было проделано следующим образом: по осциллограмме с помощью планиметра, определяли среднее значение э. д. с. в витке и, помножив на коэффициент формы кривой, получали эффективное значение э. д. с.

На рис. 7 видно, что кривые, полученные опытным путем и вычислением, очень близко подходят не только по характеру изменения, в зависимости от числа оборотов, но также и по своим абсолютным значениям.

## Новые схемы безреостатного пуска в ход асинхронных двигателей

Инж. Н. С. Сиунов и инж. С. К. Борисов  
Уральский энергетический институт

Как известно, нормальный асинхронный двигатель с контактными кольцами в роторе пускается в ход с помощью пускового реостата. Для небольших двигателей, мощностью до 100 л. с., стоимость пускового реостата составляет довольно значительный процент от стоимости мотора. Согласно каталогам ВЭО и самого дешевого металлического реостата на половину грузу стоимость реостата составляет 10—15 % от стоимости мотора. Для других типов реостатов (на полную нагрузку, масляных и т. д.) стоимость увеличивается до 20—25 %. Таким образом видно, что пусковой реостат в стоимости моторной установки играет весьма большую роль, поэтому естественно стремление получить такую схему соединения якоря двигателя, чтобы была возможность осуществлять безреостатный пуск в ход. В различное время было предложено несколько таких способов: противосоединение в роторе по способу Гергеса, Шенфера, двойное питание по методу Апарова и т. д.

Данная работа также рассматривает вопрос безреостатного пуска асинхронных двигателей с контактными кольцами в роторе, причем даются схемы<sup>1</sup>), которые могут быть применены любому нормальному асинхронному двигателю и для осуществления этих схем не требуются больших переделок. На сколько известно авторам, нижерассматриваемые схемы соединения якоря в литературе не описаны; поэтому в электротехнической лаборатории Уральского энергетического института были выполнены опыты по их изучению, причем опыты, главным образом, производились на моторе трехфазного тока фирмы ЭДА, имеющем следующие данные: мощность 15 л. с., напряжение 210/120 V, сила тока 38/66, 5 A, число оборотов в минуту 1425. Ротор имеет фазовую катушечную обмотку, соединенную звездой. Число пазов статора и ротора одинаково ( $Z_s = Z_r = 48$ ). Это обстоятельство, как видно из дальнейших изложений, оказывает большое влияние на работу двигателя, определяя его пусковые свойства. Рассматриваемый двигатель

при пуске в ход на холостом ходу имеет пусковой ток около 25—30 A, установившийся ток холостого хода равен 15 A.

Рассмотрим видоизмененную схему соединения обмоток асинхронного двигателя двойного питания, изображенную на рис. 1. Как известно, нормальная схема двойного питания имеет большие пусковые токи и сильное колебание начального врачающего момента (двигатель имеет мертвые точки). Схема безреостатного пуска, предложенная инж. Б. П. Апаровым<sup>2</sup>), давая удовлетворительный пуск мотора в ход, в то же время тре-

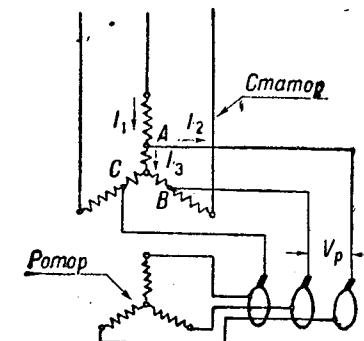


Рис. 1

буют наличия в статоре двух обмоток. Для осуществления этой схемы необходима полная переделка обмотки статора нормального мотора. Это обстоятельство (двойная обмотка статора) при производстве новых моторов, конечно, большого значения не имеет, но в случаях, когда нужно пустить в ход

1) Измены в Комитет по делам изобретений при СТО (№ 102197, 102198). Вологодская областная универсальная научно-исследовательская лаборатория.

2) Апаров, Асинхронный двигатель двойного питания с дополнительной обмоткой статора. "Вестник электротехники" № 3, 1931 г.

нормальный двигатель, к которому почему-либо не оказалось пускового реостата, необходимо такая схема, которая требовала бы минимальных затрат на переделку. Указанное обстоятельство и явилось причиной возникновения данной темы и ее экспериментальной проработки. Возвращаясь к схеме, изображенной на рис. 1, видим, что при пуске ротор питается током от точек *A*, *B* и *C* обмотки статора, которая в этом случае работает как трехфазный автотрансформатор. При включении ротора непосредственно к сети получаются боль-

ника *K*, при помощи которого происходит замыкание на землю обмотки статора. По простоте своего осуществления эта схема будет более удобна, так как поскольку на корпус мотора обычно выводят все шесть контактов обмотки статора, то в данном случае не приходится даже разбирать мотор. При выполнении этой схемы необходим соответствующий подбор последовательно соединяемых фаз статора и ротора, ибо при первых путанных фазах мотор не будет вращаться.

Произведенные с мотором ASEA опыты показали, что пусковой ток равен 70 А. По мере раскручивания ток постепенно спадает до 5 А. Подъем щеток дает незначительный ток тока (до 20 А), после чего устанавливается нормальный и холостого хода 15 А. Поскольку нормальный ток при полной нагрузке  $I_n = 38$  А, то пусковой ток  $I_n = 70$  А можно считать величиной вполне допустимой, ибо отношение  $\frac{I_n}{I_n} = \frac{70}{38} = 1.8$  не превышает обычных значений. Недостатком этой схемы можно считать небольшой начальный вращающий момент, вследствие чего пуск двигателя возможен только вхолостую.

Поскольку при обеих схемах получился небольшой начальный вращающий момент и поскольку в данном исследуемом двигателе статор и ротор имеют одинаковое количество полюсов, благодаря чему может происходить "прилипание" ротора к статору, то вышеуказанные опыты были повторены на моторе "Ревтруд" (Тамбов) такой же мощности, но с разными количеством полюсов в статоре и роторе ( $Z_1 = 48$ ,  $Z_2 = 36$ ). Пусковой ток имел такие же значения, как и в предыдущих случаях. Характер пуска мотора в ход получился совершенно одинаковый. Пусковой толчек тока не выходил из безопасных пределов, причем этот ток быстро спадал. Изучение пусковых свойств этого двигателя показало, что пусковой момент имеет большую величину и пуск мотора может быть произведен не только вхолостую, но и под нагрузкой. Затем, безреостатный пуск мотора был испытан на двигателе мощностью в 40 л. с., имеющем разрезную обмотку постоянного тока, причем при этом с небольшой нагрузкой были получены вполне удовлетворительные результаты.

В заключение опытов была еще испытана схема, изображенная на рис. 3. Эта схема до некоторой степени представляет комбинацию из двух предыдущих схем, причем также после пуска мотора в ход подъем щеток и замыканием двухполюсного рубильника *K* совершается переход к нормальному режиму. При этом обмотка статора замыкается на звезду. Пусковой ток в этом случае также не выходит из обычных пределов. Пусковой момент имеет вполне достаточную величину, чтобы производить пуск мотора при небольших нагрузках. Недостатком этой схемы является несимметрия тока в фазах статора.

Подытоживая все опытные данные по безреостатному пуску можно сделать следующие выводы:

- 1) трехфазные асинхронные двигатели нормальной конструкции (с кольцами) почти без всяких переделок, по особой схеме, могут быть пускаемы в ход без реостата;
- 2) пусковой ток не превышает обычных пределов;
- 3) в случае разного числа полюсов статора и ротора двигатели имеют хороший начальный вращающий момент;
- 4) после пуска двигатель переводится на нормальный режим работы.

При испытаниях двигателей большая работа по составлению осциллограмм была проделана ассист. Д. А. Безуладникову, которому авторы выражают глубокую благодарность.

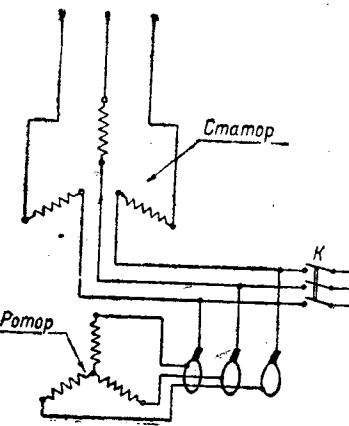


Рис. 2

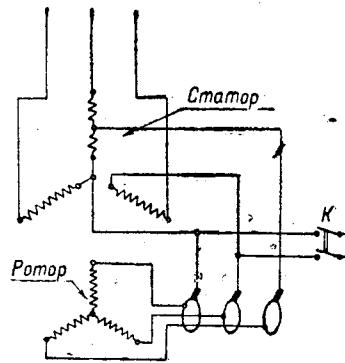


Рис. 3

шие пусковые токи и очень сильное искрение щеток на кольцах. В случае применения "автотрансформаторной" схемы пониженное напряжение, питающее ротор, в обмотке последнего устанавливает такие токи, что при пуске мотора в ход на кольцах ротора совершенно не наблюдается искрения. Точки *A*, *B* и *C* были выбраны с таким расчетом, чтобы напряжение между кольцами не превышало 60—70 В (около 30 % от напряжения линии), ибо при более высоких напряжениях щетки начинают искрить, и происходит сильное возрастание пускового тока. После того как ротор достигнет нормального числа оборотов подъем щеток его обмотка замыкается накоротко, и двигатель переводится на нормальный режим работы.

Испытания двигателя по указанной схеме дали следующие результаты: пусковой ток статора  $I_1 = 25-30$  А, ротора  $I_2 = 20$  А. Напряжение ротора  $E_p = 60$  В.

При пуске мотора в ход по данной схеме получается небольшой вращающий момент, так что пуск может происходить только на холостом ходу, кроме того, двигатель дает несколько пониженную скорость вращения (около 1300 об/мин при синхронных 1500). Поэтому в момент подъема щеток, при увеличении числа оборотов до нормального значения, получается толчок тока, доходящий до 50 А.

Вторая из рассмотренных схем безреостатного пуска изображена на рис. 2. В данном случае каждая фаза обмотки статора соединена последовательно с соответствующей фазой обмотки ротора, при этом их сопротивления складываются, благодаря чему и происходит уменьшение величины пускового тока. В дальнейшем работа двигателя опять, как и в предыдущей схеме, переводится на нормальный режим работы путем подъема щеток и одновременного замыкания трехполюсного рубильника.

## Купроксный вентиль как защита обмоток возбуждения от перенапряжений

Инж. А. Н. Ларин  
ВЭИ

### Схемы защиты

В настоящей статье рассмотрены особенности шунтирования обмоток возбуждения при помощи купроксного вентиля для защиты от перенапряжений, возникающих при включении тока.

Вентиль (рис. 1) состоит из медных шайб (*a*), на которых образован слой окиси меди (*b*) под действием высокой температуры. Для большей надежности контакта между слоем окиси меди и конечной пластиной прокладывают пластинку мягкого свинца или фольгу. Весь элемент спрессован при помощи болта. В направлении от слоя окиси к меди вентиль имеет незначительное сопротивление; в обратном направлении сопротивление повышается до 100—200 раз. Плотность тока допускают до 0,3 А/см<sup>2</sup>, при масляном охлаждении и при

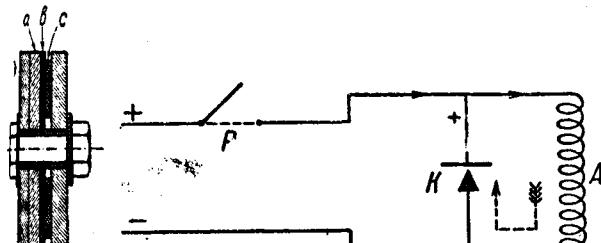
нестабильности тока может быть выбрана 0,5 А/см<sup>2</sup>. Температура грева купрокс имеет порядка 80—85°C.

Такие вентили 1) получили широкое распространение последние два года за границей в качестве выпрямителей переменного тока в постоянный по схеме Гроцца напряжением до 12 В при силе тока около 0,7 А. Опыты Бома 2) показывают возможность повысить мощность выпрямителей купроксными вентилями до 220 В при 110 А. В Союзе произведено купроксных столбиков поставлено на заводе "Свеча" в Ленинграде для выпрямителей напряжением 6 и 12 В силу тока 0,6 А.

1) Огопльхай. Геигер. "Kupferoxid-Ventilgleichrichter". ETZ стр. 1738.

2) В. Б. и др. "Beiträge zu den Eigenschaften von Kupferoxidul-Trockengleichrichtern". 1932, № 44, 1—653.

Следующие купроксовые стойки могут быть успешно применены для шунтирования обмоток возбуждения с целью устранения перенапряжений, опасных для изоляции обмоток. Схема на рис. 2 купрокс, присоединенный параллельно обмотке возбуждения, не пропускает ток. Обратный ток купрокса составляет по опытам автора ничтожную величину,



Конструкция купрокса:  
a - медная пластина;  
b - слой окиси;  
c - сплавная прокладка

Рис. 2. Схема шунтирования обмотки возбуждения купроксом (схема автора). A - обмотка возбуждения; K - купроксный вентиль; пунктирной стрелкой показано направление экстрактока при выключении рубильника P

ирица  $20 \div 40$  мА в зависимости от длительности действия нагрева (рис. 3). На рис. 4 приведены значения обратных токов по опытам Бёма в зависимости от напряжения после 600 и 12 800 часов работы и от приложенного напряжения. При выключении тока при помощи рубильника P (рис. 2) самоиндукции коротко замыкается через купрокс, который в этом направлении представляет незначительное сопротивление. Преимуществом такой схемы является почти полное отсутствие потерь на шунт при нормальной работе. Наиболее распространенным способом шунтирования обмот-

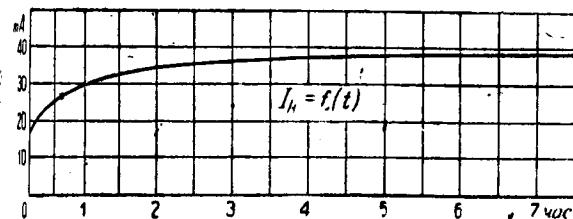


Рис. 3. Зависимость обратного тока купрокса от длительности действия нагрева. Купрокс из двух параллельных ветвей номинального напряжения 24 В, ток 0,6 · 2 = 1,2 А

к возбуждения до сего времени являлось применение омического сопротивления, включенного параллельно к обмотке, по схеме рис. 5. В этом случае при нормальной работе через шунт протекает ток, вследствие чего возникают значительные потери на защиту. К защитным устройствам прибегают в установках, эксплуатация которых связана с частыми изменениями тока возбуждения рубильником. Например, выпрямительные машины постоянного тока снабжаются блоком, разрывающим ток возбуждения прежде чем явится возможность соприкоснуться с неизолированными частями выпрямительной цепи. В таких случаях необходимы защитные устройства.

#### Перенапряжения в незащитных обмотках возбуждения при выключении тока

Как известно, перенапряжения, которые возникают при выключении тока в обмотке возбуждения, зависят только от силы вольтовой дуги, которая образуется в этом случае

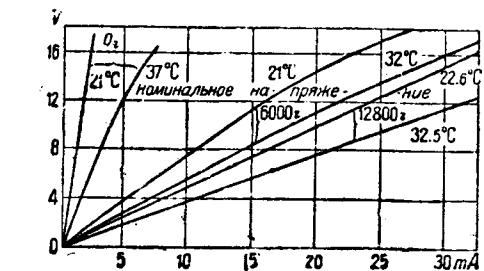


Рис. 4. Обратные токи купроксовых вентилей после 0,6000 и 12 800 часов работы по данным Бёма.  $I = f(E)$

щу контактами обычного выключателя. Коэффициент самоиндукции и омическое сопротивление контура не влияют на значение максимального напряжения выключения, а определяют собой только продолжительность и характер процесса выключения.

Белгородская областная универсальная научная библиотека

При выключении между контактами возникает после пробоя воздушного промежутка вольтова дуга, напряжение которой  $e_B$  установлено Айртоном в зависимости от силы тока дуги:

$$e_B = \frac{a}{i} + b.$$

Здесь  $a$  и  $b$  - постоянные, определяемые линейной зависимостью  $a = a + \gamma l$  и  $b = b + \delta l$ , где  $l$  - расстояние между контактами в сантиметрах. Для вольтовой дуги между медными электродами  $a = 0$ ,  $b = 60$  В,  $\gamma = 35,5$  В/см,  $\delta = 12,8$  В/см.

Характеристика дуги, представляющей зависимость между напряжением и током, приведена на рис. 6. То напряжение, которое вызывает образование вольтовой дуги между контактами, называется напряжением зажигания дуги  $e_z$ . Вследствие нагревания катода и увеличивающегося при этом испускания электронов из катодного пятна проводимость воздуха уменьшается, вследствие чего напряжение вольтовой дуги уменьшается с увеличением силы тока дуги. При убывании тока напряжение дуги снова возрастает и достигает при нулевом

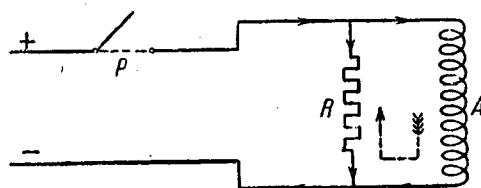


Рис. 5. Схема шунтирования обмотки возбуждения омическим сопротивлением. A - обмотка возбуждения; K - омическое сопротивление; пунктирной стрелкой показано направление экстрактока при выключении рубильника P

значении тока напряжения угасания дуги  $e_l$ . Напряжение угасания  $e_l$  при быстром изменяющемся токе значительно ниже напряжения зажигания  $e_z$ , вследствие более высокой температуры катода по сравнению с условиями зажигания.

В процессе выключения тока возбуждения расстояние между контактами не остается постоянным, а увеличивается при горении дуги. Ток при увеличивающейся длине дуги убывает сначала медленно, а в конце выключения ускоряется. Осциллограммы выключения отмечают значительные перенапряжения при угасании дуги и образование в процессе выключения повторных зажиганий дуги. Повторные зажигания вызываются выдуванием дуги потоками восходящего нагретого воздуха, вследствие чего в наиболее узком месте между контактами возникает новая дуга, так как напряжение между контактами становится в это мгновение выше напряжения зажигания дуги в узком месте. Это явление вызывает скачкообразное падение напряжения при подъеме дуги.

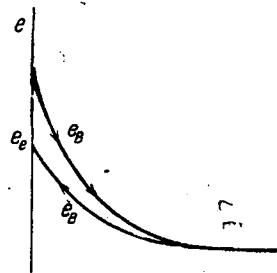


Рис. 6. Характеристика вольтовой дуги  $e = f(i)$  - при  $I = \text{const}$

На осциллограмме рис. 7 буквами  $a$  и  $b$  отмечены скачкообразные падения напряжения, соответствующие повторным зажиганиям. По осциллограмме следует отметить, что напряжение самоиндукции не сразу исчезает полностью после разрыва тока дуги, но продолжает спадать еще некоторое время. Это явление объясняется наведением вторичных вихревых токов в массивных частях магнитной цепи, которые поддерживают магнитный поток и действие которых эквивалентно шунту соответствующей величины, а также влияния шунтирующего вольтметра.

Максимальное напряжение выключения, как известно, наблюдается в конце процесса угасания дуги и определяется только напряжением угасания и напряжением сети. Аналитически напряжение выключается и определяется дифференциальным уравнением:

$$\frac{di}{dt} + R_i + R_s + e_B = E_{kl}.$$

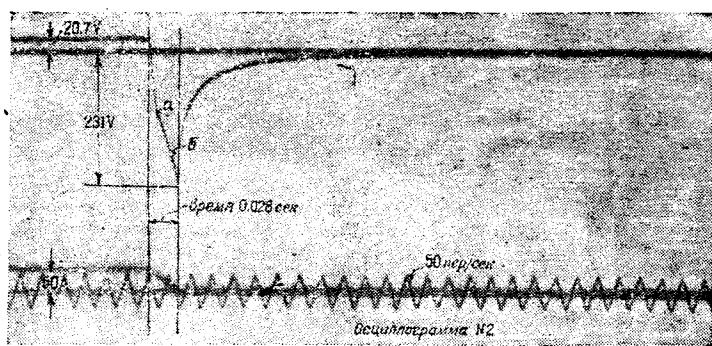


Рис. 7

где  $E_{k4}$  — напряжение сети,  $e_B$  — напряжение дуги,  $L$  — коэффициент самоиндукции контура,  $R$  — омическое сопротивление контура,  $i$  — ток выключения.

При применении специальных выключателей со скользящими контактами с выключением тока без образования дуги максимальное напряжение выключения на контактах определяется в виде:

$$E_{k4} = \frac{E_{k4}}{1 + \frac{L}{Rt}},$$

где  $r$  — начальное сопротивление контактов,  $t$  — время размыкания в секундах.

Как можно усмотреть из формулы, максимальное напряжение не зависит от омического сопротивления контура. В этом случае большой коэффициент самоиндукции и короткое время размыкания  $t$  увеличивают напряжение выключения. Условием отсутствия дуги является соотношение:

$$t = \frac{L}{r}.$$

Блокированные выключатели этому условию не удовлетворяют. Выключение тока возбуждения всегда сопровождается искрой на контакте.

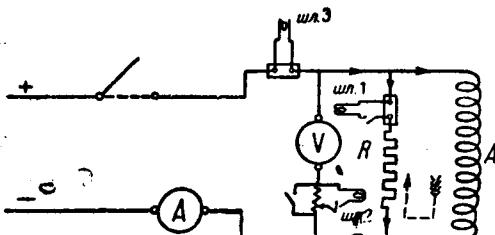
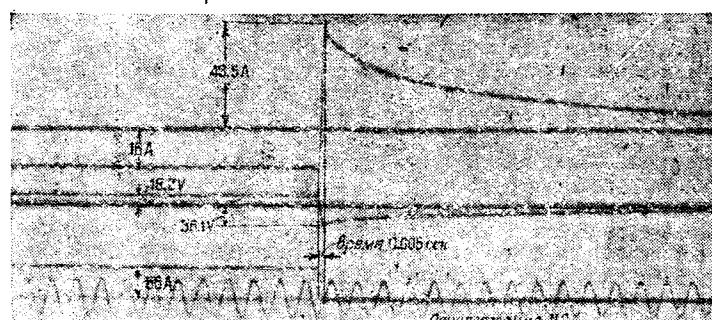


Рис. 8. Схема присоединения шлейф осциллографа при опытах с шунтом

Опытным путем напряжение выключения определялись при помощи осциллографирования. В качестве объекта была взята машина, разработанная автором, мощностью 25 kW, напряжением 7 500 V с независимым возбуждением от постоянного источника тока 25 V. Число витков обмотки возбуждения 648; омическое сопротивление  $R = 0,375 \Omega$  при 18°C, постоянная времени контура  $T = \frac{L}{R}$ .

Данные опытов приведены в табл. 1.

При выключении полного тока возбуждения напряжение обмотки достигает 11–12-кратного значения номинального напряжения сети.

Рис. 9 Вологодская областная универсальная научная библиотека Рис. 10  
www.booksite.ru

№ осциллографа	$I_{возд}$ A	$t_{выкл}$ sec	$E_{k4}$ V	$E$ V	$\frac{E}{E_n}$
1	50	0,025	19,5	225,7	11
2	50	0,0278	20,7	231	11

Оscиллограмма № 2 приведена на рис. 7.

Напряжения выключения определялись опытным путем схеме рис. 8. Опытные данные сведены в табл. 2. Как видно из этой таблицы, соответствующим подбором омического сопротивления возможно свести наивысшее возникающее при выключении контура перенапряжение до безвредной для изоляции обмотки величины. Этот способ связан с значительными потерями в шунте. При допущении 6-кратного повышения напряжения потери на шунте составляют около 100 W, при 2-кратном — около 300 W. Так как омические сопротивления обычно располагают в клеммовой коробке машины, то возникают серьезные затруднения в отводе такого количества тепла от коробки. Коэффициент полезного действия агрегата поддается примерно на 0,5%.

Таблица

Осциллограф №	Ток возб.	Ток шунта $i_{шн}$	$\frac{r_{шн}}{R}$	$i_{max}$	$i_{max} 100$	$t$	Потери на шунте	$E_{k4}$	$i$	$\frac{E}{E_n}$
	A	A		A	$\frac{A}{A}$	sec	W	V	V	
3	50	16	3,12	43,5	87	0,005	306	19,2	36,1	11
4	50	11	4,55	42,7	85,5	0,005	220	20,0	53,6	24
5	50	5	10,0	37	74	0,116	107,5	21,5	119,0	55

Оscиллограммы № 3 и 5 приведены на рис. 9 и 10.

Из-за больших потерь на шунт в рассматриваемом случае ограничить напряжение выключения не выше номинального напряжения возбуждения практически невозможно. Обычно приходится выбирать сопротивление шунта в 5–10 раз выше, чем сопротивление обмотки возбуждения.

#### Перенапряжения в обмотках возбуждения, шунтированных купрексом

Схема соединений при опытах указана на рис. 11. Основным преимуществом применения купрекса является отсутствие потерь. Купрекс, шунтирующий обмотку возбуждения, при работе генератора не пропускает ток. При выключении контура самоиндукции коротко замыкается через вентиль. Внутреннее сопротивление купрекса зависит от мощности самого купрекса. В рассматриваемом случае были применены купрексы марки «Светлана» номинальной силы тока 1,21 A<sup>8</sup>, напряжение 24 V, состоящие из двух параллельных ветвей. Опыты показали, что купрекс может быть использован для защиты обмотки возбуждения от перенапряжений. Результаты опытов приведены в табл. 3.

<sup>8</sup>) Купрекс завода «Светлана» на силу тока 0,6 A, 12 V пересоединен в параллельные ветви напряжением 24 V.

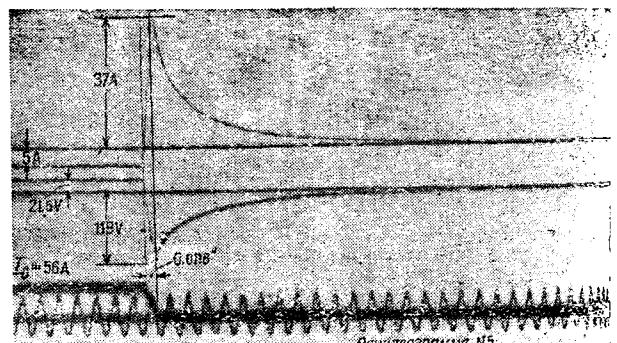


Рис. 10

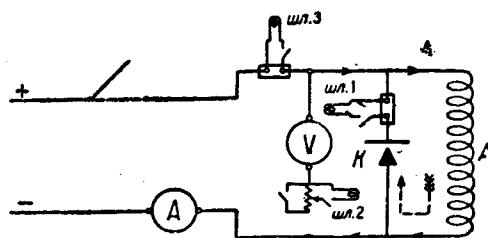


Рис. 11. Схема присоединения шлейф осциллографа при опытах с купрексом

Таблица 3

Номер опыта	Номинальный ток купрекса $i_k$	$\frac{I_b}{i_k}$	Номинальный ток $I_b$	Номинальный ток $i_k$	Номинальный ток $i_k$ в %	Номинальный ток $I_b$ в %	Время $t$	Потери	$E_{kz}$	$E_b$	$\frac{E_b}{E_{kz}}$
1	50	0,04	1,25	23,9	47,8	0,023	0,6	20	101,6	5,08	4)
2	50	0,04	1,25	30	60	0,01	0,75	18,7	131	7,0	4)
3	50	0,04	1,25	31	62	0,01	0,75	18,7	118,5	6,35	5)
4	50	0,04	1,25	50	100	0,005	19,0	41,0	2,16	5)	

Оscиллограммы № 6 и 8 приведены на рис. 12 и 13. При полном токе возбуждения  $I_b = 50$  А напряжение обмотки возбуждения не повышалось выше 5- и 7-кратного значения (см. осциллограмму рис. 12). Искра на контактах выключателя получается значительно меньше, чем при разрыве незащищенной обмотки возбуждения. Примененные купрексы обладают сравнительно большим внутренним сопротивлением для полного тока возбуждения 50 А при номинальном токе купрекса 1,2 А. Для ограничения перенапряжения линии порядка номинального напряжения возбуждения необходимо применять купрексы с номинальной силой тока  $10 \pm 20\%$  от полного тока возбуждения. Опыты были проведены с купрексом с вентильным напряжением 12 В, включенным на 20 В; напряжение при выключении 50 А повысилось всего до 41 В.

В рассматриваемом случае, учитывая изоляцию обмотки возбуждения, выбраны были купрексы завода „Светлана“ с вентильным действием 24 В с номинальным током  $0,6 \cdot 2 = 1,2$  А, состоящие из двух параллельных ветвей. По габаритам такой купрекс свободно располагается в клеммовой коробке генератора, по своему действию такой купрекс эквивалентен омическому сопротивлению 10-кратного сопротивления обмотки возбуждения.

В эксплуатации следует инструктировать персонал о правильном присоединении купрекса, плюс купрекса должен быть соединен к плюсу сети, иначе возможно короткое замыкание сети через купрекс. При изменении полярности питания обмотки возбуждения необходимо перенести и присоединить клеммы купрекса.

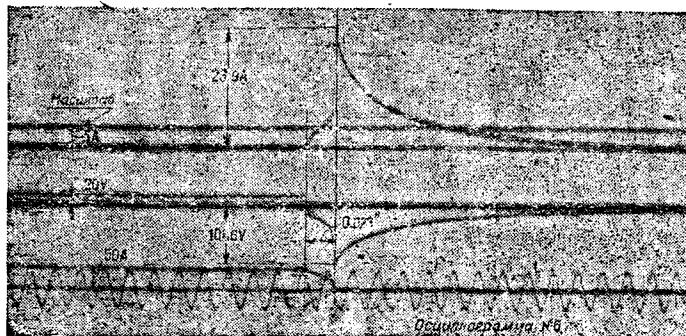


Рис. 12

единение купрекса. При дешевой стоимости купрекса применение его является целесообразным как устраниющее потери на защиту обмоток возбуждения и повышающее к. п. д. агрегата.

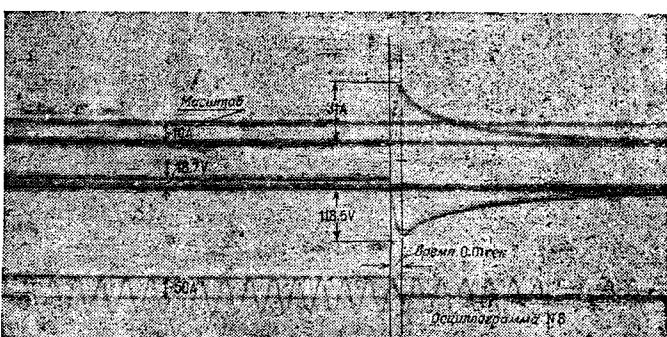


Рис. 13

### Заключение

Для устранения перенапряжений в обмотках возбуждения при выключении тока целесообразно применять купрексы вместо омических сопротивлений. При выборе купрекса с номинальной силой тока около  $10 \pm 20\%$  от полного тока возбуждения перенапряжения ограничиваются 1-2-кратным номинальным напряжением возбуждения. Отсутствие потерь и повышение к. п. д. агрегата по сравнению с шунтированием обмотки возбуждения омическим сопротивлением является крупным преимуществом в эксплуатации.

Вся экспериментальная часть исследования проведена сотрудником машинного Отдела ВЭИ В. Н. Косаревым, которому выражают свою благодарность.

## Вопросу построения мощных двухполюсных турбогенераторов

Проф. Б. П. Апаров  
Москва, ВЭИ

Расчеты синхронных машин являются в настоящее время достаточно выясненными; однако вопросы построения быстродействующих турбогенераторов большой мощности занимают весьма место в современном электромашиностроении в связи с рядом особенностей их конструкции, а главное, конструкции ротора. В настоящее время предел к достижению быстродействующих турбогенераторов еще больших мощностей определяется величиной окружной скорости ротора, которая достигает огромной величины, до 160—170 м/сек. По соображениям прочности материала ротора она не может быть более, чем определяет свойства как всей конструкции, так и соотношения основных размеров и параметров мощного быстродействующего турбогенератора.

Невозможность повысить окружную скорость ротора выше установленных пределов определяет важное основное свойство быстродействующих турбогенераторов. Величина диаметра статора имеет постоянной величиной, не зависящей от мощности быстродействующего турбогенератора и от требований его электро-

магнитного расчета, определяясь только окружной скоростью ротора  $v$ :

$$v = \frac{\pi D_p n}{60},$$

диаметр расточки статора равен

$$D = D_p + 28.$$

В настоящей статье приводятся данные исследования основных величин, определяющих конструкцию современного быстродействующего турбогенератора при предельных окружных скоростях и диаметрах статора. В тех случаях, когда по ходу исследования некоторые величины будут определяться через напряжение потока условно, они будут отнесены к напряжениям на клеммах турбогенератора, причем за окружную скорость будет принята линейная скорость потока на расточке статора.

Напряжение фазы статора можно выразить:

$$E = 4kWf\phi \cdot 10^{-8} \text{ V},$$

откуда магнитный поток турбогенератора

$$\Phi = \frac{E \cdot 10^8}{4kfW} \quad (1)$$

Мы имеем следующие соотношения:

$$W = \frac{\pi D \cdot AS}{2mI} = \frac{\pi D \cdot AS \cdot E}{2mIE} = \frac{\pi D \cdot AS \cdot E}{2P \cdot 10^3}, \quad (2)$$

где мощность турбогенератора  $P$  выражена в киловольтамперах. Подставляя (2) в (1), имеем

$$\Phi = \frac{P \cdot 10^8}{2k \pi D \cdot AS \cdot f} = \frac{P \cdot 10^8 \cdot 60}{4k \cdot AS \cdot vP^2 n}, \quad (3)$$

так как для  $f = 50$ -полюсное деление  $\tau$ , выраженное в сантиметрах, равно окружной скорости потока машины  $v$  в метрах численно.

Считая магнитный поток распределенным на полюсном делении по закону синуса, будем иметь

$$\Phi = \frac{2}{\pi} B_l v l_i. \quad (4)$$

Из совместного решения равенств (3) и (4) будем иметь

$$6 \cdot 10^{12} P = \frac{8}{\pi} k P^2 v^2 (AS \cdot B_l) l_i. \quad (5)$$

Для двухполюсных турбогенераторов формула имеет вид

$$6 \cdot 10^{12} P = \frac{24000}{\pi} k v^2 (AS \cdot B_l) l_i,$$

откуда

$$l_i = \frac{7852 \cdot 10^8 P}{k v^2 (AS \cdot B_l)}. \quad (6)$$

Если для современных мощных турбогенераторов взять  $AS = 650$  и  $B_l = 8000$ , а окружную скорость потока  $v = 165$  м/сек при двухслойных обмотках с укороченным шагом  $k = 1$ , то будем иметь

$$l_i = \frac{7852 \cdot 10^8}{165^2 \cdot 650 \cdot 8000} P = 55 \cdot 10^{-3} P,$$

т. е. 55 см на каждые десять тысяч киловольтампер мощности турбогенератора, поскольку мощность  $P$  здесь, как и выше, выражена в киловольтамперах. Например, двухполюсный генератор на 80 000 kW  $\cos \phi = 1$  будет иметь расчетную длину статора

$$55 \cdot 8 \approx 450 \text{ см.}$$

Действительная длина с каналами такого генератора одной иностранной фирмы имела длину 5 м, генератор в 100 000 kW имел бы расчетную длину в 5,5 м. Такой активной длины статора и ротора не достигала ни одна до сих пор известная электрическая машина.

Конструкция таких роторов, весящих десятки тонн и вращающихся с указанными выше скоростями, представляет одну из трудных и ответственных задач современного машиностроения. В то же время соотношения между основными размерами машины начинают отходить от наиболее рекомендованных электромашиностроением.

Например, отношение активной длины к полюсному делению:

$$\frac{l_i}{\tau} = \frac{l_i 2p}{\pi D} = \frac{2l_i}{\pi D} = 0,637 \frac{l_i}{D}$$

для машины, имеющей длину 5 м и диаметр 1 м при  $2p = 2$ , будет равно 3,2.

Поэтому представляется интересным выяснить, как влияет на основные электромагнитные свойства турбогенератора построение с такими отношениями между диаметром и длиной.

Если взять выражение магнитного потока в виде

$$\Phi = \frac{E \cdot 10^8}{4kfW} = \frac{E l m \pi D \cdot 10^8}{4kfW m \pi D l},$$

где  $f = 50$ , то

$$\Phi = \frac{P \cdot 10^8}{k \cdot AS \cdot \pi D}.$$

Так как  $\pi D = \text{const}$ , мы видим, что

$$\Phi = \frac{P}{AS} \cdot \text{const},$$

то величина магнитного потока быстроходных турбогенераторов пропорциональна его мощности и ограничивается только величиной линейной нагрузки якоря  $AS$ .

Исследуем теперь величину потерь в меди быстроходных турбогенераторов.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

Их величину является возможным выразить следующей формулой:

$$P_{Cu} = \pi D \cdot AS \cdot s_a \frac{l_i + K_o \tau}{4800} = 2pv \tau \cdot AS \cdot s_a \frac{l_i + K_o \tau}{4800},$$

потери меди в пазах статора

$$P_{Cu} = \frac{pv \cdot AS \cdot s_a l_i}{2400},$$

т. е. пропорциональны длине машины, линейной нагрузке статора  $AS$  и плотности тока в обмотке  $s_a$ . Потери в медных лобовых частях

$$P_m = \frac{pv^2 \cdot AS \cdot s_a K_o}{2400}.$$

Таким образом, потери в меди лобовых частей пропорциональны длине лобовых частей, линейной нагрузке и плотности тока.

Вес меди обмотки статора можно выразить следующей формулой

$$Q_{Cu} = 8,9 \frac{\pi D \cdot AS}{s_a} (l_i + K_o \tau) 10^{-5} \text{ kg}.$$

Так как  $\pi D = 2p \tau = 2pv$ , то вес меди обмотки статора можно представить в виде

$$Q_{Cu} = 17,8 \frac{p \cdot AS}{s_a} (v l_i + v^2 K_o).$$

Найдем, при какой окружной скорости вес, а следовательно и потери будут минимальными. Подставим вместо  $l_i$  его значение по формуле (6)

$$l_i = \frac{CP}{v^2 \cdot AS},$$

где  $C = \frac{7852 \cdot 10^8}{B_l k}$ ; тогда

$$Q_{Cu} = C' \left( \frac{CP}{v \cdot AS} + v^2 K_o \right).$$

Взяв производную по  $v$  и приравняв ее нулю, будем иметь

$$\frac{CP}{v^2 AS} + 2K_o v = 0.$$

откуда

$$v^3 = \frac{CP}{2K_o \cdot AS}$$

или

$$v = \sqrt[3]{\frac{7852 \cdot 10^8 P}{B_l \cdot AS \cdot k K_o \cdot 2}}.$$

На основании формулы (6) мы находим связь между длиной машины и окружной скоростью

$$l_i = 2v K_o.$$

Так как  $v K_o = \tau K_o$  есть длина лобовой части обмотки, отсюда мы приходим для быстроходного турбогенератора к известному закону, по которому потери в турбогенераторе будут минимальными, когда длина статора равна длине лобовых частей.

Принимая во внимание, что  $K_o$  обычно в быстродействующих машинах  $2 \div 3$ , то это наступит, когда

$$l_i : \tau = 4 \div 6.$$

Последнее показывает, что в отношении использования обмотки статора построение длинных статоров не является никакими либо ограничениями на дальнейшее повышение мощности турбогенераторов с числом оборотов в минуту 3000.

Для современных синхронных машин важным обстоятельством является удовлетворительность конструкции в отношении ударного тока короткого замыкания. Согласно нормам (и немецким), величина ударного тока короткого замыкания не должна превосходить 15-кратной амплитуды номинального тока. Является интересным выяснить, в какой степени изменение длины турбогенераторов при постоянном диаметре статора влияет на величину ударного тока короткого замыкания и его отношение к номинальному.

Возьмем известную формулу рассеяния

$$x_{\sigma} = \frac{4 \pi f W^2 l_i \lambda_s \cdot 10^{-8}}{pq} \Omega.$$

Умножив и разделив величину  $x_{\sigma}$  на  $2 \pi D l m$ , будем иметь при  $f = 50$  герц/сек:

$$x_{\sigma} = \frac{AS}{pq} (l_i D) \left( E W \frac{\lambda_s \cdot 10^{-8}}{P} \right) \Omega.$$

значение  $W = \frac{\pi D \cdot AS \cdot E}{2P \cdot 10^3}$  из формулы (2), будем

$$x_0 = (AS)^2 \frac{2}{\pi} \frac{P}{q} \frac{v^2}{P^2} E^2 l_i \lambda \cdot 10^{-11} \Omega.$$

мощных турбогенераторов

$$\frac{\lambda}{q} \approx \frac{l_i - \gamma v}{l_i}$$

$$x_0 = (AS)^2 v^2 \frac{2}{\pi} P \left( \frac{E}{P} \right)^2 (l_i - \gamma v) \cdot 10^{-11} \Omega.$$

$l_i = \lambda v$ , тогда

$$x_0 = (AS)^2 v^3 \frac{2}{\pi} P \left( \frac{E}{P} \right)^2 (\lambda - \gamma) \cdot 10^{-11} \Omega. \quad (8)$$

запомним во внимание, что согласно норм ВЭС и немецких

$$U = \frac{l_i}{\sqrt{2} I_n} \approx \frac{1.8E}{I_n x_0},$$

будем иметь

$$x_0 = \frac{1.8E}{\sqrt{2} I_n U}. \quad (9)$$

$$\text{где } U = \frac{l_i}{I_n}$$

Приравнив правые части выражений (8) и (9), получим

$$\frac{1}{U} = 0.165 (AS)^2 v^4 \frac{\lambda - \gamma}{P} 10^{-8}.$$

Пример. Пусть  $AS = 650$ ,  $v = 165 \frac{\text{мт}}{\text{сек}}$ ,  $P = 100000 \text{ кВА}$ ,

$P = 1$ ,  $\lambda = 3.5$ ,  $\gamma = 0.5$ . Тогда

$$\frac{1}{U} = 0.165 \cdot 650^2 \cdot 165^4 \frac{3.5 - 0.5}{100000} 10^{-8},$$

$$\frac{1}{U} = \frac{9.45}{100} \text{ или } U \approx 10.6.$$

Таким образом мы видим, что быстроходные мощные двухполюсные турбогенераторы имеют вполне допустимое значение ударного тока короткого замыкания.

Затронутые вопросы далеко не исчерпывают всей задачи построения мощных быстроходных турбогенераторов. Они являются только первыми при освещении важного для нашего Союза вопроса построения подобного рода турбогенераторов.

## Испытание на разгон ротора Днепровского гидрогенератора

Инж. С. Я. Зак

Завод „Электросила“, Ленинград

В практике производства крупных электрических машин самым процессом изготовления ротора — вращающейся части машины — является разгон. Этот процесс по существу уже не является элементом производства и с большими правом может быть отнесен ко всей цепи испытательных работ, которые принимаются производителем машины в определении безупречности ее работы.

Погоняя ротор той или иной машины разгону, т. е. вращению при числе оборотов, превосходящем нормальное, мы всегда испытываем конструкцию механически. Режим такого испытания и в первую очередь то число оборотов, при котором оно должно вестись, определяется условиями практической эксплуатации машины. Для генераторов, приводимых гидротурбинами, этот режим определяется из того положения, что на практике может иметь место случай, когда за счет доступа воды к лопаткам воды турбинного ротора не идет и по каким-либо причинам может следовать непосредственно за сбросом генератором своей нагрузки. В таком случае ротор может развить нормально большую скорость, превышающую, очевидно, определяется параметрами данной установки. Для разбираемого здесь ротора разгонная скорость не удвоенной нормальной.

Если учесть размеры современных гидрогенераторов, и частности Днепровского, огромные веса, с которыми придется иметь дело, и, наконец, результаты, которые могут получиться при неудачном разгоне, то станут ясными те технические трудности, с которыми сопряжено такое испытание.

### Механическая сборка

Электрический генератор для Днепровской ГРЭС, изготовленный заводом „Электросила“, принадлежит к типу так называемых „подвешенных“ вертикальных генераторов с двумя вращающимися подшипниками, по одному в верхней и нижней крестовинах.

Основные данные этого генератора следующие: мощность 5000 кВт, скорость 88,2 об/мин, напряжение 13,8 кВ, частота 50 герц. Ротор генератора состоит из вала, втулки из сталь листа, радиально прибывающей к втулке сварных спиц, собранного из штампованных шестимиллиметровых же лез листов, и, наконец, полюсов, укрепленных к ободу.

Роторная вращающаяся часть собирается в специальной втулке приспособленной яме. Рис. 1 дает достаточно ясную картину расположения ротора в яме.

Процесс сборки идет следующим образом. На монтажной площадке около разгонной ямы собирается роторная звезда (рис. 1, деталь 1), колец 2, спиц 3, верхнего стяжного тавра 4 и нижнего упорного тавра 5. Собранная звезда засыпается на специально приготавляемый для данного служебный вал, на который предварительно одет нижний вращающий подшипник. Шпонкой и запорным кольцом 6 он закрепляется на валу. Вал упирается в подпятник, погруженный в масляную ванну. Вологодская областная универсальная научно-исследовательская

Существенным условием установки тормозных сегментов 10 является точность их взаимной пригонки в стыках и по поверхности торможения (рис. 2). К специальному кольцу, одетому на временный разгонный вал, крепится ротор вспомогательного генератора 12. Затем укладывается крышка разгонной ямы 13, вал окончательно выверяется, и его положение закрепляется верхним направляющим подшипником 14 и пиж-

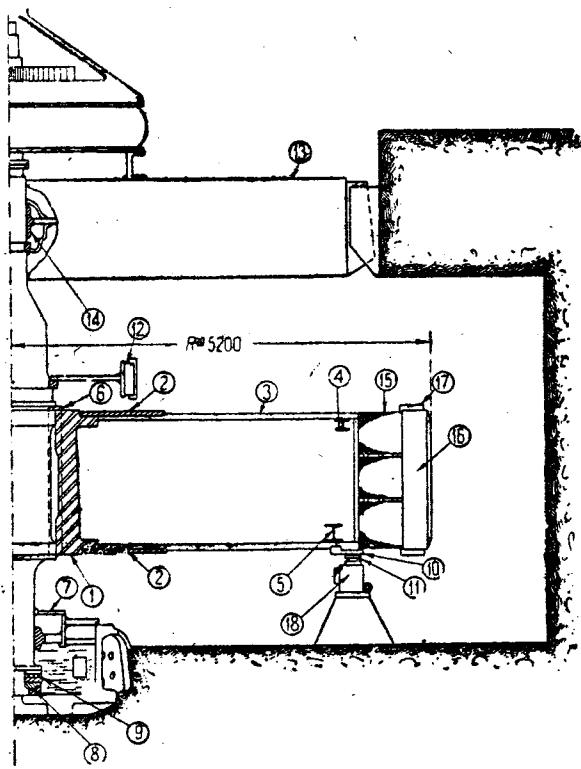


Рис. 1. Схема расположения ротора гидрогенератора ДнепроГЭСа в разгонной яме

ним направляющим подшипником у подпятника. Крышка разгонной ямы представляет собой многогранник с одним срезанным углом. Через отверстие, образуемое этим срезом, в яму подаются собранные полюса 16 для установки на шихтованный обод 15. Полюса предварительно взвешиваются и распределяются по окружности ротора по весу так, чтобы имела место взаимная компенсация по диаметрам. Кроме того, полюса статически балансируются. На каждом из них определяется

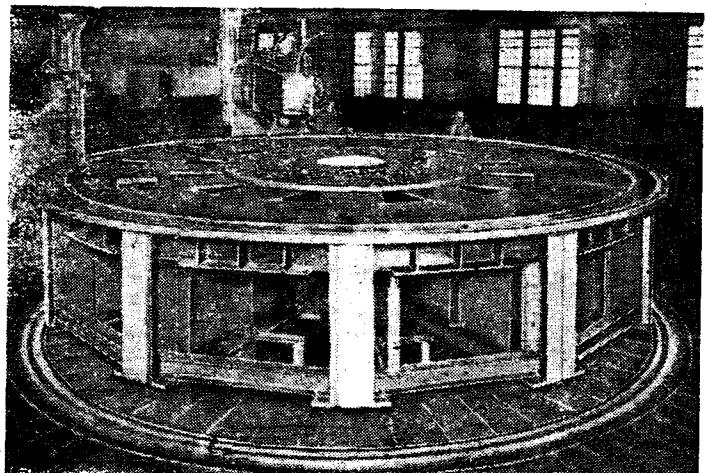


Рис. 2. Шлифовка тормозной поверхности ротора гидрогенератора Днепро-греса на карусельном станке

линия центров тяжестей, пересекающая полюс в поперечном направлении. Эти линии при установке полюсов должны находиться в одной плоскости, перпендикулярной валу. По закреплению полюсов устанавливаются вентиляторные крылья ротора 17, которые, однако, тут же закрываются фибрзовыми досками для уменьшения вентиляционных потерь при разгоне. Наконец, на полу ямы под тормозным кольцом устанавливаются симметрично по окружности гидравлические тормоза 18. Последние представляют собою поршни в глухих цилиндрах, поднимаемые давлением накачиваемого под поршни масла. Поршни несут на себе площадки, выложенные специальной прессованной металлоабсестовой массой, которая и касается тормозной поверхности ротора. На крышке ямы устанавливается разгонный мотор с подвешенным якорем, который сцепляется с ротором при помощи фланца.

## Электрическая схема

Электрическую схему можно разбить на четыре элемента, а именно: собственно привод, тахометрический, термометрический и виброметрический элементы.

Первый (собственно привод) представлен на рис. 3. По существу это обычная схема. Главный мотор, приводящий испытуемый ротор в движение, питается от мотор-генератора. Существенно отметить, что здесь, как и в подавляющем большинстве случаев, где режим работы подобен данному, применен постоянный ток, значительная гибкость в регулировке, большие мгновенные перегрузочные способности и совершенно исключительные тормозные качества выдвигают в таких случаях привод постоянным током на первое место. Главный мотор обладает длительной мощностью 600 кВт при 86—154 об/мин. Управление как самим мотором, так и питаю-

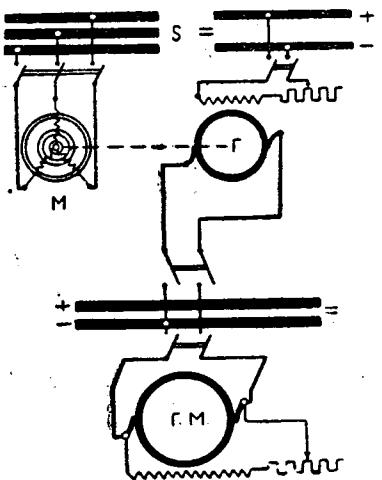


Рис. 3. Схема привода при испытании ротора на разгон

щим его агрегатом производится из специального операционного помещения, расположенного вне помещения разгонной ямы на отдельном от нее фундаменте. Этим достигнуто, что расположенные в операционном помещении приборы управления и контроля не подвержены вибрациям, неизбежным при подобных испытаниях.

Второй элемент—тахометрический и третий—термометрический не требуют специального рассмотрения, ибо измерение числа оборотов на расстоянии при помощи генераторов и температуры при помощи термопар представляют собою явление обыденного порядка. Также можно исключить из подлежащего рассмотрения взаимную световую сигнализацию между обеими помещениями и ямой.

Наличие четвертого элемента—виброметрического, диктует особенностями режима испытания. Можно с уверенностью утверждать, что ротор, подобный разбираемому, при этом покажет небалансность. Даже при предварительной статической балансировке (что в силу громоздкости ротора практически не всегда возможно) первый пуск выявит динамическую небалансность. Поэтому, прежде чем пускать такой ротор из вышенном числе оборотов, необходимо его динамически сбалансировать. В практике балансировки роторов турбин генераторов применяются различные приборы для определения балансности испытуемого ротора, но все они требуют новики и наблюдения за собой тут же в непосредственной близости от испытуемого предмета. В условиях гидроротора практически исключено.

Разбираемый ниже метод представляет собой попытку американской фирмы GEC осуществить контроль и фиксацию вибраций врачающегося ротора на расстоянии. Метод основан на индуктивном балансе параллельных цепей. Если индуктивные цепи подключены параллельно к источнику и притом так, что в этих параллельных индуктивно связанных цепях установился определенный режим, то при изменении индуктивного сопротивления любой из цепей неизбежно изменится соотношение токов, питающих эти цепи. На рис. 4 приведена принципиальная схема устройства, которое мы назовем

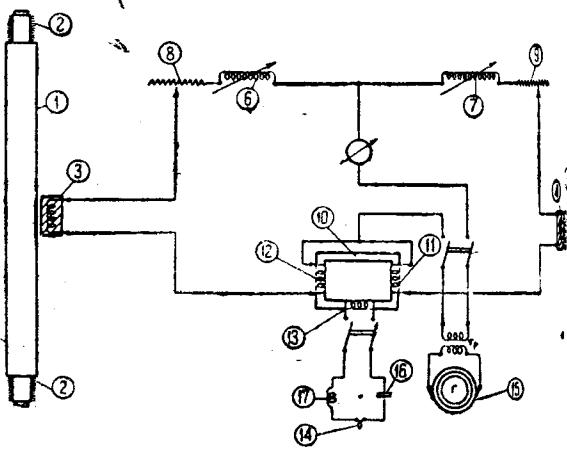


Рис. 4. Принципиальная схема магнитного приемника механических сигналов

нитным приемником механических колебаний. К испытуемому валу 1, могущему вращаться в своих подшипниках 2, на него же наложена с некоторым зазором катушка 3, намотанная на щитый магнитопровод. Таким образом в данном случае вал 1 играет роль замыкающего якоря магнитопровода и т.д. Кроме этой катушки имеется еще одна 4, намотанная на щитый же магнитопровод, замыкаемый опять-таки с некоторым воздушным зазором своим якорьком 5. Регулируя винтами 6 и 7 и омическими сопротивлениями 8 и 9, можно добиться такого положения, когда в обеих параллельных питаемых от одного источника тока при неизменности установленных воздушных зазоров, будут иметь место токи различений и равно сдвинутые по фазе к основной э.д.с. имеющей эти цепи. Очевидно, что при этом в диференциальном трансформаторе 10, обмотки 11 и 12 которого включены последовательно в уравновешенные цепи, будет иметь место полная компенсация потоков, поскольку при равенстве витков намотка этих катушек будет взаимообратная. Токи, протекающие по обмоткам 11 и 12, равны по величине и дают одинаковым сдвигом фаз. Очевидно, что при этом движении в катушке 13 дифференциального трансформатора индуктируется не будет.

Если теперь изменить воздушный зазор какой-либо из шек (3 или 4), то балансное состояние в дифференциальном трансформаторе будет нарушено, и катушка 13 будет ощущаться некоторым магнитным потоком, появившимся из-за разности потоков обмоток 11 и 12. Замыкая катушку 13 шлейф 14 осциллографа, можно воспринимать изменения индукции в воздушном зазоре в виде осцилограмм.

Оставляя неизменным зазор катушки 4 и вращая несированный вал 1, мы в итоге вибраций будем получать плавное изменение воздушного зазора катушки 3, которая жется в виде колебаний шлейфа осциллографа. Каждый

шения шлейфа, в зависимости от величины изменений зазора, можно получить графическое изображение места вибраций испытуемого вала в том или ином шкафе.

Для получения большей чувствительности источник питания выбран высокочастотным (500 пер/сек), а в цепь шлейфа включен резонансный контур из емкости 16 и самоиндукции 17, собранной в соответствии с частотой питающего тока.

Практическая схема, приведенная на рис. 4, осуществляется следующим образом. Непосредственно у вала на независимом элементе располагается катушка 3, намотанная на П-образный сердечник. Катушка при помощи микрометрического винта может передвигаться в некоторых пределах по своему основанию. Таким образом, закрепив основание катушки, можно проверить любой зазор между нею и валом. Остальная часть вынесена за пределы испытательного помещения.

Измеряющая катушка 4 конструктивно выполнена подобно катушке 3, с той лишь разницей, что она на своем основании имеет неподвижно, а для изменения воздушного зазора разработан микрометрическим винтом подается якорь 5. Ясно, что таких схем должно быть собрано столько, сколько мест, интересующих нас с точки зрения контроля за вибрациями, имеет испытуемый предмет.

Помимо методом можно при правильной градуировке измерять количественно величину „боя“ от небаланса. Так для корректировки этого „боя“ важно знать не только величину, но и его расположение на окружности испытуемого предмета. Для этого в какой-либо точке по окружности предмета помещается штырь, а в какой-либо точке в испытательной яме укрепляется контакт пружинного

штыря, проходя мимо контакта, коснется его и замкнет цепь тока в цепи шлейфа осциллографа. Бросок шлейфа из трех на осциллограмме. Если эту осциллограмму совместить с осциллограммой вибрационных колебаний и притом чтобы ось, несущая на себе штриховые отметки обработки осью абсцисс осциллограммы вибрационных колебаний, зная место посадки штыря на окружности, можно по оси абсцисс, представляющей собой масштабную линию длины вибрации, на которой наложен штырь, определить место, а по осциллограмме самых колебаний их величины и в данном месте.

Из таких данных крайне облегчает и упрощает балансировку и дает прекрасные возможности контроля за степенью испытуемого предмета, недоступного непосредственному измерению.

Частота тока, питающего привод, вполне устойчива, то есть осциллограммы этого тока с осциллограммой „боя“, определить число оборотов испытуемого предмета в отдельный период испытания.

### Балансировка

Уже указывали, что ротор, собранный в разгонной яме, будет обладать некоторой небалансностью, и поэтому прежде всего он должен быть отбалансирован. Первый пуск ротора Днепровского гидрогенератора действитель показал довольно большое отклонение от требуемой величины хода.

Разгонной яме установлены четыре магнитных приемника вибраций, подобных описанному выше. Приемники расположены:

— внизу вала у выхода из нижнего направляющего подшипника,

— в середине вала между главным ротором и ротором генератора,

— вверху вала под верхним направляющим подшипником,

— у вала приводящего мотора под его опорным подшипником.

Процесс балансировки был произведен на основании данных, полученных из осциллограмм вибрации этих четырех точек. Первые данные величин вибрации в начале балансировки могут быть представлены следующей таблицей (число оборотов в минуту 88):

Точки	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Вибрации	0,228	0,381	0,36	0,025 mm

Длительной балансировки с установкой балансных грузов общим весом в 660 kg была, наконец, получена плавность хода, которая может быть характеризована следующими (при том же числе оборотов в минуту)

Точки	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Вибрации	0,127	0,173	0,13	0,03 mm

Из процесса балансировки показал, что, несмотря на точных средств контроля, все же он не носит строго точного характера, и практически оказалось более удоб-

ным и, главное, более скрытым вести балансировку опытным путем, опираясь в первую очередь на практический опыт персонала. В итоге получилось примерное выравнивание величин отклонения центров тяжестей от оси в трех наиболее существенных точках испытуемого ротора.

Наконец, последний вывод, который можно сделать на основе анализа балансировки, сводится к тому, что в таких шихтованных (сборного) типа роторах приходится оперировать балансными грузами значительных весов. Нельзя не отметить, однако, что вес этих грузов является прямой функцией качества сборки. Действительно, сборка следующего ротора этого же типа, где были учтены ошибки первой сборки, оказалась более доброкачественной, и весовые значения грузов меньшими, но все же довольно значительными, оставляя неизменным положение нашего вывода.

После того, как ротор сбалансирован, оказывается возможным перейти к основной задаче испытания — разгону.

### Разгон или испытание на угловую скорость

Учитывая интерес, который может представить цифровой материал, в той или иной мере относящийся к испытанию на разгон, автор постарался собрать наиболее характерный материал экспериментального порядка, полученный при испытании нескольких одинаковых роторов Днепровского типа, скомпоновать их в единый относительно стройный вид и этим путем дать более обширную и по возможности исчерпывающую картину этого исключительного по своим трудностям испытательного процесса. Поэтому в нижеприводимых данных, поскольку некоторые цифры относятся к различным роторам (конечно, одного и того же типа), могут иметь место незначительные количественные неувязки.

### Опытный пуск при постоянной силе тока приводящего мотора

Для выяснения условий пуска было произведено два опытных пуска при сохранении постоянства силы тока приводящего мотора. В табл. 1 и 2 приводятся данные этих опытных пусков.

Таблица 1

### Опытный пуск при неизменном пусковом токе 3000 А

№ отсчета	Время в мин.	Число об/мин.	Потребляемая мощность kW
1	2	19,5	181
2	5	32,0	294
3	8	44,4	408
4	11	56,8	523
5	14	68,0	637
6	16	88,25	718

Попытка получить дальнейший ощутительный рост числа оборотов ротора при условии постоянства пускового тока не увенчалась успехом, и поэтому был произведен второй пуск.

Таблица 2

### Опытный пуск при неизменном пусковом токе 4500 А

№ отсчета	Время в мин.	Число об/мин.	Потребляемая мощность kW
1	2	24,3	357
2	5	45,4	662
3	8	66,4	960
4	11	88,25	1 285
5	13	115,0	1 500
6	15	130,0	1 710
7	18	155,0	2 008
8	20	176,5	2 225

Совершенно очевидно, что приведенные данные не могут служить базой для оценки суммарных потерь при определенной скорости вращения, ибо, как известно из самой задачи, здесь нигде не имел места установившийся режим. Приводимые данные о мощностях поэтому являются суммой из мощности, покрывающей потери на вращение (механические и от трения о воздух), и мощности, потребной на создание ускорения.

В таблице 3 приведены данные для установившихся режимов при различных скоростях вращения. Для их получения число оборотов ротора в минуту доводилось до определенного значения, это значение поддерживались неизменным в течение некоторого промежутка времени, после чего и делался отсчет.

Таблица 3  
Мощность установившихся режимов

№ отсчета	Число оборотов в минуту	Длительность установившегося режима мин.	Ток A	Напряжение V	Мощность kW
1	69	10	356	194,5	69,2
2	76	5	383	213,0	81,5
3	83	5	414	234,0	97,0
4	89	5	434	246,0	106,6
5	105	5	576	244,0	140,7

На основе данных этой таблицы, а также и других, не приводимых здесь цифр, на рис. 5 нанесена кривая зависимости потребляемой мощности на покрытие потерь при вращении ротора от числа оборотов в минуту при различных установившихся режимах. Величины рис. 5 дают чистые значения потерь на вращение ротора, поскольку в эти значения внесены поправки на потери в приводящем моторе согласно его градуировочной кривой.

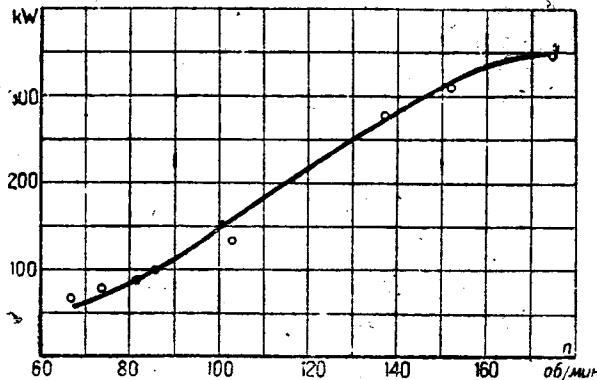


Рис. 5. Мощность, необходимая на поддержание установившейся скорости ротора, в функции от этой скорости

Выяснив пусковые условия и значения потерь, можно перейти к самому испытанию на разгон. Целью испытания является доведение ротора до разгонного числа оборотов в минуту, равного удвоенному нормальному, т. е. 176,4 об/мин без каких-либо внешних повреждений и без значительных изменений в своих геометрических размерах. Для определения последних до и после испытания были произведены промеры наиболее существенных размеров ротора (внешний диаметр, диаметр обода, спиц, втулки и т. д.). Промеры показали отсутствие каких бы то ни было изменений. Одновременно, также как и при балансировке, при помощи тех же четырех магнитных приемников механических колебаний, установленных в тех же самых точках, велось наблюдение за величинами "боя" вала. В табл. 4 приведены данные, взятые из протокола испытания на разгон.

Таблица 4

Точки	Величина вибрации mm			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Пуск				
127,8 об/мин	0,106	0,30	0,254	0,035
138,5 "	0,142	0,325	0,295	0,035
152,5 "	0,127	0,397	0,183	0,035
164,9 "	0,127	0,392	0,320	0,035
Разгонная скорость				
176,5	0,193	0,56	0,355	0,147

В конце испытания ротора на разгон была снята еще одна весьма интересная и характерная кривая — кривая свободного выбега, которая приведена на рис. 6.

С точки зрения результативного исследования приведенные цифры и кривые остаются лишь дополнить контролем махового момента ротора. Его можно найти путем следующих рассуждений.

По общему закону механики кинетическая энергия, запасенная при данной скорости в любой движущейся системе, будет:

$$Z = \frac{mv^2}{2}$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

Для случая вращательного движения  $v = \omega \frac{D}{2}$  или  $\frac{2\pi n}{60} \frac{D}{2}$ . Тогда

$$Z = \frac{1}{2} \left( \frac{\pi}{60} \right)^2 n^2 m D^2,$$

или

$$Z = \frac{\pi^2 n^2}{2 \cdot 3600 \cdot 9,81} G D^2 \text{ кгм.}$$

Учитывая, что 1 kWsec равен 101,98 кгм, можно написать

$$Z = \frac{\pi^2 n^2}{7200 \cdot 9,81 \cdot 101,98} G D^2 \text{ kWsec.}$$

Дифференцируя по элементу времени, мы получим выражение накопленной в роторе мощности

$$\frac{dZ}{dt} = Q = \frac{\pi^2 G D^2}{7200 \cdot 9,81 \cdot 101,98} 2n \frac{dn}{dt} \text{ kW.}$$

Если определить значения  $n_1$  и  $n_2$  и им соответствующие времена  $T_1$  и  $T_2$  так, чтобы  $n_1 = n + \Delta n$ , а  $n_2 = n - \Delta n$ , и  $n$  есть то число оборотов в минуту вращающегося механизма, при котором определена накопленная мощность выраженная формулой (1), то при условии, что  $\Delta n$  достаточно мало можно написать:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_1 - n_2}{T_1 - T_2}.$$

Выражая обороты и времена в секундных значениях, можем наконец, переписать формулу (1) в виде:

$$\frac{dZ}{dt} = Q = \frac{\pi^2 G D^2}{7200 \cdot 9,81 \cdot 101,98} \cdot \frac{2n}{60} \cdot \frac{n_1 - n_2}{T_1 - T_2} \text{ kW.}$$

Отсюда маховой момент будет:

$$G D^2 = \frac{Q}{\pi^2 n} \cdot \frac{T_1 - T_2}{n_1 - n_2} \text{ кгм}^2.$$

Подставляя значение мощности из рис. 5, где приведены чистые значения потерь во вращающемся роторе (за вычетом потерь в приводящем моторе), и значения числа оборотов в минуту и времени из кривой свободного выбега (рис. 6), можно определить количественную величину махового момента.

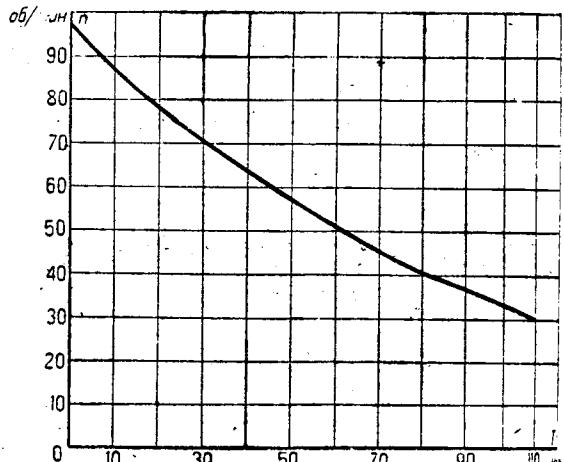


Рис. 6. Кривая свободного выбега ротора

Действительно возьмем за исходное число оборотов в минуту 88; тогда по кривой свободного выбега найдем верхний предел  $n_1 = n + \Delta n$  (если  $\Delta n$  мы примем равным 10%); он будет равен 97; ему  $T = 0$ . Нижний предел числа оборотов в минуту  $n_2 = n - \Delta n = 79,4$ ; ему соответствующее значение времени  $T = 20$  мин. Из кривой рис. 5 найдем  $Q = 101,98$ . Тогда:

$$G D^2 = \frac{101,98 \cdot 7200 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot (20 - 0) \cdot 101,98}{9,859 \cdot 88 \cdot (97 - 79,4)} = 2880000 \text{ кгм}^2$$

Очевидно, что это есть сумма маховых моментов самого ротора, вспомогательного генератора и приводящего ротора. Расчетные данные для последних составляют 83 500. Таким образом маховой момент ротора равен 28 716 500. Гарантийное его значение 28 000 000  $\text{kgm}^2$ .

Для определения потерь во вращающемся роторе при коренном, равном нулю, были сняты значения подводимой

ней при установившихся скоростях вращения ротора, при-  
зенные выше в табл. 3. Эти потери, как уже было отме-  
чено, слагаются из потерь на механическое трение в опорах  
и от трения о воздух. Если сделать допущение о неиз-  
менности температур опорных поверхностей, то можно напи-  
сать

$$Q = C_1 n^3 + C_2 n^{1.5}, \quad 1)$$

$C_1$  и  $C_2$ —постоянные коэффициенты. Левое слагаемое пра-  
вости равенства—потери от трения о воздух, правое—  
механические потери. Определив из двух значений потерь  
коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ , которые оказались равными (как среднее  
значение)  $C_1 = 1,4 \cdot 10^{-5}$  и  $C_2 = 0,1035$ , и разделяя потери,  
известные найденными коэффициентами, мы получим картину,  
показанную в табл. 5.

Число оборотов в минуту	Потери на трение о воздух kW	Механические потери kW
69	4,6	59,6
76	6,15	68,6
83	8,0	79,0
89	9,9	87,0
105	16,3	111,0
176,4	76,7	243,0

Эти цифры дают примерную картину распределения потерь  
при данных разгонных условиях.

## Гашение магнитного поля генераторов по схеме К. И. Шенфера

Инж. А. Н. Сальников  
ВЭИ

Как известно, при коротком замыкании отдельных витков рабочей обмотки синхронной машины, так называемом „витковом коротком“ (а также при соединении на землю), всегда возникает опасная угроза выгорания активного железа и самой обмотки. Поэтому необходимым является быстрое уничтожение потока возбуждения генератора; от окончательной порчи можно спасти обмотку лишь при условии быстрого уничтожения („гашения“) магнитного поля генератора. Существующие методы, дающие возможность при аварии весьма быстрого уменьшения магнитного потока возбуждения до нуля, можно разделить на две категории: 1) способ гашения магнитного поля при помощи включения сопротивления и 2) способ гашения магнитного поля при помощи вспомогательного мотора. Эти категории гашения магнитного поля в свою очередь имеют ряд видоизменений.

### Схема Рюденберга

Среди большого числа различных методов борьбы с вредными явлениями в генераторах во время виткового короткого весьма удачным является изложение Рюденберга, иллюстрируемое схемой рис. 1. На этой схеме буквой  $M$  обозначена обмотка возбуждения синхронной машины, обтекаемая постоянным током, который получается из якоря  $A$  возбудителя. При нормальном режиме рутильник  $S$  должен быть замкнут.

При внутреннем междупитковом коротком замыкании или соединении обмотки на землю рутильник  $S$  размыкается при помощи реле (не показанного на схеме), вследствие чего в цепь якоря возбудителя  $A$  включается сопротивление  $r$ , и ток  $i_0$  падает почти до нуля. Ток в обмотке возбуждения  $M$  синхронной машины при этом благодаря большой величине самоиндукции обмотки  $M$  сразу упадет, однако, не может. Так как при отключении рутильника  $S$  в цепь якоря вводится достаточно большое сопротивление  $r$ , ток размыкания потечет в обмотку возбуждения  $B$  возбудителя (направление тока  $i_0$  на рис. 1 показано пунктирными стрелками). Вышеуказанный ток  $i_0$  уместно было бы назвать экстратоком замыкания. На рис. 1 видно, что ток размыкания  $i_0$  имеет направление, обратное по сравнению с тем током

возбуждения  $i$ , который обычно течет по обмотке  $B$  при нормальном режиме.

Так как обычно электромагнитная энергия, запасенная в обмотке возбуждения  $M$ , относительно велика, то и экстраток размыкания  $i_0$  в первый момент после размыкания рутильника  $S$  значительно превосходит по величине ток возбуждения. Но так как ток имеет обратное направление, то при этих условиях происходит быстрое изменение магнитного потока возбуждения, создаваемого обмоткой  $B$ , на противоположное, в ре-

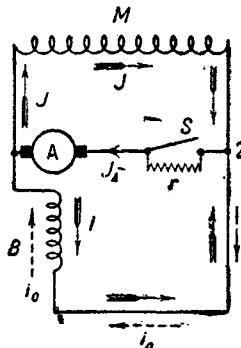
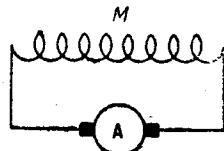


Рис. 1. Схема Рюденберга

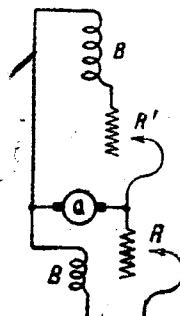


Рис. 2. Каскадная схема

зультате чего э. д. с. якоря возбудителя  $A$  меняет свой знак; последнее влечет за собой быстрое падение магнитного потока, создаваемого обмоткой  $M$  до нуля, т. е. быстрое гашение этого потока.

Схема Рюденберга имеет, однако, два недостатка: во-первых, после размыкания рутильника  $S$  при аварии происходит изменение полярности возбудителя  $A$  и, во-вторых, эта схема не допускает так называемого каскадного возбуждения, показанного на рис. 2.

Из схемы рис. 2 видно, что при независимом питании обмотки возбуждения возбудителя  $B$  не представляется возможным включение рутильника  $S$  (рис. 1) таким образом, чтобы гашение магнитного поля было возможным.

### Схема Шенфера

Оба вышеуказанные недостатка устраняются путем применения новой схемы акад. К. И. Шенфера, изображенной на рис. 3. Эта схема отличается от схемы, изображенной на рис. 2, тем, что здесь обмотка возбуждения  $B$  главного возбудителя питается не от одного только якоря  $A$ , но одновременно также и от якоря  $A$ . Ток  $i$ , текущий в обмотке возбуждения  $B$  главного возбудителя, будет устанавливаться суммой э. д. с. якорей главного и вспомогательного возбудителей, выражаящейся формулой

$$i = \frac{E_A + E_a}{\Sigma R}$$

Изменяя сопротивление реостата  $R$ , мы изменяем тем самым э. д. с.  $E_a$ , а вместе с тем и токи  $i$  и  $I$ .

Изменяя при помощи реостата  $R'$  величину сравнительно небольшого тока  $i'$ , мы можем достичь соответствующего изменения величины сравнительно большого тока  $I$ , текущего в обмотке возбуждения  $M$ .

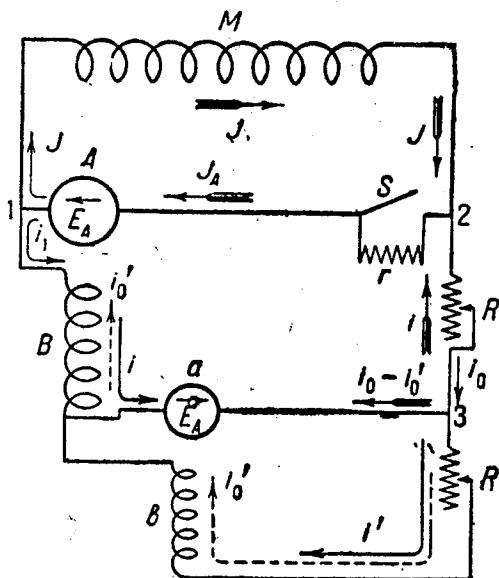


Рис. 3. Схема Шенфера:  
 $M$  — обмотка возбуждения синхронной машины;  $A$  — якорь главного возбудителя;  $B$  — обмотка возбуждения главного возбудителя;  $a$  — якорь вспомогательного возбудителя;  $R$  и  $R'$  — регулирующие реостаты;  $r$  — сопротивление, включаемое в цепь якоря возбудителя в момент размыкания рубильника  $S$ .

При схеме Шенфера гашение магнитного поля осуществляется таким же образом, как и при схеме Рюденберга (рис. 1) — путем размыкания рубильника  $S$ . Разомкнув последний и включив таким образом большое сопротивление  $r$  в цепь якоря  $A$ , мы увидим, что экстраток размыкания  $i_0$ , показанный на рис. 3 пунктирными стрелками, потечет в направлении, обратном току  $i$ ; если при этом ток  $i_0$  будет больше  $i$ , произойдет изменение направления потока обмотки  $B$ , а вместе с тем изменится также и направление э. д. с.  $E_a$ , что повлечет за собой быстрое гашение магнитного потока обмотки  $B$ .

Изменения полярности вспомогательного возбудителя  $a$  при этих условиях опасаться не приходится, так как часть экстратока размыкания (см. пунктирные стрелки), зашедшего в цепь возбуждения  $B$  вспомогательного возбудителя, будет протекать в том же направлении, что и стационарный ток возбуждения.

Появляющийся в момент размыкания рубильника  $S$  экстраток  $i_0$  разветвляется в точке 3, при чем разветвленный ток  $i_0'$  намагничивающим образом действует на поле катушки возбуждения  $b$  вспомогательного возбудителя, благодаря чему полярность на щетках якоря вспомогательного возбудителя при этом остается без изменения и гарантирует сохранение прежней полярности на щетках главного возбудителя  $A$  при пуске машин после ликвидации аварии.

### Опытная схема

В электромашинной лаборатории ВЭИ были произведены сравнительные исследования по трем схемам: 1) по методу гашения поля простым разрывом цепи; 2) по методу Рюденберга и 3) по методу Шенфера. При производстве опытов по схеме ротора синхронной машины в схему включалась цепь возбудителя машины постоянного тока с омическим сопротивлением, равным  $10 \Omega$ . Вследствие этого влияние реакции якоря и потока рассеяния на процесс гашения магнитного поля учитывалось, и все сравнения производились только в отношении напряжения ротора синхронной машины  $E_p$ , силы тока ротора  $I_p$  и силы тока возбуждения главного возбудителя  $i_p$ .

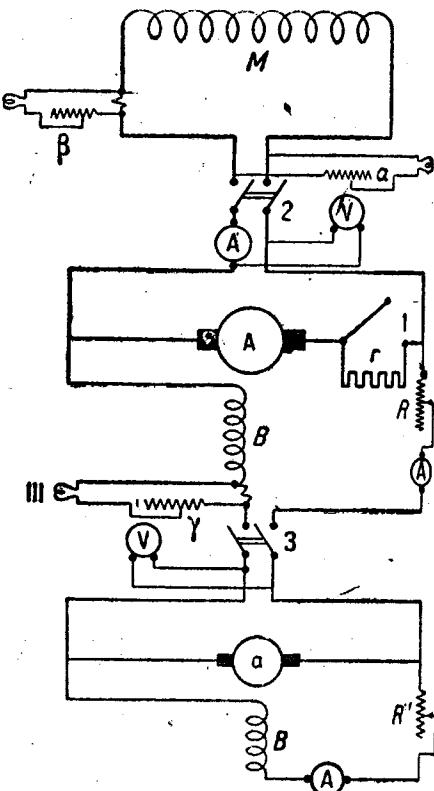


Рис. 4. Схема для экспериментального исследования гашения по Шенфера:  
 $A$  — якорь главного возбудителя;  $a$  — якорь вспомогательного возбудителя;  $\gamma$  — шлейф осциллографа, фиксирующий напряжение возбуждения синхронной машины;  $\alpha$  — шлейф осциллографа, фиксирующий ток возбуждения якоря  $a$ ;  $\beta$  — шлейф осциллографа, фиксирующий ток возбуждения якоря  $A$ ;  $\delta$  — гасильное сопротивление.

На рис. 4 представлена схема опыта по методу Шенфера. Главный  $A$  и вспомогательный  $a$  возбудители, связанные жестко муфтой, приводились во вращение асинхронным двигателем.

Эта схема может быть без больших затруднений превращена в схему Рюденберга. Для этого необходимо рубильник  $S$  закоротить, приварительно отсоединив якорь вспомогательного возбудителя  $a$ . Из той же схемы полу-

схема для испытаний гашения магнитного поля методом простого разрыва цепи.

При испытании напряжение обоих возбудителей всегда поддерживалось постоянным—главного возбудителя 92 В и вспомогательного 60 В. При испытании схемы простого разрыва цепи процесс гашения магнитного поля осуществляется выключением рубильника 2, причем рубильник 3 может быть закороченным, а якорь вспомогательного возбудителя отключен. Рубильник 1 должен быть замкнут.

При испытании схемы Рюденберга (рис. 1) процесс гашения магнитного поля осуществлялся размыканием рубильника 1, причем рубильник 3 также должен быть закорочен, а якорь вспомогательного возбудителя отключен. Рубильник 2 должен быть замкнут.

При испытании схемы Шенфера процесс гашения магнитного поля осуществлялся так же, как в схеме Рюденберга, т. е. размыканием рубильника 1, все же остальные рубильники должны быть замкнуты (рис. 3).

Во время опытов снимались осциллограммы напряжения ротора синхронной машины  $E_p$ , тока якоря синхронной машины  $I_p$  и тока возбуждения  $i_b$  главного возбудителя при разных величинах гасительного сопротивления  $r$  (рис. 4).

### Повышение напряжения при размыкании

Прежде чем приступить к сравнению тех результатов, которые получились после испытания гашения магнитного поля по рассмотренным выше схемам, заметим, что влияние реакции якоря синхронной машины и потоков рассеяния при опыте не учитывались; что касается влияния демпферной обмотки, то здесь необходимо отметить следующее.

Вследствие того что катушкой самоиндукции в нашем случае служили магнитные полюса машины постоянного тока с разомкнутой цепью щеток (где щетки стояли не строго в нейтральном положении), короткозамкнутые витки под щетками вызвали влияние на скорость гашения магнитного поля подобно демпферной обмотке генератора. Используем общей формулой <sup>1)</sup> для кратности скачка напряжения на роторе синхронной машины в следующем виде:

$$\frac{E_{p\max}}{E_{p0}} = \frac{\frac{m-1}{m+1} \frac{T_1}{T_2} - \frac{1}{m+1}}{\frac{1}{m+1} \frac{T_1}{T_2} + 1}, \quad (1)$$

<sup>1)</sup> Подробнее см. Соловьев, Гашение поля больших синхронных генераторов. Рюденберг, Явления неустойчивости режима в электрических установках.

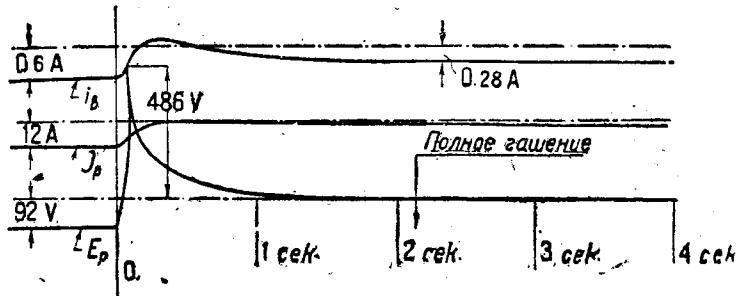


Рис. 6. Осциллограмма, снятая по схеме Шенфера при  $r = 80\Omega$ .

где  $E_{p\max}$  — максимальное напряжение на роторе,  $E_{p0}$  — нормальное напряжение на роторе,  $T_1$  — постоянная времени обмотки полюсов (катушки  $M$ ),  $T_2$  — постоянная времени короткозамкнутых витков обмотки якоря машины постоянного тока,  $m = \frac{r}{R_k}$ . Здесь  $r$  — гасительное сопротивление,  $R_k$  — омическое сопротивление катушки  $M$ .

Для случая, когда гасительное сопротивление  $r = \infty$  (что в нашем испытании соответствует методу гашения поля простым разрывом цепи), отношение  $m = \infty$ . Подставляя это значение  $m$  в уравнение (1), получим уравнение вида

$$\frac{E_{p\max}}{E_{p0}} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (2)$$

В дальнейшем эти уравнения понадобятся для сравнения результатов, полученных опытным путем и получающихся из теоретических подсчетов.

### Осциллограммы

Осциллограмма, представленная на рис. 5, снята по схеме простого разрыва цепи ротора при  $E_{p0} = 92$  В,  $I_p = 12$  А,  $i_b = 0,6$  А.

По кривой напряжения  $E_p$  на роторе видим, что в момент разрыва цепи скачок напряжения достиг значительной величины (2208 В) против нормального, которое было до момента разрыва  $E_{p0} = 92$  В.

Таким образом кратность его составляет  $2208:92 = 25$ .

Вторая величина, которая будет характеризовать гашение,—это продолжительность процесса  $t$ . Из осциллограммы видно, что  $t = 22$  сек., т. е. процесс проходит очень быстро.

Из осциллограммы видно также, что ток в роторе быстро упал до нуля, ток же возбуждения принял величину несколько выше нормальной за счет уменьшения общего сопротивления цепи

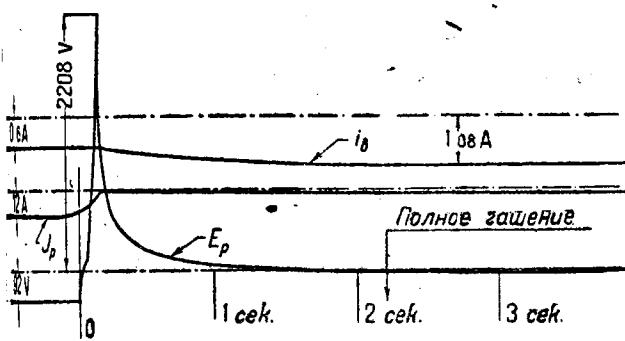


Рис. 7. Осциллограмма, снятая по схеме простого разрыва цепи ротора.  $E_p$  — напряжение на роторе;  $I_p$  — ток в роторе;  $i_b$  — ток возбуждения.

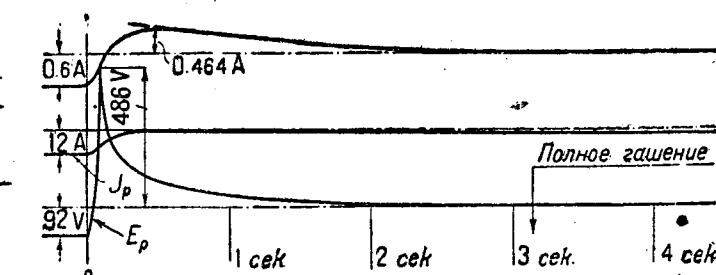
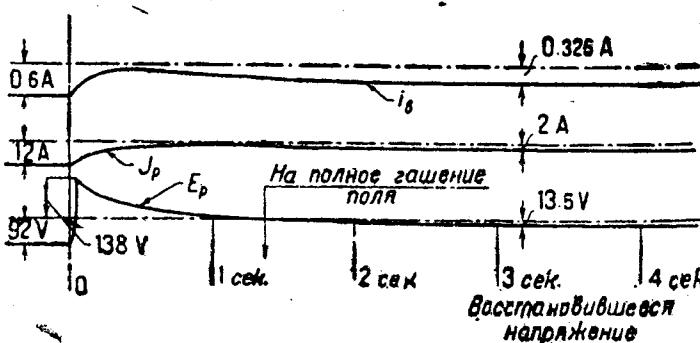


Рис. 8. Осциллограмма, снятая по схеме Рюденберга при  $r = 80\Omega$ .

Рис. 8. Осциллограмма, снятая по схеме Шенфера при  $r = 20\Omega$ .

после отключения катушки самоиндукции  $M$ .

Пользуясь уравнением (2), мы можем определить отношение постоянных времени для данного случая:

$$\frac{E_{p\max}}{E_p} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{2208}{92} = 25,$$

т. е. равно кратности скачка напряжения.

Осциллограмма, представленная на рис. 6, снята по схеме Шенфера при тех же нормальных условиях, т. е.  $E_p = 92$  В,  $I_p = 12$  А,  $i_s = 0,6$  А. В этом случае гасительное сопротивление  $r = 80\Omega$  и

$$m = \frac{80}{10} = 8.$$

По кривой напряжения на роторе видно, что в момент гашения магнитного поля скачок напряжения уменьшился:  $E_{p\max} = 486$  В, а кратность его

равна  $\frac{E_{p\max}}{E_p} = \frac{486}{92} = 5,28$ . Период гашения поля

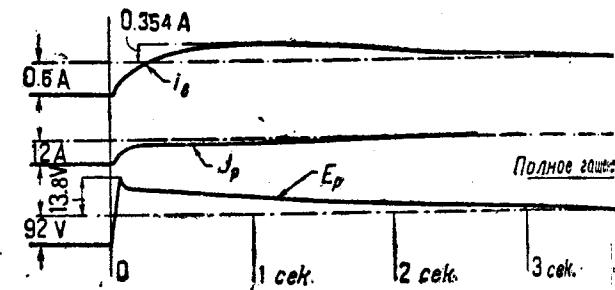
$t = 2,13$  сек. Ток в роторе синхронной машины быстро падает до нуля, а ток возбуждения возбудителя, пройдя через отрицательное значение, вновь восстановился до величины  $i_s = 0,282$  А, т. е. возбудитель не размагнился.

Осциллограмма, представленная на рис. 7, снята по схеме Рюденберга при тех же нормальных условиях. В этом случае гасительное сопротивление было включено точно таким же, что и при испытании по схеме Шенфера. По кривой напряжения на роторе видно, что в момент гашения магнитного поля скачок напряжения остался такой же величины, что и на осциллограмме

рис. 6, а кратность его равна величине  $\frac{E_{p\max}}{E_p} = \frac{486}{92} = 5,28$ . Длительность гашения поля  $t = 3,12$  сек.

Ток в роторе быстро падает до нуля, а сила тока возбуждения возбудителя, пройдя в отрицательное значение, следуя за напряжением  $E_p$ , падает до нуля, т. е. возбудитель размагничивается.

По целому ряду проведенных опытов можно сказать, что при схеме Шенфера прямая пропорциональность между  $t$  и  $r$  существует лишь до определенного значения  $m$  (в нашем случае до

Рис. 9. Осциллограмма, снятая по схеме Рюденберга при  $r = 20\Omega$ .

$t = 4$ ) в дальнейшем же наступает обратное явление.

При схеме Рюденберга вообще нет прямой пропорциональности между  $t$  и  $r$ , т. е. уменьшение гасительного сопротивления период гашения магнитного поля растет.

Осциллограмма, представленная на рис. 8, снята по схеме Шенфера при тех же нормальных условиях ( $E_{p0} = 92$  В,  $I_p = 12$  А,  $i_s = 0,6$  А), но гасительное сопротивление  $r$  было взято равным  $20\Omega$  ( $m = 1$ ); при этом скачок напряжения получился равен

$$138 \text{ В и кратность его } \frac{E_{p\max}}{E_{p0}} = \frac{138}{92} = 1,4.$$

Полного гашения магнитного поля в данном случае не произошло. По кривой  $E_p$  видно, что напряжение, пройдя через нуль, приняло отрицательное значение, равное  $-13,5$  В. Ток в роторе также не упал до нуля, а лишь снизился до величины, равной 2 А. Ток возбуждения возбудителя даже не дошел до нулевого значения, и через некоторое время принял значение, равное 3,25 А.

Осциллограмма на рис. 8 показывает нам, что возбудитель не размагнился, но в то же время не получилось полного гашения магнитного поля. Следовательно, гасительное сопротивление указанной величины недостаточно.

Осциллограмма, представленная на рис. 9, снята по схеме Рюденберга при тех же условиях, что и осциллограмма рис. 8 по схеме Шенфера. Период гашения поля в этом случае  $t = 4,25$  сек, и продолжительность процесса гашения магнитного поля с уменьшением гасительного сопротивления растет. Сила тока в роторе медленно, но все же падает до нуля, а ток возбуждения, пройдя отрицательные значения, также падает до нуля, т. е. возбудитель размагничивается.

### Заключение

Вышеописанные опыты показали полную практическую пригодность схемы гашения магнитного поля Шенфера; эту схему можно применять во всех случаях, когда имеет место каскадное возбуждение синхронных машин.

## В РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ

### Влияние секционирования на устойчивость

Р. Майер  
ВЭИ

С увеличением мощности станции справляться локами короткого замыкания становится все труднее, труднее также достичь того, чтобы отъимые части установки надежно выносили повышенные при этом механические усилия, чтобы выключение места аварии происходило в повреждения выключающих аппаратов. По причинам при достижении мощности станции определенных пределов присоединение всех машин к одним общим шинам становится уже недопустимым. Появляется необходимость распределить мощность станции на отдельные участки, между которыми включаются реактанцы. При выборе размеров этих реактанцев, так же как и различных схем коммутации, в первую очередь решающее значение имеет уменьшение токов короткого замыкания; при этом ясно, что всякое изменение схемы станции имеет влияние на устойчивость сети. Данная работа имеет целью проверить полностью и всесторонне исследовать это влияние. В дальнейшем эта задача выполняется на конкретном примере.

**Пример, положенный в основу исследования**  
В данном примере взята станция мощностью 400 MW, питающая посредством 3 параллельных линий напряжением 200 kV, протяжением 200 км — бесконечной мощности. Мощность станции определяется на 3 машины или группы машин, соединенных к отдельным системам шин. Каждый из этих участков питает одну отходящую линию. Относительно возможных видов секционирования посредством реакторов мы сперва отметим, что при трех группах машин соединение реакторов звездой и соединение реакторов кольцо всегда могут быть переведены одно в другое. Поэтому в нашем примере достаточно рассмотреть лишь один из этих видов соединения. На рис. 1 изображено выбранное для этого соединение звездой. На этом рисунке *a*, *b* и *c* означают три группы машин станции, работающие через трансформаторы на каждую из отходящих линий. На рис. 1 приведены взятые в расчете значения реактанцев, отнесенные к номинальной мощности 400 MW. Они соответствуют реактанам генераторов в 16% и трансформаторов в 12.5%. Три отходящие линии на другом конце соединены в точке *A*, в которой, согласно сделанной предпосылке, напряжение не должно меняться (шины бесконечной мощности). Секционирование на станции может быть двух видов, именно: посредством реакторов со стороны высокого или же со стороны низкого напряжения (линии *I* и *II*, рис. 1). Как далее будет указано, ко второму виду относится и применение двухобмоточных генераторов.

При изменении значения реакторов от нуля до бесконечности, повидимому, будут охвачены все возможные виды секционирования на станции. Пределный случай  $X_g = 0$  означает непосредственное присоединение к одной общейшине, другой предельный случай ( $X_g = \infty$ ) означает полное отключение друг от друга отдельных групп машин, которые в таком случае синхронизируются в конечной линии *A* (синхронизация на нагрузку).

За аварию в первом случае принято однофазное короткое замыкание на одной из отходящих линий, во втором случае в основу положено двухфазное короткое замыкание на одном из участков низкого напряжения.

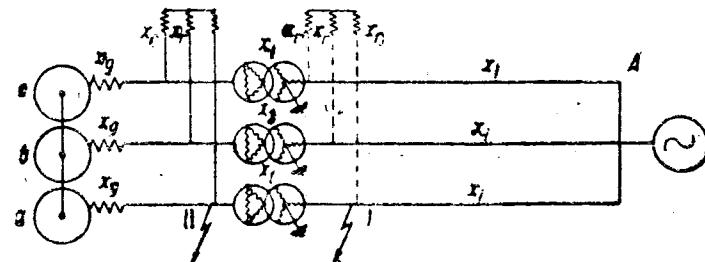


Рис. 1. Исследуемая схема. Для прямой последовательности  $X_g = 0,487$ ,  $X_l = 0,377$ ,  $X_i = 0,81$ . Реактанцы отнесены к мощности 400 MW

#### 2. Синхронизирующие силы и токи короткого замыкания при предположении равенства фаз электродвижущих сил отдельных секций

В начале изучения вопроса мы примем следующее упрощение, а именно, мы предположим, что между э. д. с. 3 групп машин (*a*, *b*, *c*) станции при аварии сдвига фаз не происходит. В действительности можно ожидать сдвига фаз, так как лишь одна из групп (*a*) непосредственно подвергается аварии. Согласно поставленной в начале задачи, мы должны исследовать, каким образом изменяются токи короткого замыкания и синхронизирующие силы между рассматриваемой станцией и сетью бесконечной мощности при изменении реакторов секционирования в возможных пределах (от 0 до  $\infty$ ). Мы получаем для этого кривые рис. 2 и 3. Рис. 2 относится к однофазному короткому замыканию на стороне высокого напряжения, непосредственно у станции.

Сплошные кривые относятся к секционированию на стороне высокого напряжения, пунктирные кривые — к секционированию на стороне низкого напряжения. По оси абсцисс нанесено отношение реактанцев секционирования к реактанцу рассеяния одной группы машин, по оси ординат отложено отношение симметричной составляющей мгновенного тока короткого замыкания в короткозамкнутой фазе (не учитывая составляющей постоянного тока), к номинальному току станции ( $\frac{I_k}{I_n}$ ). Кроме того, по оси ординат нанесены значения  $P_{12}$ , дающие отношение самой большой мощности, которую только можно передать, к номинальной мощности станции (соответствует углу опережения э. д. с. генераторов в  $90^\circ$  по отношению к *A*). Для нормального режима  $P_{12}$  получается равным 1,8, как указано на рис. 2.

При полной нагрузке станции и при принятых здесь упрощениях динамический предел устойчивости получается, когда при коротком замыкании значение  $P_{12}$  внезапно упадет ниже 1,15. Это предельное значение также дано на рис. 2 и 3. На рис. 2, относящемуся к однофазному короткому

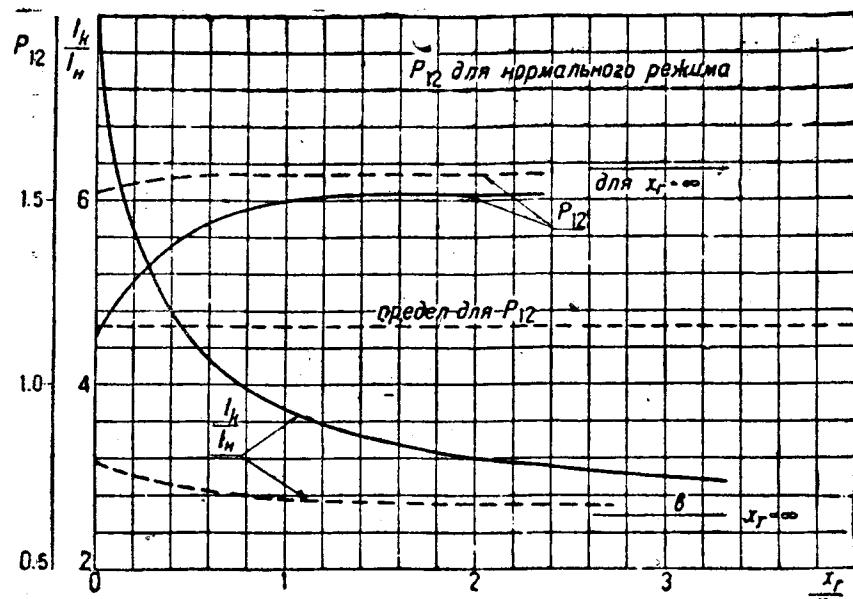


Рис. 2. Влияние секционирования на токи короткого замыкания и на устойчивость (однофазное короткое замыкание на стороне высокого напряжения). Сплошные линии—секционирование на стороне низкого напряжения, пунктирные—на стороне высокого напряжения

замыканию на стороне высокого напряжения, мы видим, что сильных изменений тока короткого замыкания  $\left(\frac{I_r}{I_n}\right)$  и максимальной передаваемой мощности  $P_{12}$  в зависимости от реактанца секционирования при коротком на высоковольтной стороне можно ожидать лишь тогда, когда секционирование предусмотрено на стороне высокого напряжения (сплошная кривая). При непосредственном соединении со стороны высокого напряжения ( $X_r = 0$ ) ток короткого замыкания приблизительно равен 7,5-кратному значению номинального тока, при этом  $P_{12}$  настолько понижается, что положение становится опасным для динамической устойчивости. При включении секционных реакторов  $\left(\frac{X_r}{X_g} > 0\right)$  сила тока короткого замыкания быстро понижается, одновременно значение  $P_{12}$  повышается, так что устойчивость работы, повидимому, восстанавливается. При полном разделении 3 отходящих линий высокого напряжения ( $X_r = \infty$ ) ток короткого замыкания уменьшается примерно в три раза. Значение  $P_{12}$  повышается, приблизительно, до 1,58 (от 1,14). Из сплошной кривой видно, что уже при увеличении реактанца секционирования до величины реактанца рассеяния генератора  $\left(\frac{X_r}{X_g} = 1\right)$  достигается достаточно большое изменение обеих величин.

Пунктирные кривые на рис. 2 относятся к секционированию на стороне низкого напряжения. Мы видим, что такое секционирование очень мало влияет на условия работы при коротком замыкании со стороны высокого напряжения. Ток в заземленной фазе при полном разделении шин ( $X_r = \infty$ ) приблизительно лишь на 20% меньше, чем при непосредственном соединении ( $X_r = 0$ ); соответствующее повышение синхронизирующей силы приблизительно равно 4%.

Для короткого замыкания со стороны низкого напряжения полученные кривые представлены на рис. 3. В основном у них тот же характер, как

и у кривых на рис. 2, лишь место секционирования влияет в противоположном смысле. Здесь сильное влияние на ток короткого замыкания и на синхронизирующую силу может быть установлено лишь в том случае, когда секционирование предусмотрено на стороне низкого напряжения (место II, рис. 1), т. е. на месте армии. При переходе от непосредственного присоединения ( $X_r = 0$ ) до полного разделения ( $X_r = \infty$ ) ток короткого замыкания уменьшается приблизительно в 3 раза. Одновременно синхронизирующая сила ( $P_{12}$ ) возрастает приблизительно на 80% (от 0,4 до 1,46). Таким образом, при непосредственном присоединении значение  $P_{12}$  много ниже допустимого значения. Устойчивость достигается лишь тогда, когда реактанец секционирования становится больше, чем приблизительно одна треть реактанца рассеяния отдельных групп машин.

Напротив того, при секционировании на стороне высокого напряжения условия измененияются в пределах, не имеющих для практики значения. Устойчивость обеспечена во всей возможной области; максимальное изменение  $P_{12}$  равно приблизительно 7%. Ток короткого замыкания при переходе от непосредственного соединения ( $X_r = 0$ ) до полного разделения шин ( $X_r = \infty$ ) уменьшается приблизительно на 30%.

Вышеприведенные результаты вычислений могут быть выражены следующим образом: полученное посредством любого вида секционирования понижение тока короткого замыкания всегда сопровождается повышением устойчивости рабо-

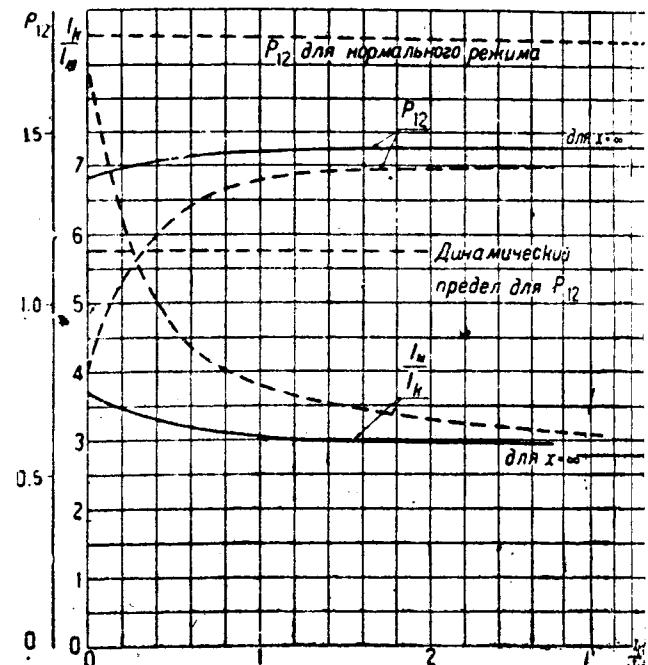


Рис. 3. Влияние секционирования на токи короткого замыкания и на устойчивость (двуфазное короткое замыкание на стороне низкого напряжения). Обозначения—см. рис. 2

ты. Практически это влияние имеет значение лишь в том месте, где предусмотрено секционирование. В других случаях (например, при коротком замыкании на стороне высокого напряжения и при секционировании со стороны низкого

напряжения в рассматриваемом примере перевешивает влияние остальных элементов коммутации, таким образом, трансформаторов. Вследствие этого во всей области секционирования, т. е. от непосредственного присоединения до полного разделения отдельных участков шин, больших изменений не происходит.

### Схема замещения для двухобмоточного генератора

При изложенном выше изучении вопроса пришлоось, что для секционирования применяются каторы.

Имеется еще другая возможность секционирования, а именно посредством двухобмоточных генераторов. На рис. 4 приведена соответствующая схема для 3 генераторов, работающих на отрезке шин (A, B, C).

Для расчета поведения двухобмоточного генератора, на основании данных из литературных источников<sup>1)</sup>, принимается схема замещения, изображенная на рис. 5. По этой схеме действие секционирования двухобмоточного генератора не больше, чем больше отдельные реактанцы ( $X_s$ ) в цепях статора. Однако, существенное влияние имеет также и общий реактанц  $X_k$ . Чем меньше  $X_k$  по сравнению с  $X_s$ , тем меньше падение напряжения при коротком замыкании в общей точке (0, рис. 5) схемы замещения, следовательно, тем меньше влияние аварии на соседние отрезки шин. Так приблизительной мерой действия секционирования может служить отношение реактанцев  $\frac{X_s}{X_k}$ .

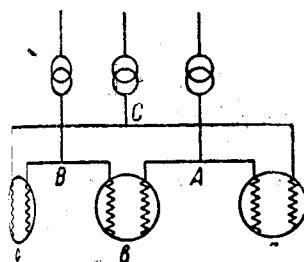


Рис. 4. Соединение трех двухобмоточных генераторов в кольцо

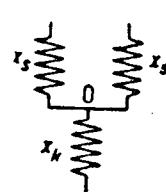


Рис. 5. Схема для двухобмоточных генераторов

Для расчета устойчивости при наличии двухобмоточного генератора изображенная на рис. 4 схема соединения генераторов должна быть упрощена. Если примем, что э. д. с. трех генераторов одинаковы по величине и фазам, генераторы, как показано на рис. 6а, могут быть обединены в один генератор; обозначенные цифрами 1, 2 и 3 реактанцы  $X_k$  и остальные реактанцы 4—9 кольца ABC являются индивидуальными реактанцами  $X_s$ , обеих обмоток статора каждого генератора. При упрощении схемы, указанные на рис. 6, точки A, B и C и 3 частей шин должны быть сохранены. Превращая звезды реактанцев 1, 4, 5, 2, 6, 7 и 3, 8, 9 в тройники, получаем схему 6в, которую посредством соединения параллельных реактанцев мож-

но далее упростить в схему 6с. В ней общая э. д. с. через простые реактанцы (19, 20, 21) присоединена к отрезкам шин A, B и C. Эти реактанцы получаются равными результирующим реактанцам двухобмоточного генератора, обмотки статора которого соединены параллельно  $\left(X_k + \frac{X_s}{2}\right)$ .

Схему, примененную в рис. 1, получаем, превращая в звезду треугольное соединение реактанца 10, 11 и 12. Полученная для этого формула дана под рис. 6. Мы видим, что согласно выше-приведенным соображениям эффективный реактанц секционирования повышается пропорционально отношению  $\frac{X_s}{X_k}$ . Указанное упрощение схемы, кроме того, приводит к выводу, что секционирование с применением двухобмоточных генераторов равносильно включению дроссельных катушек со стороны генератора.

Для составления суждения о влиянии двухобмоточных генераторов на ток короткого замыкания и на устойчивость, мы можем воспользоваться кривыми, данными на рис. 2 и 3. При этом в качестве ориентировочной средней величины, по данным литературы, можно принять соотношение реактанцев  $\frac{X_s}{X_k} = 1$ . Тогда согласно формулы, приведенной под рис. 6, применимы точки кривых, относящихся к абсциссе.

$$\frac{X_s}{X_k} = \frac{2}{3}.$$

Выводы, полученные нами из рис. 2 и 3, применимы также и тогда, когда имеются двухобмоточные генераторы. Прежде всего отметим, что можно ожидать существенного улучшения по сравнению с непосредственным присоединением генераторов лишь в том случае, если короткое замыкание происходит на месте секционирования, т. е. со стороны низкого напряжения. При коротком замыкании со стороны высокого напряжения влияние остальных элементов коммутации (трансформаторов) так сильно перевешивает, что применение двухобмоточных генераторов на практике не вносит изменений.

### 4. Учет сдвига фаз между отдельными группами машин

При предшествующих рассуждениях предполагалось, что фазы 3 групп машин станции при аварии продолжают совпадать. Как уже упоминалось, в действительности этого быть не может, потому что лишь одна группа машин (a, рис. 1) непосредственно подвергается аварии, между тем как остальные 2 группы машин в и с питают неповрежденные линии. Поэтому можно думать, что машина a будет опережать две другие. Относительное положение фаз источников тока может быть изображено тремя векторами (рис. 7). Больше всего опередившая э. д. с. 1, относится к группе машин a (рис. 1), вектор 2—к остальным 2 группам, а вектор 3 дает напряжение в точке A, т. е. на шинах бесконечной мощности. Относительное положение напряжения определяется 3 углами  $\delta_{12}$ ,  $\delta_{13}$  и  $\delta_{23}$ .

При применении двухобмоточных генераторов, соединенных в кольцо, эти отношения изменяют-

1) Chose and Forbes. Electrical World, 1928, стр. 1183.  
2) Mot. General Electric Review, 1929, стр. 302. Powers and  
M. G. The Electric Journal, 1929, стр. 480. Alger, F. F.  
Frigghouse, с. 230. Tr. of AIEE, 1930, стр. 226. Рокко-  
ни, Эл-во, 1932, стр. 231.

ся. Как видно из рис. 4, в этом случае при коротком замыкании на линии, питаемой секцией *A*, аварии одинаково подвергаются машины *a* и *b*, между тем как машина *C* обеими обмотками статора присоединена к 2 неповрежденным линиям. Таким образом, на диаграмме рис. 7, в противоположность прежним случаям, вектор 1 относится к обоим генераторам *a* и *b*, а вектор 2 — к генератору *c*. Для устойчивости при 3 источниках тока решающее значение имеют передаваемые мощности, получающиеся вследствие сдвига фаз. Они определяются 3 величинами:  $P_{12}$ ,  $P_{18}$  и  $P_{28}$  (отнесенные к номинальной мощности станции). Эти величины дают максимальную мощность, которую можно передать между каждыми двумя источниками тока соответственно их индексам.

В качестве меры оценки устойчивости сети из них могут быть выведены значения углов, к которым стремятся э. д. с. всех трех источников тока в конечном состоянии; чем величина этих углов больше, тем меньше запас устойчивости в рассматриваемом нами случае аварии. На табл. 1 сопоставлены характеристические величины для нескольких случаев изучаемого нами числового примера. Для сравнения приведены значения нормального режима, при котором между отдельными группами машин станции сдвиг фаз не происходит.

Таблица 1

Сдвиг фаз между отдельными машинами станции во время аварии  
(короткое замыкание на стороне высокого напряжения)

Случай	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$P_{12}$	$P_{18}$	$P_{28}$	$\delta_{12}$	$\delta_{13}$	$\delta_{23}$	$P_{SA}$	$\delta_{SA}$	
	—	—	—	—	—	—	1,8	34	Нормальный режим
1	0	0,383	1,2	26	60	34	1,58	39	$X_r = \infty$ синхронизация на нагрузке
2	0,111	0,39	1,1	14	53	39	1,5	42	$X_r = 1$ $X_g$ со стороны высокого напряжения
3	0,365	0,435	1,14	5,5	43,5	38	1,575	39,5	$X_r = 1$ $X_g$ со стороны низкого напряжения
4	0,82	0,99	0,557	1,25	41	39,75	1,55	40	двойнобмоточные генераторы
									$X_g = X_k + \frac{X_s}{2}$

Запас устойчивости здесь дается максимумом мощности  $P_{SA}$ , которую можно передать между станцией и шинами бесконечной мощности (точка *A* на рис. 1) и соответствующим углом отклонения  $\delta_{SA}$ .

Эти значения приведены в первом ряду столбцов 7 и 8 табл. 1. Для первого, приводимого в таблице случая аварии предположено полное разделение отдельных секций шин. Оба источника тока станции, а именно, присоединенная к поврежденной линии машина *a* (источник тока 1) и две другие машины *b* и *c* (источник тока 2) соединены между собой лишь на шинах бесконечной мощности (место *A*). Поэтому взаимный

сдвиг фаз ( $\delta_{12}$ ) не вызывает передачи мощности (по первому столбцу  $P_{12} = 0$ ). В следующих двух столбцах даны максимальные передаваемые мощности между каждой из обеих групп машин станции и шинами бесконечной мощности. В следующих трех столбцах (4, 5 и 6) приведены величины 3 углов для конечного состояния; значение

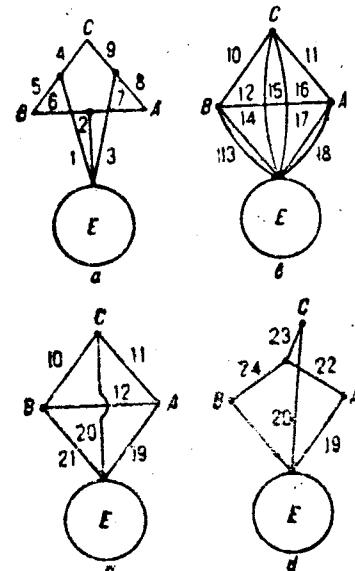


Рис. 6. Замещение двухобмоточного генератора однообмоточным

$$X_{1-3} = X_k; \quad X_{10-12} = X_g \frac{2X_s}{X_k}; \quad X_{19-21} = X_g$$

$$X_{4-9} = X_k; \quad X_{13-18} = 2X_g; \quad X_{22-24} = X_g \frac{2X_s}{3X_k} = X_g$$

$$X_g = X_k + \frac{X_s}{2}$$

видно из диаграммы рис. 7. Оказывается, что угол  $\delta_{23}$  между группой машин *b* и *c*, работающей на обе неповрежденные линии, и шинами бесконечной мощности по сравнению с нормальным режимом не изменяется (первая строка столбца 8).

Напротив того, угол между непосредственно поврежденным источником тока (машина *a*) и ее напряжением в *A* настолько увеличивается, что динамическая устойчивость уже, повидимому, опасности ( $\delta_{13}$ , столбец 5). Сдвиг фаз между шинами станций ( $\delta_{12}$ ) по диаграмме рис. 7 выражается разностью обоих углов ( $\delta_{13}$  и  $\delta_{23}$ ). В последних столбцах приведены еще значения максимальной передаваемой мощности  $P_{SA}$  и сдвига фаз  $\delta_{SA}$ , которые могут быть вычислены, если предположить, что фазы всех машин станции совпадают. Эта предпосылка положена в основание изучения вопроса во втором разделе. Максимум мощности, которую можно передавать, должен быть равен сумме обеих частичных мощностей  $P_{18}$  и  $P_{28}$  (столбцы 2 и 3). Разности, которые видны из таблицы, следует отнести за счет неточностей при вычислениях. Величины углов  $\delta_{SA}$  (столбец 8), получаемые для упрощенного вычисления, во всех рассматриваемых случаях находятся между соответствующими 2 значениями  $\delta_{13}$  и  $\delta_{23}$  (столбцы 5 и 6) при учете сдвига фаз.

Приводимый в табл. 1 2-й случай относится к сечению тока со стороны высокого напряжения.



Рис. 7. Сдвиг фаз между эдс в трех источниках тока

с реакторами, равными рассеянию генератора ( $\frac{X_r}{X_s} = 1$ ). При пренебрежении сдвигом фаз

станции получаем для этого уменьшение запаса устойчивости по сравнению с полным разделением шин (случ. 1, столбцы 7 и 8). При учете сдвига фаз на станции, хотя сдвиг ( $\delta_{13}$ , столбец 5) не-представляет пораженной машины *a* и увеличивается, но остается ниже, чем при полном разделении. Сдвиг фаз ( $\delta_{13}$ ) на станции уменьшается почти в половину по сравнению со случаем 1-м. При секционировании на стороне низкого напряжения (случ. 3, табл. 1) с теми же величинами реакторов ( $\frac{X_r}{X_s} = 1$ ) синхронизирующие силы на станции (столбец 1) возрастают по сравнению со случаем 2 более, чем втрое. Соответственно сдвиг уменьшается почти на одну треть.

Обстоятельства еще благоприятнее, если на станции работают 3 двухобмоточные генератора, соединенные в кольцо (см. рис. 4). Сдвиг фаз, при этом становится настолько малым, что в практике можно пренебречь.

Для того чтобы полностью охватить все действие аварии на устойчивость сети, необходимо изучить условия после выключения поврежденной линии. Это выключение сопровождается уменьшением запаса устойчивости по сравнению с нормальным режимом,—уменьшением, которое в неблагоприятных случаях может поставить под угрозу синхронную работу станции. Если из предыдущего изучения устойчивости во время аварии выяснилось, что условия становятся тем благоприятнее, чем сильнее секционирование, то в состоянии сети после выключения аварии секционирование имеет обратное влияние. Самая тесная связь между рассматриваемой станцией (4, рис. 1) достигается, когда все источники тока соединены непосредственно; тогда сдвиг фаз на станции не бывает. Поэтому для характеристики устойчивости достаточно знать значение  $P_{SA}$  и  $\delta_{SA}$ . В табл. 2 (столбцы 7 и 8) эти значения сперва даны для нормального режима (линиями передачи (строка первая); далее для случая выхода из строя одной линии при непосредственном соединении на стороне высокого напряжения (случай I) и при непосредственном соединении со стороны низкого напряжения (случай II). В последнем случае уменьшение синхронизирующих сил ( $P_{SA}$ ), а вместе с тем увеличение угла отклонения больше, чем в случае первом, объясняется тем, что при непосредственном соединении на стороне низкого напряжения при выключении линии выводится из строя и относящийся сюда трансформатор, работающий параллельно с обоими другими.

При разделении шин можно ожидать уменьшение запаса устойчивости, по сравнению со случаями I и II, так как связь ослабляется включенными реакторами. Это уже видно по величинам, приведенным в столбцах 7 и 8, вычисленным исходя из условия совпадения фаз всех э. д. с. на шине.

При секционировании на стороне высокого напряжения (случай 2, соответственно случаю 2, сл. 1) угол конечного состояния  $\delta_{SA}$  увеличивается по сравнению с непосредственным соединением (случай 1) с  $43^\circ$  до  $48^\circ$ . Для случаев 3а и 4а секционирование на стороне низкого напряжения

Таблица 2  
Сдвиг фаз между отдельными машинами станции после включения поврежденного провода

Случай	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	$P_{12}$	$P_{13}$	$P_{23}$	$\delta_{12}$	$\delta_{13}$	$\delta_{23}$	$P_{SA}$	$\delta_{SA}$	
—	—	—	—	—	—	—	1,8	34	Нормальный режим
I	—	—	—	—	—	—	1,46	43	$X_r = 0$ Соединение на стороне высокого напряжения
II	—	—	—	—	—	—	1,32	49	$X_r = 0$ Соединение на стороне низкого напряжения
2а	0,272	0,29	1,05	17	62	45	1,35	48	$\frac{X_r}{X_s} = 1$ На стороне высокого напряжения
3а	0,512	0,21	1,04	16	67	51	1,26	53	$\frac{X_r}{X_s} = 1$ На стороне низкого напряжения
4а	0,12	0,76	0,507	3,75	53,75	50	1,27	52	Двухобмоточные генераторы $\frac{X_s}{X_k} = 1$

(включение реакторов и применение двухобмоточных генераторов) сдвиг фаз увеличивается с  $49^\circ$  до  $53^\circ$  и  $52^\circ$ . Если принять во внимание сдвиг фаз на станции, получаем для сравнения с упрощенными предпосылками такую же картину, как на табл. 1 (условия во время аварии). Вследствие сдвига фаз на станции угол  $\delta_{13}$  непосредственно пострадавшей шины увеличивается, и уменьшается угол  $\delta_{23}$  второй группы машин, по сравнению со средней величиной  $\delta_{SA}$ . Самые большие углы получаются при секционировании со стороны низкого напряжения (случай 3а). Судя по этим величинам запас устойчивости так мал, что надежная параллельная работа находится под угрозой. Самый малый сдвиг фаз опять получается при применении двухобмоточных генераторов.

На основании приведенных здесь соображений могут быть сделаны некоторые выводы относительно выбора реакторов секционирования. Между тем, как при неучете сдвига фаз внутри станции, оказалось, что для понижения тока короткого замыкания и повышения устойчивости всего благоприятнее по возможности большие реакторы, здесь показывается неблагоприятное влияние слишком большого реактора. Это влияние вызывается тем, что подача тока от одной группы машин в разделенные реакторами секции шин вызывает падение напряжения, которое тем больше, чем больше реакторы. Этому падению напряжения соответствует сдвиг фаз на станции, следствием чего является увеличение сдвига фаз по отношению к остальной сети; запас устойчивости вследствие этого уменьшается.

Во время короткого замыкания, которое в этом отделье работы предполагается лишь со стороны

высокого напряжения, это неблагоприятное влияние оказывается сильнее, когда секционирование предусмотрено на стороне высокого напряжения. Для времени после выключения аварии, напротив того, менее благоприятно секционирование на стороне низкого напряжения.

Рассмотренные в отделе 2 числовые примеры показали, что для существенного понижения тока короткого замыкания и улучшения условий устойчивости уже достаточно выбрать реактанцы секционирования приблизительно такой же величины, как реактанцы рассеяния группы генераторов.

На основании дополнительных исследований этого отдела рекомендуется ни в коем случае не превышать этой последней величины.

## 5. Общие соображения относительно выбора схемы

Для выбора схемы коммутации на практике, кроме требуемого понижения токов короткого замыкания и улучшения устойчивости приходится считаться и с рядом других условий.

Для эксплуатации, между прочим, важно, каким образом нагружаются машины и трансформаторы после выключения аварии. Если сперва подойти к обоим видам секционирования, изображенным на рис. 1, с точки зрения можно установить следующее: когда предусмотрено секционирование на стороне низкого напряжения (место II, рис. 1), то при выключении поврежденной линии одновременно выключается и относящийся сюда трансформатор (при этом предположена авария на линии). Вследствие этого в то время, пока сохраняется полная мощность 3-х машин группы, остальные трансформаторы перегружаются каждый на 50%. При секционировании же со стороны высокого напряжения и при выключении линии, все машины и трансформаторы станции продолжают работать. Поэтому их нагрузка по сравнению с нормальной не изменяется до тех пор, пока включенные реактанцы на станции не станут слишком большими.

Если же отдельные отрезки шины совершенно отделены друг от друга ( $X_r = \infty$ ), то при выключении линии и относящиеся к ней генератор и трансформатор выходят из эксплуатации. Перегрузка остальных машин и трансформаторов зависит от общей мощности сети по сравнению с мощностью выключенной группы. Если мощность последней достаточно велика, ее выключение может повести к нарушению общей работы сети.

При двухобмоточных генераторах, соединенных в кольцо (см. рис. 4), при выключении поврежденной линии не только лишается тока относящийся сюда трансформатор, но лишается тока и каждая из двух обмоток обоих генераторов  $a$  и  $b$ , присоединенных к поврежденной линии, следст-

вием чего, пока мощности турбин остаются: изменными, является 100% перегрузка оставшихся двух обмоток статоров. Дальнейшая работа возможна без особого переключения, посредством которого достигается непосредственное соединение секций шин.

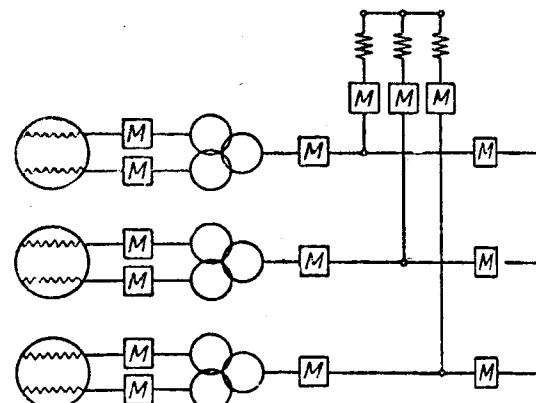


Рис. 8. Предлагаемая схема для двухобмоточных генераторов ( $M$ —масляный выключатель)

Об'единение в кольцо двухобмоточных генераторов неблагоприятно еще в том случае, когда отходящие от станции линии питают различные части сети. При этом большей частью оказывается необходимым регулировать напряжение мощность по возможности независимо друг от друга. При схеме, изображенной на рис. 4, достичь этого трудно, так как тут одна машина всегда питает две отходящие линии.

Употреблять двухобмоточные генераторы следует тогда, когда мощность одного генератора настолько велика, что токи короткого замыкания выходят за пределы токов, с которыми можно справиться.

По вышеприведенным причинам, повидиму не рекомендуется для секционирования соединения машины станции в кольцо.

Ввиду распределения токов после выключения одной линии и ввиду более легкого регулирования напряжения и мощности следовало бы отдать предпочтение схеме, изображенной на рис. 3. Здесь секционирование производится посредством реакторов на стороне высокого напряжения. Каждый генератор, по отдельности, через обмоточный трансформатор питает соответствующую линию.

Ясно, что выводы относительно выбора более благоприятной схемы, к которой мы шли на основании этих исследований, еще даются в проверке проектирующим инженером в каждом отдельном случае. Особенно существенны экономические соображения, которые могут иметь решающее значение. Однако рассмотрение этого выходит за пределы данной работы.

## В ОПЫТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НОВЫХ ЗАВОДОВ

### Из опыта электрооборудования Горьковского автозавода

Инж. Д. И. Анашкин  
ВЭО

При разработке проектов промышленных предприятий, как правило, приходится сталкиваться с такого рода нежелательным явлением, когда вопросы электроснабжения и распределения энергии приходится разрешать после того, как весь проект полностью закончен вплоть до его архитектурной части. В результате электрику приходится сталкиваться с рядом затруднений и ограничений, которые не позволяют ему технически правильно и рационально разрешать вопросы, связанные с рациональным распределением энергии на предприятии.

Целью настоящей статьи является то, чтобы на конкретном примере электрификации Горьковского автозавода показать, почему приводят такого рода игнорирование вопросов электрооборудования предприятия и приспособливание его под конец уже вполне законченному проекту во всех остальных частях.

#### Электроснабжение и распределение электроэнергии по заводу

Горьковский автозавод представляет собой громадное предприятие, которое при полной проектной мощности должно выпускать 140 000 машин в год. Автозавод включает в себя имеющиеся основные корпуса: литейный, кузнецкий, рессорный, прессовый, деревообделочный, механосборочный и ряд других подсобных предприятий. Каждый из вышеназванных корпусов состоит из отдельных цехов, разделенных технологическим процессом.

Электроснабжение автозавода осуществляется от собственной тэц, где установлено два турбогенератора по 12 MW, и от трансформаторной подстанции трехмя трансформаторами по 15 MVA, 115/6 kV, питаемые от Нигрэс. Трансформаторы предусмотрены для реверсивной работы, с каковой установлена регулировочные трансформаторы системы Фурана. Центральный распределительный пункт находится на тэц и состоит из четырех секций, причем на 1-й и 3-й

секциях работают генераторы тэц, а на 2 и 4 секциях — трансформаторы<sup>1)</sup>.

Питание каждого корпуса осуществляется от одной или нескольких цеховых подстанций напряжением 6000/400 V и мощностью от 1,5 до 7,5 MVA. Таких цеховых подстанций на Автозаводе имеется 12. Общая установленная мощность на цеховых подстанциях около 50 MVA.

Остановимся на распределении энергии двух отделов — механосборочного и прессового, схема распределения энергии в которых является характерной для всего завода.

#### Распределение энергии в механосборочном отделе

Механосборочный отдел питается от трех подстанций мощностью по 6 MVA. Каждая подстанция питается от центрального распределительного пункта тремя кабелями, из которых два приключаются к двум различным секциям питающей подстанции, а третий с перемычкой является резервным и приключается к любой из этих двух секций. Все три кабеля нормально работают, причем вся мощность в случае аварии с одним из кабелей может быть пропущена по оставшимся двум. Кроме того, предусмотрены кабельные перемычки между цеховыми подстанциями (нормально разомкнутыми). Такое питание запроектировано из условия бесперебойности работы отдела.

Кабели защищены на цеховой подстанции максимальными реле и реле направленного действия kW-5 Сименса. С низковольтной стороны подстанции при помощи отдельных фидеров, состоящих из кабеля 3×150, присоединены к общей сетке, от которой осуществляется питание отдельных групповых пунктов. Групповые пункты питаются в свою очередь около 20-30 моторов. Фидерные кабели от подстанции идут по траншею, а затем, поднимаясь по колоннам вверх, где разделяются воронка, через предохранитель SPO присоединяются к сетке. Предохранители выбраны на силу тока 500 A.

Сетка представляет собою трехфазную систему проводов, протянутых вдоль и поперек здания, имеющего в длину 500 м и ширину 90 м. На рис. 1 представлена схема одного конца сетки механосборочного отдела. Продольные магистрали сетки располагаются по пяти продольным рядам колонн отдела (A, B, C, D и E), к которым тяготеют потребители в виде групповых распределительных пунктов и крупных моторов. Поперечные магистрали, составляющие сетку, электрически соединены со всеми продольными магистралями; они служат для выравнивания токораспределения в сетке и питающих ее ка-

<sup>1)</sup> Так как темой данной статьи является распределение энергии по заводу и внутри цехов, считаем невозможным подробно останавливаться на описании станции.

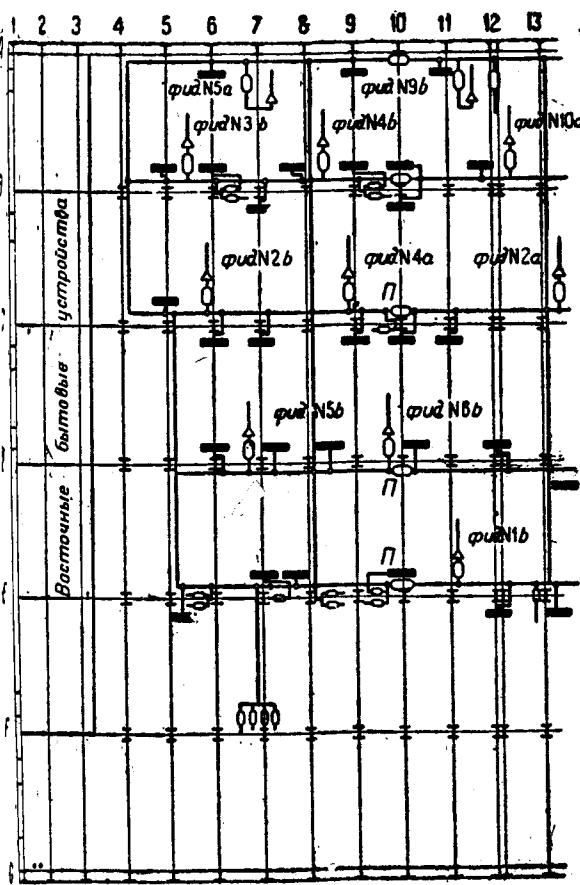


Рис. 1. Схема сетки механосборочного корпуса

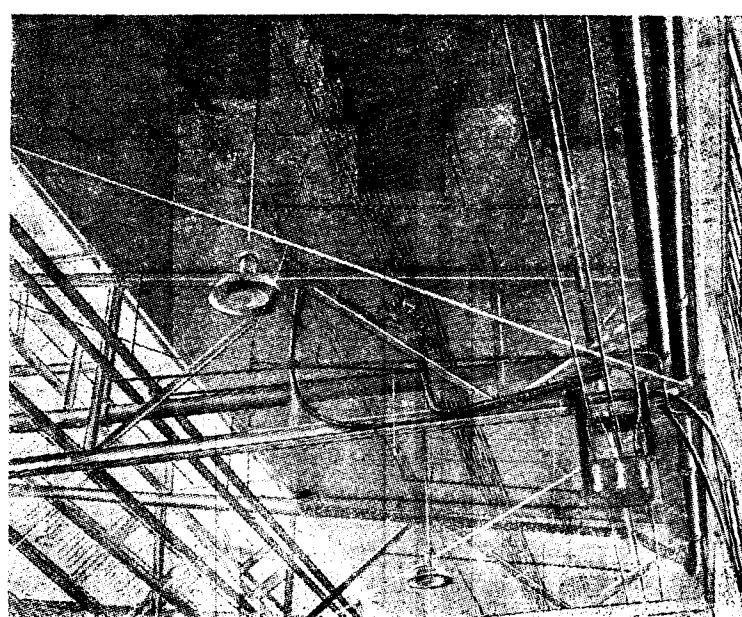


Рис. 2. Пример прокладки сетки и кабеля по конструкциям. Разделка муфты и присоединение через SPO на 500 A

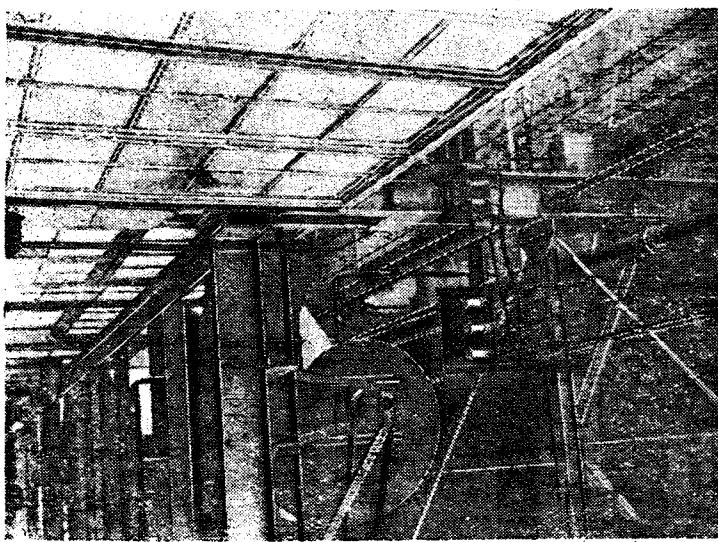


Рис. 3. Монтаж сетки и отпайка к машинам моторам. Установка промежуточных предохранителей SPO на магистрали сетки

белях, а кроме того, облегчают возможные перемещения потребителей и центра нагрузок в любых направлениях. Вся сетка может быть разделена на 3 самостоятельных части рубящими выключателями, и тогда питание каждой части осуществляется от отдельной подстанции.

Для ликвидации аварий в сетке, в продольных ее магистралях установлены предохранители SPO (рис. 2).

Сетка осуществлена изолированным проводом ПРН сечением 150  $\text{mm}^2$ . Продольные линии монтированы на изоляторах типа ШТФ-95, установленных под нижним швеллером фермы перекрытия (рис. 2 и 3). Провода проложены на гетинаксовых растяжках, которые были предварительно испытаны как электрически, так и механически. При электрическом испытании растяжек напряжением в 18 kV получался скользящий разряд по поверхности пластины, а при механическом испытании на растяжение временное сопротивление их было определено в 5 100  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

Поперечные составляющие сетки подвешены на скобках к тросу, который растянут на орешковых изоляторах. Все присоединения к сетке сделаны в скрутку с пропайкой мест присоединения. Групповые пункты изготовлены из гетинакса и закрыты листовым железом. Присоединение их к сетке выполнено проводом ПРН. Разводка к моторам осуществлялась кабелем СБН, причем на одну и ту же группу присоединены по несколько моторов. Кабели к моторам проложены под шашками торцового пола, в которых сделаны соответствующие выемки (рис. 4 и 5).

Ввиду сложности расчета сетки обычными методами был поставлен опыт в ВЭИ, в задачу которого входило найти наилучшее расположение мест присоединения питательных кабелей, а также распределение токов в сетке и в питающих кабелях.

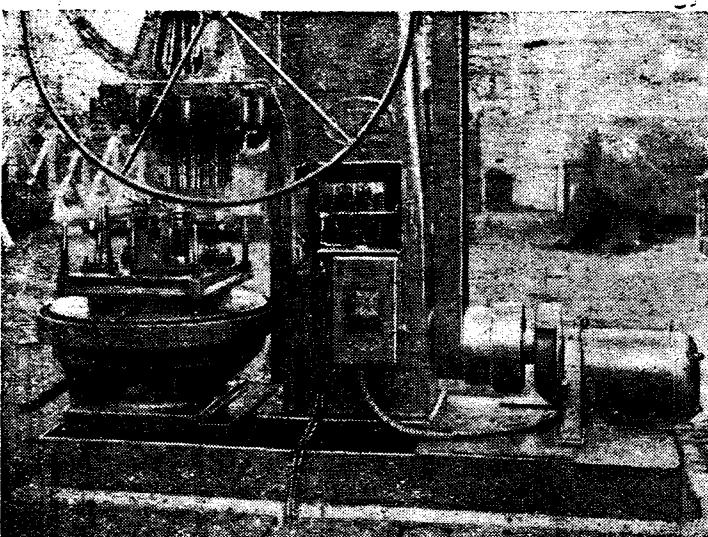


Рис. 4. Примеры монтажа пускового приспособления на станке и прокладки кабеля под шашкой

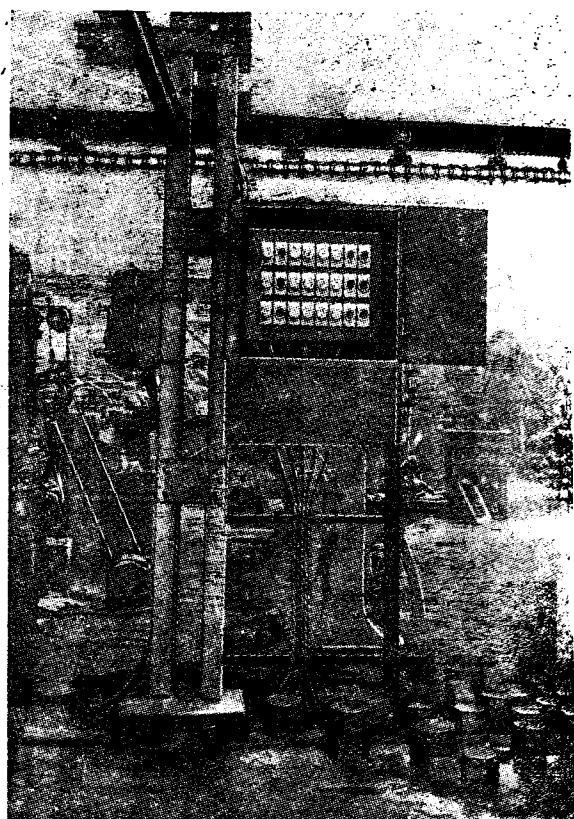


Рис. 5. Установка группового пункта и пример прокладки кабеля под шашкой

Методика расчета. При расчете принималось во внимание только омическое сопротивление сети и подвода кабелей и, кроме того, учитывалась только активная составляющая токов нагрузки. Как видно из рис. 6, получающаяся при этом ошибка невелика, так как она сводится к разности между напряжением  $OA = E_n + I E \cos \varphi$  и действительным полным напряжением сети  $OB$ . Такое допущение чрезвычайно упрощает все расчеты, так как позволяет сделать модель сети из одних только омических сопротивлений и пропустить все испытания с помощью постоянного тока. Модель была сделана следующим образом. На листе фанера натянута сетка из никелиновой проволоки диаметром 1  $\text{mm}$  в точности воспроизводящая конфигурацию данной сети. Это легко можно было сделать потому, что кабели сети и кабели, подводящие всюду имеют одно и то же сечение. Поэтому при изготовлении модели можно было использовать никелиновую проволоку одного сечения; оставалось только поддерживать геометрическое подобие модели и действительной сети. Все точки пересечения проволок были тщательно соединены.

Вместо питательных шин подстанции на фанере была проплена толстая медная шина, к которой припаивались питающие кабели. В качестве обратного провода были взяты кабельные шины, которые были укреплены на той же фанере сетью.

Масштаб сопротивлений модели получается следующим образом: 1  $\text{m}$  никелиновой проволоки, примененной для изготовления сети, имеет сопротивление 0,625  $\Omega$ ; 1  $\text{m}$  никелиновой проволоки соответствует в натуре 150  $\text{m}$  медного кабеля (строительный масштаб модели равен, следовательно, 1:15), а так как сопротивление 150  $\text{m}$  медных шин сечением 150  $\text{mm}^2$

$$R = \frac{150}{150 \cdot 57} = 0.0178,$$

то масштаб сопротивлений

$$k = \frac{0,625}{0,0178} = 35,6,$$

т. е. все сопротивления модели в 35,6 раза больше действительных сопротивлений сети. В том же масштабе сопротивления нагрузок, вычисляемые по формуле

$$R_n = \frac{E \cdot 36,5}{\sqrt{3} I_n \cos \varphi} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 1 \cdot 0,72} \cdot 36,5$$

для каждой нагрузки в отдельности.

Эти сопротивления были сделаны из никелиновой проволоки диаметром  $0,1 \div 0,2$  мм. Предварительно они тщательно измывались магнитом Уитстона, затем наматывались в виде катушки и присоединялись каждая на своем месте между распределительной сеткой и общими сборными шинами (к общему проводу).

Сети между шиной подстанции и общими сборными шинами было приложено напряжение 1,2 В, выбранное с таким расчетом, чтобы показания имеющегося в лаборатории чувствительного милливольтметра численно равнялись бы падениям напряжения в действительной сети прямо в вольтах. Зная зная и потенциалы всех точек схемы, можно было определить знатность потенциалов на каждом участке сети, а, поделив его известное сопротивление этого участка, можно было найти ток в нем.

Таким образом все измерения на модели сводились к измерению потенциалов в разных точках сети. Последние производились чувствительным милливольтметром с помощью компенсационной схемы (рис. 7). Последнее было необходимо потому, что иначе присоединение милливольтметра к каким-либо двум точкам схемы неизбежно изменило бы распределение токов и изменило бы самые потенциалы этих точек.

Измерения с помощью компенсационной схемы производились следующим образом. К клеммам милливольтметра с помощью потенциометра  $R$  подавалось некоторое напряжение с помощью батареи  $B$ . Милливольтметр как раз и показывал это напряжение. Затем от клемм милливольтметра шли провода  $a$  и  $b$ , причем в цепи одного из них находился гальванометр  $G$ . Если приложить концы проводов  $a$  и  $b$  к каким-либо двум точкам, между которыми требуется узнать разность потенциалов, то гальванометр, вообще говоря, отклоняется. Однако можно добиться того, чтобы этого отклонения не было. Для этого нужно только, чтобы напряжение на милливольтметре, установленное с помощью потенциометра  $R$ , совпадало с измеряемому напряжению. Таким образом, добившись того, чтобы показание гальванометра равнялось нулю, получаем искомое напряжение и отсчитываем его непосредственно на милливольтметре. При этом по проводам  $a$  и  $b$  не течет никакого тока и, следовательно, измерение производится без какого бы то ни было изменения режима цепи. Используя этой схемы были замерены на модели потенциалы изумных точек схемы и всех мест присоединения питательных кабелей.

Результаты измерения для последнего из рассмотренных схем приведены в табл. 1, причем там указаны уже знатные собственно потенциалы, а падения напряжения от станции до данного пункта сети. Напряжения даны между шинами. Зная потенциалы во всех узлах сети, оказалось возможным рассчитать и токи по всем ветвям.

Расположение питательных пунктов, вернее мест присоединения питательных кабелей, принятое в последнем варианте, оказалось наиболее удачным (все кабели оказываются при нагруженными достаточно равномерно, и нагрузка их превосходит предельного значения, принятого равным 400 А). Коэффициент одновременности 0,75 это соответствует питательному току в кабеле:

$$400 \cdot 0,75 = 300 \text{ A}$$

При сечении 150  $\text{mm}^2$  является вполне допустимым.

Таблица 1

Падения напряжения в узлах

№ имя	Падение напряже- ния mV	Узлы	Падение напряже- ния mV	Узлы	Падение напряже- ния mV	Узлы	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
							50	0	20	90	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1-5	5,0	$B-22$	2,58	$D-8$	5,41		0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
1-6	5,1	$A-23$	2,41	$E-8$	5,76		0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	4	
1-7	6,37	$E-23$	3,2	$A-13$	3,51		0	100	0	50	120	120	0	50	0	0	0	0	50	0	0	0	5	
1-8	4,12	$D-24$	2,92	$B-13$	3,71		0	120	0	50	75	75	0	50	5	0	0	0	50	0	0	0	6	
1-9	4,57	$C-25$	2,7	$D-13$	4,46		0	110	0	50	100	110	0	0	5	0	0	0	25	0	0	0	7	
1-10	4,65	$B-26$	2,79	$E-13$	4,7		0	120	0	50	140	130	10	100	5	0	0	0	60	0	0	0	8	
1-11	5,01	$A-27$	2,49	$A-18$	3,1		0	50	0	25	110	110	0	50	0	0	0	50	0	0	0	0	9	
1-12	5,1	$E-27$	3,22	$B-18$	2,95		0	120	0	50	140	130	10	80	5	0	0	0	80	0	0	0	10	
1-13	3,49	$D-28$	2,94	$C-18$	3,19		0	135	0	70	135	140	10	50	30	10	10	10	15	60	0	0	0	11
1-14	3,8	$C-29$	2,71	$E-18$	3,71		0	100	0	50	120	120	10	20	10	10	0	10	0	50	0	0	0	12
1-15	3,91	$B-30$	3,01	$B-23$	2,69		0	25	0	15	100	100	5	15	10	0	10	10	50	0	0	0	1	
1-16	4,2	$A-31$	2,84	$C-23$	2,85		0	19	10	15	120	100	10	20	20	20	50	10	10	100	0	0	0	2
1-17	4,4	$D-31$	2,91	$D-23$	3,02		0	150	0	50	0	120	0	150	—	50	50	14	10	150	0	0	0	3
1-18	3,12	$C-32$	2,84	$A-28$	2,67		0	160	0	60	0	120	10	50	60	60	50	105	150	—	—	—	4	
1-19	3,1	$B-19$	2,7	$B-28$	2,89		0	145	0	50	0	110	10	20	50	50	50	100	140	—	—	—	5	
1-20	3,25	$B-14$	5,03	$C-28$	2,83		0	140	0	50	0	100	10	15	50	40	45	100	120	—	—	—	6	
1-21	3,44	$C-4$	5,35	$E-28$	3,29		0	50	0	50	0	100	10	20	20	20	20	50	100	—	—	—	7	
1-22	3,52	$D-4$	5,7	$B-33$	3,18																			
1-23	3,19	$A-8$	4,15	$C-33$	2,93																			
1-24	2,8	$C-8$	4,87	$D-32$	3,2																			

Эксплуатационные данные. Ввиду того, что распределение энергии в виде сетки впервые в СССР осуществлено на Автозаводе, то не безынтересны являются некоторые эксплуатационные данные, характеризующие распределение энергии по ней. Фактическое распределение токов по фидерам на западной подстанции указано в табл. 2. Подстанция средняя, в виду чрезвычайно преувеличенной мощности, запроектированной для цеха, законсервирована; таким образом питание всего корпуса будет производиться лишь от двух подстанций — западной и восточной.

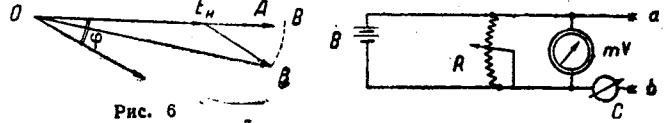


Рис. 6

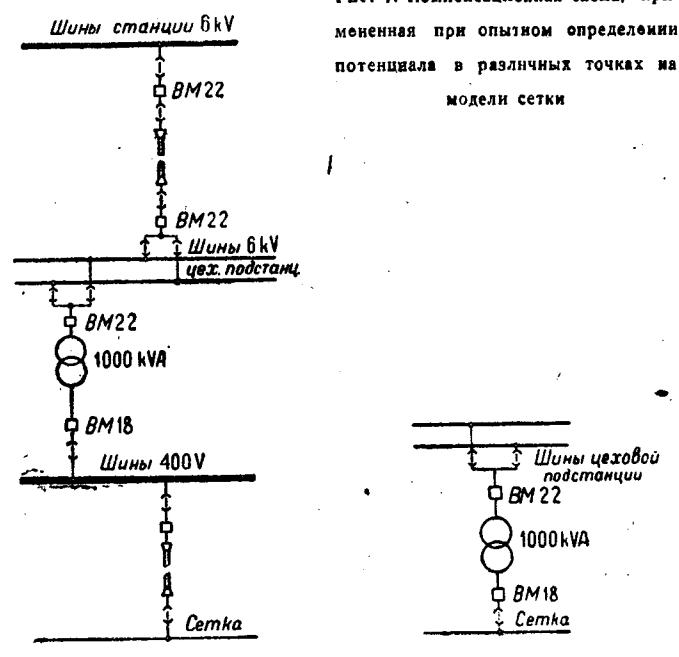


Рис. 7. Компенсационная схема, примененная при опыте определении потенциала в различных точках на модели сети

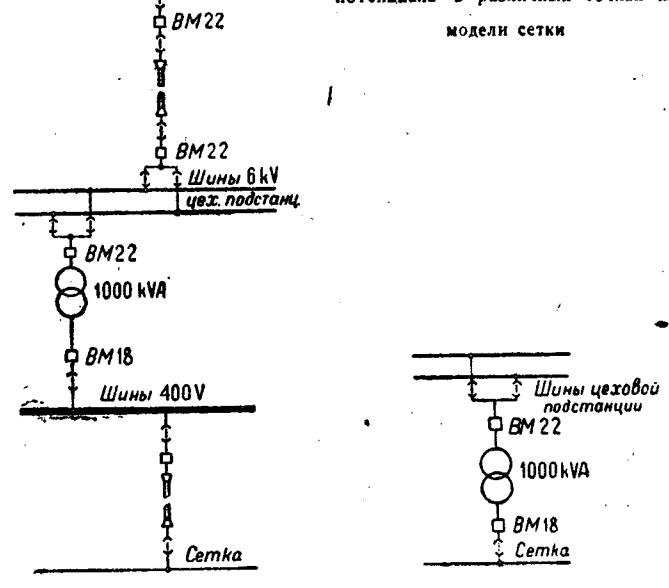


Рис. 8

Рис. 9

Западная механосборочная подстанция

№ фид. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Часы	
0	50	0	20	90	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
0	50	0	0	5	50	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	4	
0	100	0	50	120	120	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	5	
0	120	0	50	75	75	0	50	5	0	0	0	0	0	50	0	0	6	
0	110	0	50	100	110	0	0	5	0	0	0	0	0	25	0	0	7	
0	120	0	50	140	130	10	100	5	0	0	0	0	0	60	0	0	8	
0	50	0	25	110	110	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	9	
0	120	0	50	140	130	10	80	5	0	0	0	0	0	80	0	0	10	
0	135	0	70	135	140	10	50	30	10	10	10	10	10	15	60	0	0	11
0	100	0	50	120	120	10	20	10	10	0	10	0	0	50	0	0	12	
0	25	0	15	100	100	5	15	10	0	10	10	0	0	50	0	0	1	
0	19	10	15	120	100	10	20	20	20	50	10	10	100	0	0	0	2	
0	150	0	50	0	120	0	150	—	50	50	14	10	150	0	0	0	3	
0	160	0	60	0	120	10	50	60	60	50	105	150	—	—	—	—	4	
0	145	0	50	0	110	10	20	50	50	50	50	100	140	—	—	—	5	
0	140	0	50	0	100	10	15	50	40	45	100	120	—	—	—	—	6	
0	50	0	50	0	100	10	20	20	20	20	50	100	—	—	—	—	7	

Из табл. 2 можно усмотреть, что нагрузка по фидерам распределена далеко не равномерно, хотя кабели, питающие сеть, имеют одинаковые сечения и одинаковую длину, а следовательно, одинаковое сопротивление. При обследовании нагрузки в цехе обнаружено, что станки работают в это время в районе присоединения кабеля к сетке, а в районе фидера, менее нагруженного, станки работают меньше. При отключении нагруженного фидера его работа распределялась по другим фидерам. Затем был произведен опыт включения станков в работу в районе присоединения ненагруженного кабеля к сетке, и нагрузка его начинала расти. Просмотренные на выдержку за несколько предыдущих дней таблицы нагрузок фидеров показывают, что в один и тот же час фидер нагружен примерно одинаково, что говорит о некоторой одинакости расположения нагрузок в цехе.

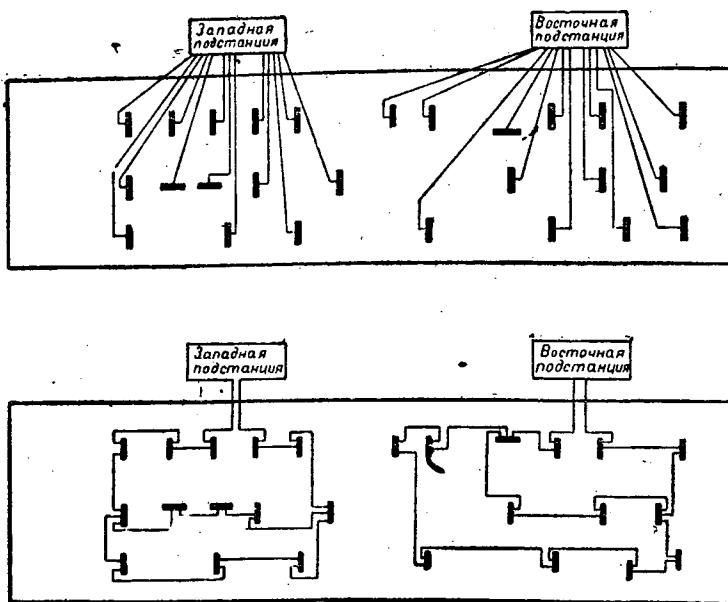


Рис. 10. Радиальное питание *a* силовых центральных пунктов и резервные кольца *b*, соединяющие силовые центральные пункты в прессовом корпусе.

В сетке предусмотрена защита отдельных участков предохранителями SPO—на 500 А, но, учитывая, что процесс сгорания предохранителя длителен, и питающие сетку фидеры имеют защиту (максимальные катушки, встроенные в привод), то при коротких на сетке отключались масляные выключатели ВМ-5. Ввиду того что в начале эксплуатации, когда в цехе было много времянок и все они были присоединены к сетке, фактически, короткое во времянках было коротким и в сетке. Были отключения опять-таки всей сетки масляными выключателями благодаря неправильной эксплуатации групповых пунктов—шинки пунктов перекрывались, что было тем же коротким на сетке.

Но с устранением всех этих недостатков последние месяцы работа сетки вполне удовлетворительна, никаких перебоев в работе не происходит, и обслуживающий персонал вполне удовлетворен работой сетки. Большим преимуществом сетки является также наглядность ее.

Рассматривая все указанные факты, необходимо сказать, что установленные предохранители в магистралях сетки ничем не оправдались, и в случае применения таковой в других проектах они должны быть выкинуты. Если считать, что они могут служить для целей отсечения отдельных участков, то при рассмотрении схемы видно, что для того, чтобы произвести отключение какого-либо пункта, необходимо отключить до 40 SPO, что чрезвычайно затруднительно; вместе с тем предохранители ослабляют сетку, так как создаются лишние места, где может произойти короткое. Факты отключения всей сетки в случае короткого замыкания создают, понятно, перебои в работе всего корпуса, что не имеет места при радиальном питании. При применении сетки необходимо стремиться к устранению возможностей коротких на самой сетке, что вполне возможно при изолированном проводе.

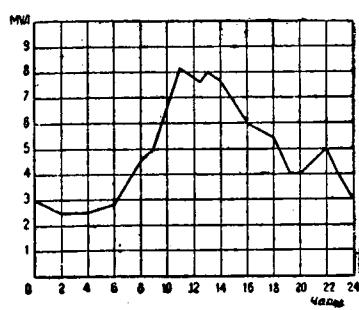


Рис. 11. Суммарный суточный график нагрузки

Если мы вернемся к рассмотрению схемы от центрального распределительного пункта через цех подстанции до сетки, то получается следующая упрощенная схема: от шин станции энергия подходит к подстанции, где она через  $6 \div 7$  параллельно работающих трансформаторов трансформируется на напряжение в 400 V и через масляный выключатель ВМ-18 присоединяется к сборным шинам 400 V. Далее, от сборных шин 400 V отходят отдельные фидеры через ВМ-5, которые

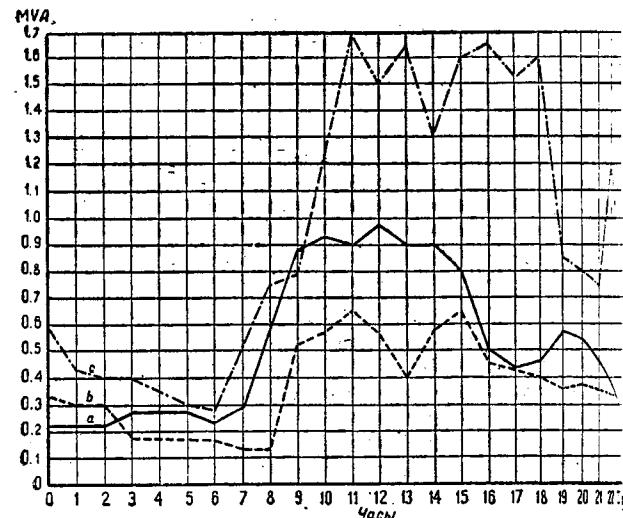


Рис. 12. Суточные графики нагрузки: *a* — литьевой корпус (установленная мощность 7 MVA); *b* — прессовый корпус (установленная мощность 13 MVA); *c* — механосборочный корпус (установленная мощность 18 MVA)

1) Так как темой данной статьи является распределение энергии во воду и внутри цехов, счищаем невозможным подробно останавливаться на описании стаций

непосредственно присоединяются к сетке. Несомненно, при рассмотрении этой схемы возникает вопрос о том, сколько необходимо и целесообразно наличие сборных шин 400 V, так как сетка сама уже является как бы системой рельсовых шин. Действительно, если бы было запроектировано не по схеме рис. 8, а по схеме рис. 9, где трансформаторы разбросаны по самому корпусу, а управление с высоковольтной стороны трансформаторов сосредоточено в одном центральном распределительном пункте, то, ничуть не уступая удобства эксплуатации, мы имели бы экономию около 60 масляных ВМ-5, 180 однополюсных разъединителей, 3 т алюминиевых сотни опорных изоляторов, 41,7 т меди в кабелях и около 7 т свинца.

#### Распределение энергии в прессовом корпусе

Другим типом распределения энергии является прессовом корпусе. В части питания до шин 400 V цепь подстанции схема остается той же, разница в схеме начиная от шин 400 V. Как видно из схемы рис. 10 *a* и *b*, центральные пункты разделены на 2 группы и каждая из них питается двух подстанций отдельными самостоятельными фидерами. Кроме того, все центральные пункты каждой группы соединены между собой в кольцо, причем последнее в свою очередь имеет свое самостоятельное питание от той же цеховой станции. Кольцо является резервом, нормально оно разомкнуто и замыкается только в случае аварии того или иного фидера. Каждое резервное кольцо охватывает район действия одной подстанции. Если применить принцип разбросывания трансформаторов по цеху с питанием их с высоковольтной стороны от распределительного пункта, а с низковольтной — непосредственно присоединять к кольцу, то такое решение вопроса распределения энергии по корпусу является, несомненно, более гибким и целесообразным и не требует дополнительных резервных подводок. В результате применения такой схемы выбрасываются все кабели радиального питания в количестве свыше 10 000 м, т. е. свыше 41,5 т меди и 20 т свинца, 40 масляников ВМ-5, 120 разъединителей и алюминиевых шин. Делая такую модификацию по всему корпусу, экономия могла бы достигнуть 150 т меди и примерно 75 т свинца около 200 масляников ВМ-5, 600 разъединителей, тысячи изоляторов, 10-11 т алюминиевых шин. Не было бы затрачивать и громадного количества человеческого монтажного персонала.

#### Эксплоатационные данные

Необходимо остановиться несколько на эксплоатационных данных завода.

Суммарный суточный график нагрузки в октябре 1955 г. представлен на рис. 11. Установленная же мощность, как это звучалось ранее, выражается в 50 MVA. Суточные графики нагрузки механосборочного, литьевого и прессового корпусов показаны на рис. 12, под рисунком приведены установленные мощности этих корпусов. На подстанциях данного корпуса видно из приведенного материала, нагрузки как

иных корпусах, так и общая нагрузка завода значительно отличается от установленной мощности.

Изучив факт преувеличения установленной мощности властами, мы приходим к выводу, что как коэффициенты токов, так и коэффициенты одновременности, данные американской консультацией, значительно преувеличены. Отчасти причиной преувеличения мощности является и следующее обстоятельство: фирма, поставлявшая станки, обычно указывала максимальную мощность, потребную для станка (например, 9 kW). При подборе мотора к станку за границей по нормальным моторам указанной мощности не оказывалась, и тогда брали ближайшую большую (например, 12 kW). Мощность и указывалась на чертеже. Затем в СССР проектировали, подбирая мотор по нашим таблицам и не зная мощности, фактически потребной для станка, а видя на чертеже лишь нормы станков с указанием мощности, в случае отсутствия мотора такой мощности по нашей нормальной шкале пришлось опять ближайший больший. Необходимо указать, что мощности, указываемые фирмой, относились к максимально возможным мощностям. Подбор же мотора по этой максимальной мощности также является неправильным, так как в момент заправки и выемки детали мотор разгружен, а, следовательно, обмотка его охлаждается. Поэтому мотор должен работать по эффективной мощности.

Все эти обстоятельства привели к тому, что мощности подбирались чрезвычайно велики, и если принять во внимание неполную загрузку цехов и допустить увеличение мощности даже в 4 раза по сравнению с существующей в наше время, то и тогда по таким подстанциям, как литейная и машиностроительная, прессовая, кузнецкая в этом случае не превышает лишь до 50% загрузки подстанций.

В обследованных 417 сверлильных станков общей мощностью 1142,7 kW представляется возможным изъять 327,2 kW, что составляет 30% всей обследованной мощности. Из обследованных 414 прессов общей мощностью 2437,5 kW можно

изъять 542,5 kW, что составляет примерно 25% обследованной мощности.

Преувеличение мощности отразилось и на  $\cos \varphi$ . В табл. 3 по данным Энергобюро приведены значения  $\cos \varphi$  по отдельным цехам в некоторые дни августа и сентября 1932 г.

Наименование отделов	Число месяца	Август		Число месяца	Сентябрь	
		сред- нее	по счетчику		Сред- нее	по счетчику
Литейный . . .	6	0,68	0,71	19	0,6	0,71
Водозаборный . .	6	0,7	0,84	10	0,51	0,33
Кузница I . . .	8	0,37	0,4	—	—	—
Ремонтный . . .	14	0,38	0,11	13	0,52	0,64
Деревообделочный . . .	25	0,64	0,48	—	—	—
Литейная печь ВЭО . . .	—	—	—	7	0,34	0,44

### Заключение

Вопрос о чрезмерной установленной мощности и в связи с этим с большим количеством излишне установленной аппаратуры должен быть как-то решен. В течение полутора лет на Автозаводе лежит на складе и установлено большое количество неиспользованных трансформаторов, масляных выключателей, трансформаторов тока, разъединителей и т. п., в то время как другие стройки нуждаются в этой аппаратуре. Вопрос этот должен решиться не только относительно Автозавода. Должна быть создана авторитетная правительственная комиссия, которая выявила бы излишки оборудования на всех стройках.

## РЫБУНА ЧИТАТЕЛЕЙ

### Рациональное напряжение на зажимах синхронных генераторов большой мощности

Проф. Н. Ф. Перевозский  
Москва, з-д Динамо

Под генератором большой мощности в последнем изложении разумеются такие его величины, при которых соединение генератора с положительным трансформатором производится напрямую, без включения каких либо приборов и без генераторных шин, а генератор-трансформатор являются один действующий агрегат. Эта схема применяется обычно при мощности генератора выше 25 MVA в единице. Так как непосредственное использование генераторных зажимов в данной схеме не допускается, то можно поставить вопрос, не рациональнее ли конструировать обмотку и магнитопровод статора не по заданному направлению, а наоборот, получать напряжение, подавая из определенной обмотки, и получать такое напряжение на зажимах, которое определяется данной конструкцией обмотки и мощностью генератора. Для решения поставленной задачи необходимо выяснить связь между мощностью, электромагнитными нагрузками и размерами машины. Связь единиц:

$$3 \cdot e \cdot I \cdot 10^{-3} = P_{\text{kVA}}, \quad (1)$$

где  $e$ —напряжение одной фазы в вольтах,  $I$ —ток одной фазы в амперах,  $P_{\text{kVA}}$ —мощность трехфазной машины в киловольтамперах.

Затем подстановки

$$e = 4,44 w f f_1 \Phi \cdot 10^{-8} \text{ V} \quad (2)$$

имеем:

$$P = 3 \cdot 4,44 w f f_1 \Phi I \cdot 10^{-11} \text{ kVA} \quad (3)$$

Здесь обозначают:  $w$ —число эффективных витков на фазу,  $f_1$ —коэффициент обмотки,  $\Phi$ —поток одного полюса в гауссах,  $f$ —частота, равная  $pn/60$ , где  $p$ —число пар полюсов и  $n$ —число оборотов в минуту.

Далее, видоизменяя равенство (3). Принимая во внимание, что:

$$\Phi = \frac{\pi D a l_i B_e}{2 p}, \quad (4)$$

где  $D$ —диаметр якоря в см,  $a$ —отношение полюсной дуги к полюсному делению,  $l_i$ —идеальная длина железа в см,  $B_e$ —индукция в воздушном зазоре в гауссах, и что

$$B_e = B_s \frac{b}{t} \frac{l_{Fe}}{l_i}, \quad (5)$$

где  $B_s$ —индукция в зубцах статора в гауссах,  $\frac{b}{t}$ —отношение ширины зубца к шагу зубца,  $\frac{l_{Fe}}{l_i}$ —отношение длины железа нетто к идеальной длине.

Принимая во внимание, что  $p = \frac{60 f}{n}$ , получаем:

$$\Phi = \frac{\pi D n}{6} \frac{b}{t} B_s \frac{a l_{Fe}}{2 f} \quad (6)$$

Подстановкой (6) в (3) после необходимых сокращений получаем:

$$P_{\text{kVA}} = 6,66 w I f_1 \frac{\pi D n}{60} \frac{l}{t} B_s \alpha l_{Fe} \cdot 10^{-11}. \quad (7)$$

Но  $\frac{\pi D n}{60} = 100 v$ , где  $v$ —окружная скорость ротора в  $\text{m/sec}$ , а  $wI = \frac{S \Delta \cdot 100}{6}$ , где  $S$ —сумма сечений меди по всем пазам в  $\text{cm}^2$ , а  $\Delta$ —плотность тока в  $\text{A/mm}^2$ . Подставляя эти значения в (7) получим:

$$P_{\text{kVA}} = 1,11 f_1 S \Delta v B_s \frac{b}{t} \alpha l_{Fe} \cdot 10^{-7}. \quad (8)$$

Полученное равенство можно прочесть так: от машины данных активных размеров ( $v, l_{Fe}$ ) можно получить мощность пропорционально сумме сечений меди, плотности тока и индукции в активном слое индукции в зазоре (или индукции в зубцах, связанных между собой в основном множителем  $\left(\frac{b}{t}\right)$ ), остальные коэффициенты равенства (8) можно считать для наших рассуждений константами, так как они колеблются в очень небольших пределах и выбираются не столько в зависимости от использования машины, а главным образом, диктуется соображениями ограничения величины высших гармонических полей. В этой связи нас в первую очередь интересует величина  $B_s \frac{b}{t}$ . Эта величина может быть выбрана значительно большей в машинах с полузакрытыми пазами, чем в таковых с открытыми,—увеличение возможно порядка 15%. Возможность и рациональность такого увеличения обясняется тем, что картеров коэффициент, определяющий в основном величину добавочных пульсационных потерь в зубцах статора и поверхностных потерь на полюсе, имеет меньшую величину при полузакрытых пазах и, следовательно, допустимые потери в зубцах могут быть при полузакрытых пазах получены за счет основных потерь, т. е. является возможным повысить  $B_s \frac{b}{t}$ . С другой

стороны, конструкция магнитопровода статора с открытыми пазами вызвана, главным образом, соображениями технологического характера. Получение правильной изоляции многовитковой катушки-секции возможно лишь на отдельно формованной секции, а для укладки ее в статор требуются открытые пазы. Но если выполнять обмотку всегда с 2 активными стержнями в пазу, то вполне возможно рационально использовать и полузакрытый паз, изолируя стержни на стороне, заводя их в пазы с торца и выполняя лобовые соединения отдельными вилками. При такой конструкции мы получаем двухслойную обмотку

решетку, у которой нормально осуществляется рациональное сокращение шага в целях ограничения гармонических от пульсации м. д. с. Такой обмотке напряжение на борнах получится уже не какое-либо наперед заданное, а определяющееся величиной магнитного потока и числом пазов. Если число пазов статора машины, число витков каждой фазы трехфазной машины при последовательном соединении всех стержней каждой фазы будет  $\frac{z}{3}$ , напряжение каждой фазы определится:

$$e = 4,44 \Phi \frac{z}{3} f f_1 \cdot 10^{-8} \text{ V}.$$

При этом получаются напряжения, значительно пониженные против обычно применяемых, и, несомненно, не совпадающие в общем случае с шкалами нормальной шкалы. Получающийся в таком естественном напряжении большой ток машины не представляет конструктивных затруднений после того, как в практику машиностроения прочно вошли витые стержни. Получающееся ненормированное напряжение требует относительно тонких слоев изоляции стержня, вследствие чего, с одной стороны, можно повысить плотность тока для достижения того же тока при падающей температуре между железом и медью, повышает использование материала, а с другой стороны, тонкие слои изоляции обладают повышенной надежностью. При такой конструкции обмотки самым важным ее преимуществом перед обмоткой с многовитковыми секциями является обстоятельство, что между витками получается такая же изоляция, как и изоляция стержня против корпуса и даже более сильная, так как она повторяется дважды в двух слоях обмотки. Это создает конструкцию, практически неуязвимую в отношении виткового пробоя.

Можно было думать, что соединения между статором и трансформатором при больших токах потребуют много избыточной меди, а алюминия и тем самым сделают невыгодной естественную обмотку, однако ряд подобных показывает, что экономия меди от возможности применения повышенной плотности тока избыточном покрывает увеличение проводникового материала на соединениях между машиной и трансформатором. Построение мощных трансформаторов для повышенных токов и ненормированного напряжения не представляет никаких технических затруднений и не вызывает чувствительных добавочных затрат материала. То небольшое повышение суммарного реактора, которое получается у машины с полузакрытыми пазами в сравнении с таковой с открытыми, не приносит никаких затруднений и может быть опущено в сравнительном рассмотрении обоих типов.

Проф. Р. А. Лютер  
Завод „Электросила“ Ленинград

Основное положение автора о том, что рациональная конструкция обмотки мощной синхронной машины определяется возможностью выполнения ее с двумя стержнями в пазу (двухслойного типа), по моему, совершенно правильно.

На заводе „Электросила“ мы определились для крупных генераторов проектировать обмотку с двумя стержнями в пазу и при этом возможностью обеих стержней для того, чтобы не бегнуть тяжелых междуполюсных соединений. Этому типу выполнены обмотки генераторов Ронгеса и Земоавчалы (второй очереди).

и отметить, что обегающие обмотки требуют в дробном числе пазов на полюс и фазу некоторых специальных числовых соотношений. Самое лучшее положение проф. Перевозского о том, что для генераторов, непосредственно соединенных со своим повышающим трансформатором, обязательно придерживаться стандартных выражений, также правильно для случаев, когда выполнение обмотки для стандартного напряжения затруднено.

Однако выведенная проф. Перевозским формула для напряжения на фазу машины с двумя стержнями в пазу требует корректива на число полюсных ветвей обмотки, которое обычно для больших машин получается равным двум. При последовательном соединении всех стержней одной фазы по формуле проф. Перевозского мы получили бы для Днепровской машины напряжение на фазу:

$$E_1 = 4,44 \cdot 38 \cdot 10^6 \cdot \frac{600}{3} \cdot 50 \cdot 0,94 \cdot 10^{-8} = \\ = 16000 \text{ V,}$$

Линейное напряжение  $E_1 = 16000 \cdot \sqrt{3} = 27600 \text{ V}$ , т. е. вдвое повышенное против практически примененного, а не "значительно пониженное" (!) напряжение, против обычно применяемого, как указывает проф. Перевозский.

Для крупных машин с двуслойными стержнями обмотками правильнее дать поэтому формулу:

$$E_1 = 4,44 \Phi \frac{z}{3a} f f_1 \cdot 10^{-8} \text{ V.}$$

Для машин свыше 25 MVA, о которых пишет проф. Перевозский, а практически всегда будет выше 2, как это яствует из соображений объема паза из таблицы ориентировочных напряжений, к которым следует стремиться для крупных генераторов.

Мощность MVA	Ориентировочное напряжение kV	Сила тока на фазу равна объему тока на паз при 2 стержнях в пазу и 2 параллельных ветвях A
30	6,3	2750
60	10,5	3300
90	13,2	3750
125	15,75	4550

Конструктивным оформлением двуслойной стержневой обмотки, предлагаемой проф. Перевозским, никак нельзя согласиться. Из вышеприведенной таблицы ясно, что даже при 2 параллельных ветвях в обмотке (больше 2 параллельных ветвей для обегающих обмоток брать нечестно) мы обычно получим в крупных машинах напряжения от 10500 до 15750 V. Для таких напряжений рекомендуемые проф. Перевозским полузакрытый паз и обмотка из плетеных стержней с массивными соединительными вилками мало годны по следующим соображениям.

При полузакрытых пазах плотность прилегания стержней к пазу значительно меньшая, и теплопередача ухудшается, и со временем возрастает избухание стержней пагубная для долговечности обмотки внутренняя ионизация; кроме того, стержней со временем страдает от вибрации, наконец, озонирование интенсивнее, так как проводящий слой легко повреждается при попадании в полузакрытый паз.

2. При полузакрытых пазах неприменима непрерывная изоляция полушаблона, целиком прокомпаудированная, дающая крупные преимущества высоковольтным обмоткам.

3. Обмотка с плетеными стержнями и массивными соединительными вилками по сравнению с обмоткой из американских полушаблонов имеет:

- повышенный расход меди,
- повышенные добавочные потери,
- увеличенное число пакетов.

Преимущества полузакрытого паза и рекомендуемого типа стержневой обмотки, на которые указывает проф. Перевозский, основаны на недоразумении. Коэффициент Картера влияет лишь на добавочные потери на поверхности полюсных башмаков, но не вызывает никаких пульсационных потерь в зубцах статора; поэтому применение открытого паза не снижает использования синхронной машины. Потери, вызываемые открытым пазом на поверхности полюсных башмаков, при современных высоко использованных синхронных машинах с относительно большим зазором получаются весьма незначительными (для Днепровской машины около 0,07%).

В заключение следует отметить, что американская практика предпочитает катушечные обмотки, как более дешевые по сравнению с обмотками из плетеных стержней. Ярким примером этому служит Днепровская машина, имеющая двухвитковые катушки (без плетения, но со скруткой в лобовых частях) при четырех параллельных ветвях. Днепровская машина при существующем числе пазов могла бы быть выполнена с двумя плетенными стержнями в пазу при двух параллельных ветвях, однако, GE предпочла выполнить обмотку катушечного типа.

Инж. Ю. А. Шредер  
ВЭО

Статья проф. Н. Ф. Перевозского касается синхронных генераторов мощностью свыше 25 MVA. Автор, главным образом, предлагает:

- наглоухо соединять генератор и повышающий трансформатор;
- не стандартизировать напряжение на клеммах таких генераторов, а допускать то напряжение, которое получится при рациональной обмотке (двуслойная: 2 стержня в пазу);
- применять полузакрытые пазы, витые стержни и вилочные лобовые соединения;
- делать генераторы для меньшего напряжения, чем это теперь практикуется.

Я всецело присоединяюсь к мнению т. Перевозского по пп. 1 и 2.

При глухом соединении крупных генераторов с повышающими трансформаторами параллельное их соединение происходит на высоковольтной стороне, где в цепи включены и реактансы трансформаторов, и поэтому токи короткого замыкания меньше; получается экономия на реакторах и разрывной мощности масляников; сглаживаются до входа в обмотки генератора крутые волны, уменьшаются механические усилия на лобовых частях обмоток от коротких замыканий на линии передачи.

Также следует считать целесообразным представление "свободного" выбора напряжения генератора с тем, чтобы применить наиболее надежную и простую обмотку генератора, ибо при

глухо связанным генераторе с трансформатором не допускается частичный отвод электроэнергии от клеммы и поэтому напряжение на клеммах генератора является чисто "домашним" вопросом заводов, изготавливающих генератор и трансформатор. Но к этому пункту отмечаю, что не следует и нет даже возможности выбрать напряжения значительно ниже ныне намеченных. Мотивировка следует в связи с дискуссией по п. 4.

С предложениями, суммированными в п. 3, я не согласен.

Полузакрытые пазы влекут за собою применение "витых" стержней и вилочных соединений. Витой стержень и вообще все разновидности транспозиции в каждом индивидуальном стержне чрезвычайно дороги и кропотливы в изготовлении; я предпочитаю везде, где это применимо, метод транспозиции по Тейлору.

Я также считаю необходимым избегать вилочных соединений, ибо места соединения стержней с вилками, представляя собою более или менее массивные блоки меди и находясь в относительно сильном поле рассеяния, являются очагами значительных добавочных потерь и горячими "точками". Для частичной репрессии этих потерь приходится прибегать к дорогим приемам, как, например, применение немагнитных кпп на лобовых обмотках ротора.

Я даю предпочтение "американской обмотке" (двухслойная "барабанная") в открытые пазы с соединениями между секциями у вершины секций, т. е. на местах наименьшей интенсивности потоков рассеяния. Такая обмотка с транспозицией по Тейлору вообще не имеет сплошных металлических масс у соединений и поэтому не требует чрезвычайно дорогих кпп из немагнитной стали для лобовых обмоток ротора для сокращения потока рассеяния.

Аргументы, суммированные в п. 4, связанные с предложением держать напряжение "значительно пониженное против обычно применяемых", основаны на недоразумении. Так как речь идет о генераторах мощностью выше 25 MVA, большинство которых относится к классу турбогенераторов, то следует учесть, что подходящий диапазон напряжений не только не требует многовитковых секций, но наоборот, требует при одновитковых секциях двух параллельных цепей. Например, турбогенератор в 50 MW имеет одновитковую секцию и две параллельные цепи для напряжения порядка 11 kV, и без параллельных цепей дал бы при одновитковых секциях и подходящем числе пазов напряжение порядка 22 kV, т. е. уже большее, чем пока считаем рациональным.

Для турбогенератора мощностью 100 MW приходится, несмотря на то, что секция статора одновитковая и что взято две параллельные цепи, выбрать напряжение 15 kV, чтобы получить подходящее количество пазов статора.

Поэтому на крупных машинах, и особенно турбогенераторах, не приходится говорить о возможности выбора "значительно пониженных напряжений" и "тонких слоев изоляций", и свобода выбора напряжений (в довольно узких, практически возможных и целесообразных пределах) оказывается ценной, главным образом, для выбора наиболее рационального числа пазов, с чем так много связано в конструкции турбогенераторов.

Поэтому в Западной Европе и САСШ в случаях, в которых генератор и трансформатор связаны наглухо, выбор напряжения уже не делает почти всегда предоставляется конструкция

Проф. Б. П. Апаров  
ВЭИ

Автор обращает внимание на вопросы выбора напряжения синхронных генераторов, работающих в глухом соединении с повышающим трансформатором, так что генератор-трансформатор является один действующий агрегат. Такая система применяется при мощности генератора от 24 MW и выше.

Для генераторов, соединяющихся непосредственно с трансформатором, автор ставит вопрос не является ли рациональным конструировать обмотку и магнитопровод статора не по заданному напряжению, а наоборот, получать напряжение исходя из определенной обмотки и получать необходимое напряжение на зажимах, которое определяется заданной конструкцией обмотки и мощности генератора. Автор приводит ряд подсчетов, определяющих наивыгоднейшую конструкцию пазов генератора и его обмотки, которую предполагают выполнять для всех генераторов с двумя лобовыми стержнями в пазу. Автор предлагает использовать лучшего использования машины выполнять по закрытые пазы, изолируя снаружи на сторонах заводя их в пазы с торца и выполняя лобовые соединения отдельными вилками. При такой обмотке напряжение на клеммах генератора получается какое-либо наперед заданное, а определяющееся величиной магнитного потока и числом пазов.

Затронутый т. Переизвестским вопрос имеет практическое значение и уже проводится в жизнь.

Турбогенераторы большой мощности (80-100 MW, и выше) уже не имеют стандартного напряжения, и их напряжение на клеммах определяется величиной магнитного потока и числом пазов.

Для генератора средней шкалы мощностей (24 до 50 MW) обмотка статора всегда выполняется с двумя стержнями в пазу и употребительных в настоящее время напряжений.

Нам представляется только спорным предложение т. Переизвестского применять в мощных генераторах полузакрытые пазы и выполнение лобовых соединений отдельными вилками. В настоящее время большинство заводов, и в частности, завода "Электросила", стремятся перейти на американский тип обмотки, с открытыми пазами, имеющий значительные преимущества в отношении производства и величины дополнительных потерь в лобовых соединениях.

Напряжение, значительно пониженное против обычно применяемых и не совпадающее с цифрами нормальной шкалы, будет получаться согласно предложению т. Переизвестского для генераторов средней и меньшей 24 MW мощности при применении параллельных ветвей, что заставит в некоторых случаях отказаться от выгод укороченного шага обмотки. Для генератора, наглухо соединенного с трансформатором, понижение напряжения генератора вызовет также удорожание соединяющих их кабелей.

Преимущество предложения т. Перевозского лежит на уменьшении размеров изоляции паза и может осуществить в указанных случаях применение в конструкции генераторов низковольтных потов изоляции.

Уменьшение толщины изоляции паза благоприятно отразится на снижении температуры обмотки якоря генератора. Ту же самую меру явилось возможным рекомендовать и для ротора генераторов в целях уменьшения температуры его обмотки.

Таким образом предложение т. Перевозского о снижении напряжения генераторов, работающих в глухом соединении с трансформатором для генератора, будет иметь ряд положительных и отрицательных сторон. Хотелось бы в развитие указанного предложения получить от автора более конкретный материал о величинах предлагаемых им напряжений, их отступлений от существующего стандарта и экономических подсчетов преимуществ низковольтных генераторов.

## ВОПРОСУ О СТАНДАРТИЗАЦИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ

### За рационализацию нашего технического языка \*)

Л. С. Бобровский  
Свирьстрой, Ленинград

Цель рационализации—максимальная экономия мысли, времени и бумаги. Для этого необходимы: максимальная систематичность терминологии и минимальная длина терминов.

#### I. Недостатки нашего технического языка

1) Терминология наша недостаточно систематична. Примеры. 1) Для выражений выключать, включать, переключать обобщающим термином служит неуклюжее слово коммутирувать. Предлагаю (подобно т. Эрасмусу) введение выражения: ключить, ключать, ключение, ключатель и т. д. Слово установка применяется в трех разных смыслах. Изменение вопроса, в котором встречается это слово хотя бы двух из этих смыслов становится непреодолимо трудным. Предлагаю оставить его только для случая, когда оно обозначает монтаж. Для случая, когда оно обозначает совокупность установленных предметов, предлагаю слово став. Для дня, когда оно обозначает урегулирование прибора на заданный режим, предлагаю слово уставка.

2) Многие термины слишком длинны. Примеры. 1) Коэффициент полезного действия. Предлагаю термин: действенность. 2) Ток короткого замыкания—предлагаю ампер.

3) От некоторых терминов трудно образовать прилагательные и производные слова. Всё отлагольные существительные, как например, движение, давление. Предлагаю образовывать имена прилагательные прямо от основы таких слов. Примеры. 1) Колесо высокого давления—высокодавный котел. 2) Аппаратура высокого напряжения—высоконапряжная аппаратура. 3) Турина с противодавлением—противодавная турбина.

4) В нашей технической терминологии имеются несклоняемые слова, что для русского языка, в котором зависимость слов друг от друга может быть показана лишь изменением окончаний, чрезвычайно неудобно. Необходимо по возможности заменить несклоняемые формы именами. Как пример предлагаю слово реле заменить словом релей. Все слова иностранного происхождения с окончанием на букву о (депо, кино и т. д.) должны склоняться образу коренных русских слов кончающихся на о. Такова практика украинского и польского языков.

5) Очень портит наш язык немецкий суффикс и, применяемый очень часто и без всякой необходимости для образования глаголов от иностранных и даже от языков слов. Предлагаю его по возможности выбросить, так и он только удлиняет слова. Примеры. 1) Глаголы от иностранных слов: телеграфировать—телефрафить, телефонизировать—телефонить, бетонировать—бетонить, диференцировать—дифференцировать. Доказательством правильности такого дела служит то, что такие слова в нашем языке существуют. Так, несмотря на то, что от слова транспорт мы произнесли глагол транспортировать, от слова рапорт мы имеем его рапортовать. Затем существуют глаголы прессовать, сжимать, цинковать и много других, образованных без помощи суффикса ир. 2) От русских слов бронировать, молниить эти слова следует заменить словами бронить и молнить.

#### II. Методы для создания новых терминов

1) Отыскание подходящих слов в недрах языка. Примеры: действенность, ключить, став, уставка.

б) Составление новых слов от русских и иностранных корней при помощи суффиксов (которые имеются в нашем языке в изобилии) и приставок.

в) Создание составных слов из коротких или усеченных слов по образцам: паровоз, самокат, колхоз, хорасчет.

г) Применение иностранных слов допустимо, когда не удается, подыскать или создать негромоздкое русское слово. При выборе иностранных терминов желательно брать слова латинского происхождения, так как латинский язык является языком международным и благозвучным. Пример: термины—активное сопротивление, реактивное сопротивление, полное сопротивление, предлагаю заменить терминами: сопротивление, реактанц, импеданс.

#### III. Организационные работы

В центрах технической мысли организуются группы интересующихся вопросами терминологии инженерно-технических работников, объединяемые одним центральным органом. К работе привлекаются языковеды.

Необходимо войти в сношение с издательством шестиязычного словаря Шломана и с украинской организацией, вырабатывающей техническую терминологию.

#### IV. Предлагаемые новые термины из области энергетики (сверх вышеприведенных)

##### а) Взамен существующих

1) Масляный выключатель—маслоключатель, 2) измерительные приборы—мерительные приборы, мерители, 3) приборы управления—правительные приборы, правители, 4) трансформатор напряжения—напряжной трансформатор или сокращенно наптранс, 5) трансформатор тока—токовый трансформатор или токтранс, 6) постоянный ток—прямой ток или прямток, 7) переменный ток—сменный ток или сменток.

Мотивировка к пп. 6 и 7. Определения постоянный и переменный неудобны, так как и тот и другой токи могут быть и постоянной и переменной величинами. Термин сменный ток, кроме того, лучше выражает идею тока, периодически меняющего направление. Предлагаемые определения можно применить и к напряжению и говорить вместо напряжение переменного тока—сменное напряжение, вместо напряжение постоянного тока—прямое напряжение, что во многих случаях чрезвычайно облегчает изложение. В украинском языке принял термин "сменный ток" по-украински "эмминий ток" или "эмминий струм".

8) Ток замыкания на землю—земток, 9) активный ток—действенный ток, дейток; 10) реактивный ток—глухой ток, глухток, 11) дроссель—глушитель, 12) дросселировать—глушить, 13) дроссельный клапан—глушительный клапан, глушный клапан, глушклапан, 14) дроссельная катушка—глушительная катушка, глушная катушка, 15) демпфер—гаситель, 16) демпфировать—гасить, 17) демпферная обмотка—гасительная обмотка, 18) приводить в действие—гнать, 19) приведение в действие—гон, 20) вращающееся поле—вращполе, 21) момент вращения—вращмомент, 22) быстродействующий—быстродейный, 23) самодействующий—самодейный.

##### б) Для новых понятий

24) Transient fenomena—преходящие явления. 25) Transiente проходящие явления.

Примечание к пп. 24 и 25. Принятие этих терминов чрезвычайно облегчит описание процессов с преходящими явлениями.

26) Stromrichter—токонаправ, 27) Wechselrichter—сменнаправ, 28) Gleichrichter—прямнаправ, 29) Umrichter—перенаправ, 30) Wechselumrichter—сменперенаправ, 31) Gleichumrichter—примперенаправ.

Примечание к пп. 26—31. Термины эти приведены как новые в статье Rachel u Rissmüller в журн. „Elektrizitätswirtschaft“ за октябрь 1932 г.

в) Новые сокращения длинных терминов  
32) э. д. с.—эдсила, 33) м. д. с.—мадсила.

Мотивировка. Преимущество предлагаемых сокращений заключается в том, что, требуя времени для написания больше, чем отдельные буквы с точками, они дают слова, которые могут быть поставлены и во множественном числе в всех падежах, что очень важно для ускорения понимания иложения.

Потребность в новых терминах, улучшающих технический язык, очень велика, и предложенные мною методы дают возможность широкого удовлетворения этой потребности.

## Обзор поступивших статей

Опубликовывая в № 12 журнала „Электричество“ за 1932 г. статью т. Эрасмуса „Наш технический язык“, редакция преднамеренно отнесла ее к разделу „Ставим на обсуждение“, желая привлечь внимание своих читателей к данному вопросу. Действительно, стандартизация научных электротехнических терминов и обозначений имеет самое серьезное значение для внедрения электротехники в широкие массы работников электрохозяйства, а единые символы и общепринятые термины должны привести на практике к экономии труда и времени.

„Не знать терминов сложного аппарата, это значит—при наших темпах—без тормоза тормозить дело“,—таково мнение академика Марра в его предисловии к статье т. Лотте на аналогичную тему (журнал „Сорена“, вып. III, 1932 г.), ярко подчеркивающее всю важность и своевременность постановки вопроса о стандартизации технического языка.

На призыв т. Эрасмуса рационализировать технический язык редакция получила ряд статей, в которых углубляется значение вопроса и одновременно приводятся реальные, практически осуществимые предложения.

Так, т. Зайцев (Ленинград) в статье „К вопросу о техническом языке“ утверждает, что основное требование к техническому языку состоит в ясности и точности выражений. Если и допустимо свободно вводить в обиходный и общелитературный язык новые понятия, слова и обороты, которые, однако, не должны засорять язык, то технический язык никак не может следовать этому, ибо тогда было бы затруднено пользование им.

Автор отмечает, что в условиях заводской практики часто приходится наблюдать раздражение и враждебное отношение к тому, что какая-либо деталь называется по-разному, или если привычное название заменяется новым. Тем не менее, на практике мы встречаемся не только с трудностями образования новых технических терминов, но и с неправильным применением уже существующих.

С развитием техники и введением новых рабочих методов и приемов неизбежно и введение новых технических терминов, однако, образование их носит пока совершенно случайный и бессистемный характер.

Характеризуя существующее состояние технического языка как анархическое, автор считает, что улучшить такое положение вполне возможно, но необходимо проводить улучшение строго си-

стематически при участии широких круговников.

В качестве нечеткости употребляющейся номенклатуры автор приводит пример, что динамическое железо имеет ряд названий (лист электротехнической стали по ОСТ, статорный лист, статорное железо, жесть, вырубка—по заводской терминологии), вместо которых он предлагает свое название „динаможесть“.

Подобная нечеткость номенклатуры создает ряд затруднений в условиях заводской работы.

Для устранения всех неудобств, связанных с расплывчатостью терминов, необходимо преодолеть косность и „самотек“.

Автор рекомендует смело вводить в практику вновь образованные слова, но советует выполнить эту задачу не случайным порядком, а строго продуманно, как то сделали заводы „Электросила“ и ХЭМЗ, впервые составившие номенклатуру частей электрических машин. Решения должны выноситься на обсуждение широких кругов инженерно-технических работников, дабы обеспечить успешное проведение их в жизнь.

Другой корреспондент, инж. Гессе (Москва) в статье „О стандартизации электротехнических обозначений, международной терминологии и вспомогательном языке“ настаивает на пересмотре проектов стандартов ВКС с точки зрения приводности выбранных обозначений в международном масштабе. Кроме того, автор требует, чтобы наравне с русскими названиями допускались интернациональные.

В развитие своих требований автор предлагает внести ряд изменений и дополнений в проект стандартов ВКС, опубликованный в журн. „Электричество“ № 22 за 1931 г.

В заключение он высказывает за введение электротехнику вспомогательного международного языка, причем наиболее подходящим считает язык „эсперанто“, в который вошли все ставшие уже издавна международными слова, на котором благодаря удачно выбранной системе префиксов и суффиксов легко можно проводить образование новых технических слов.

Третий корреспондент т. Бобровский (Ленинград) высказывает свое мнение в статье под заголовком „За рационализацию нашего технического языка“.

Большая часть наших терминов взята из иностранных языков в виде перевода или же в первоначальном виде. Работа по систематизации и улучшению терминов не ведется планомерно: недостаточно пропитана критикой. Главной целью

шонализации технического языка должна быть максимальная экономия мысли, времени и места, т. е. термины должны быть ясны для понимания и кратки по форме.

Далее, автор переходит к недостаткам терминологии, намечает методы создания новых слов для организации этой работы и приводит ряд своих новых терминов из области энергетики. К недостаткам терминологии автор относит отсутствие ее систематичности, т. е. отсутствие как обобщенных понятий (например для выражений "заключать", "выключать", "переключать"), так и дифференцирующих (например для термина "установка", имеющего три значения). Недостатком является и то, что многие термины слишком длинны, вследствие чего к ним следует применять метод усечения и слияния (например, короткое замыкание тока — коротк), или неудобны по конструкции, не давая возможности образовывать прилагательные и производные слова (например, слова: напряжение, сопротивление и т. п.), имеющие несклоняемыми словами. Автор рекомендует считать склоняемыми такие слова, как, например, "шоссе", "реле", которые по форме аналогичны склоняемому слову "аллея", а также слова, оканчивающиеся на "о" (например депо, то).

Автор считает, что немецкий суффикс "ир" сильно портит русский язык и предлагает, например вместо "дифференцировать" говорить "дифференциовать" и т. п., т. е. поступать по методу, примененному в польском и украинском языках.

Преходя к методу создания новых терминов, автор рекомендует: 1) отыскание в недрах языка поддающихся слов, 2) образование новых слов от этих или иностранных корней при помощи суффиксов и приставок, 3) создание по образцу языка терминологии составных слов из корней и усеченных и как крайняя мера 4) исказование иностранных слов (например реактор, импеданс).

Ионализация технической терминологии потребует длительной и умелой работы и борьбы

с людской косностью. Работу должны вести группы инженерно-технических работников, со средоточенные в центрах технической мысли и разбитые на подгруппы по специальностям. Для выработки методов создания новых слов необходимо выявить законы русского словообразования, для чего следует привлечь языковедов. Согласование всех предложений должно быть возложено на один из центральных органов. В одном из журналов следует ввести специальный отдел для опубликования всех предложений.

В заключение автор приводит довольно обширный список своих новых электротехнических терминов, достаточно удачных, когда автор находит их в "недрах языка" (вместо "установка" — "став" для совокупности оборудования, вместо "коэффициент полезного действия" — "действенность" или "отдача"), и в большинстве совершенно неприемлемых, когда новые слова образуются им по методу сокращения и усечения (например, переменный ток — перток, активный ток — дейток, демпферная обмотка — гасобмотка). Для полноты картины отметим, что данный вопрос рассматривается в упомянутой выше статье Т. Лотте, который считает, что "проблему упорядочения технической терминологии надлежит поставить во всей полноте и немедленно в плановом порядке приступить к работам в этой области". Автор приводит схематическую классификацию технических терминов, подразделяя их на 1) однозначные, 2) синонимы, 3) полисемантические (многозначущие), 4) недифференцированные и 5) описательные, и рекомендует проводить работу под знаком освобождения от идеологически вредных, искажающих и бессмысленных терминов.

Автор рекомендует ввести "терминологические таблицы" по собиранию и систематизации терминов в качестве основного рабочего материала и разработать "нормы" для терминологического творчества, исходя из исторического изучения формаций и трансформаций терминов.

В заключение автор высказывает за организацию особой "терминконсультации" с участием специалистов-техников и языковедов.

## ЧАСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ

# Новая редакция правил безопасности и правил устройства и содержания для электротехнических сооружений сильного тока низкого и высокого напряжений

Инж. Ф. Вейтков

Наркомтруд СССР, Главная техническая инспекция

В результате проработки комиссиями НКТ СССР и научно-технического совета Главэнерго проектирования и измерений действующих правил безопасности и правил устройства и содержания для электротехнических сооружений сильного тока низкого и высокого напряжения<sup>1)</sup> (при участии ЦЭС и Наркомтрудом СССР<sup>2)</sup>) утверждена новая редакция этих правил<sup>3)</sup>.

Энергетика № 5, 1932, стр. 298—299.

Несомненное постановление НКТ СССР.

Основным пересмотрены параграфы, связанные с техникой безопасности, внесенные НКТ СССР. Дальнейшее уточнение будет вестись комиссиями ЦЭС.

В настоящей статье будут приведены полностью измененные параграфы с теми необходимыми комментариями, которыми руководствовались НКТ СССР и ЦЭС при пересмотре правил, что, по нашему мнению, должно быть принято во внимание при переработке и ряда других, устаревших при наших темпах развития правил, норм и стандартов.

Следует также отметить, что ни ЦЭС, ни НКТруд и комиссии, несмотря на явное несоответствие названия комментируемым правил их содержанию и достижениям технического прогресса ("сильные токи нашли широкое применение в слабо-

точных" установках), не могли ничего предложить взамен старого (немецкого) названия, оставив это до следующего пересмотра.

§ 1. Настоящие "Правила" имеют целью обеспечение личной имущественной и общественной безопасности при устройстве и содержании электрических сооружений. Правила эти распространяются на все электротехнические устройства сильного тока низкого и высокого напряжения, за исключением опытных устройств в лабораториях и испытательных станциях. Для подвижных устройств, в том числе установок на судах и поездах, для электротехнических устройств на рудниках, на торфяных разработках, на нефтяных промыслах, для радиостанций, установок связи, подъемных механизмов, специальных электротехнических и электрометаллургических установок, в театрах и кинематографах обязательны дополнительно специальные правила.

В приведенном новом изложении только уточнена редакция. Необходимо указать, что допускаемое этим пунктом исключение для опытных устройств в лабораториях и испытательных станциях требует серьезных ограничений.

Инициатива создания таких правил должна исходить от самих научных работников таких станций и лабораторий.

§ 32. К устройствам низкого напряжения относятся те устройства сильного тока, в которых действующие напряжения в местах потребления между каким-либо из проводов и землей не превосходят 250 В, все остальные устройства относятся к устройствам высокого напряжения. Для аккумуляторов определяющим напряжением является напряжение в начале разряда.

Приложение. В установках с напряжением 380/220 В с заземленным нулем помимо настоящих "Правил" должны соблюдаться требования специальных правил, изложенных во "Временных руководящих указаниях для устройства электротехнических установок трехфазного тока напряжением 380/220 В, с заземленной нейтралью".

В отношение установок 380/220 В с изолированной нейтралью должны выполняться все требования настоящих "Правил", относящиеся к установкам высокого напряжения.

Существенным добавлением к пункту является примечание и особенно второй абзац. Дело в том, что повсеместно внедряемая (в целях экономии меди) система напряжения 380/220 В с заземленной нейтралью в условиях эксплоатации является далеко небезопасной. Данные электротравматизма обективно указывают, что в ряде случаев система 380/220 В с изолированной нейтралью дает большую гарантию безопасности. Однако высказанные соображения безопасности требуют опытной проверки. И в этом смысле заслуживает особых внимания предложение инж. Л. П. Подольского (см. его статью в № 7 "Электричество" за 1932 г.) о постановке эксперимента в фабрично-заводских условиях—там, где применяется система напряжения 380/220 В (как изолированной, так и заземленной нейтралью). Эта работа, которая будет проводиться в течение года<sup>4)</sup> научно-исследовательскими институтами труда и ВЭИ, даст обективное заключение о преимуществах в отношении безопасности при эксплоатации той или другой системы. Выставленное же в "Правилах" требование об отнесении системы 380/220 В с изолированной нейтралью к высоковольтным, создавая гарантию безопасности, положит конец беспредметным спорам и бесконечным недоразумениям при проектировании и монтаже указанных установок.

<sup>4)</sup> Изучаются условия изоляции сетей в различные времена года в зависимости от метеорологических условий и фактического изменения нагрузок в течение суток и по временам года.

§ 8. Электромашинными помещениями называют помещения, в которых установлены действующие электрические машины и аппараты, предназначенные для производства, преобразования и распределения электрической энергии и доступ только для обслуживающего персонала.

Здесь добавлено слово "распределения", уточняет понятие—"электромашинные помещения". В связи с этим исключен § 10.

§ 22, п. "г". Все соединения в заземляющем проводнике должны быть выполнены посредством сваривания, свинчивания или склеивания.

Заземляющие провода должны прокладываться по возможности открыто и в соответствующих случаях должны быть защищены от механического и химического повреждения. Места присоединений должны быть доступны для прокладки.

Наиболее хорошее электрическое соединение проводов заземляющей системы может быть достигнуто методом сваривания. Последнее делено на первое место среди других применявшихся способов соединения для целей заземления (зануления).

§ 36. Ширина свободного прохода между расположенным друг против друга рядами элементов батарей должна быть не менее 1 000 мм, а между рядом элементов и стеной не менее 800 мм.

При высоком напряжении для обслуживания батареи должны быть в аккумуляторном помещении предусмотрены лирующие мостики.

Батареи должны быть так расположены, чтобы при их обслуживании была устранена возможность одновременного случайного прикосновения к точкам, между которыми имеется напряжение более 250 В. Батареи, напряжение которых относительно земли достигает 1 000 В и более, следует делять на выключаемые группы с напряжением не более 250 В.

Действующие правила совершенно не дают указания о том, какой должна быть ширина свободного прохода между расположенным друг против друга рядами элементов батарей. В практике эксплоатации это приводило к несчастным случаям, а в проектировании—к разнобоям. Тогда и в отношении однорядного расположения элементов аккумуляторной батареи для создания прохода между рядом элементов и стеной.

Вводный абзац правил последней редакции строго указывает возможный минимум ширины свободного прохода в обоих случаях.

§ 43. Главный и вторичный распределительные щиты и устройства, которые требуют обслуживания с задней стороны, должны быть обеспечены проходом, достаточным по высоте и ширине. В проходах не должны находиться предметы, которые могли бы стеснять свободу движения.

При низком напряжении расстояние между неогражденными токоведущими частями, расположенным на высоте 2,5 м, и противоположной стеной должно быть не менее 1 м, а между неогражденными токоведущими частями, расположенным на доступной высоте, с обеих сторон прохода, не менее 2 м.

При высоком напряжении токоведущие части, расположенные на высоте менее 2,5 м, должны быть ограждены с обеих сторон прохода дверями, сетками или решетками.

В случае расположения аппаратуры и токоведущих частей высокого напряжения в отдельных камерах они могут разделяться со стороны проходов деревянными или изолирующими поручнями.

При высоком напряжении, до 6 600 В включительно, расстояние между токоведущими частями и противоположной стеной должно быть не менее 1,5 м, а между токоведущими частями, расположенным по обеим сторонам прохода, не менее 2 м.

При напряжении свыше 6 600 В расстояние между токоведущими частями и противоположной стеной увеличивается на 1 см, а расстояние между токоведущими частями, расположенным по обеим сторонам прохода,—на 2 см на 1 000 В сверх 6 600 В.

При ограждении токоведущих частей дверями или стеклами расстояние между токоведущими частями с обеих сторон прохода может быть уменьшено до указанных выше промежутков, принятых между токоведущими частями и

жной стеной, если такое размещение не препятствует нормальному обслуживанию установки (оперирование трансформаторами, замена оборудования и т. п.) при удовлетворении минимальным расстоянием до заземленных частей установки, член § 135 настоящих "Правил".

Как видно, этот параграф был подвергнут основательной переработке. Четкость приводимых новой редакции указаний устраняет все недочеты по части ширины проходов в распределительных устройствах. В четвертом абзаце приведено конкретное указание о возможности применения для ограждения изолирующих поручней, что позволит вместо существующих дорогостоящих и не безопасных систем ограждения применять сравнительно более простые и надежные.

15. п. "в". Вне электромашинных помещений распределенные щиты, недоступные с задней стороны, должны быть защищены посредством запирающихся или привинченных щитов, деревянных щитов и т. п. таким образом, чтобы находящиеся под напряжением части не могли никаким образом попадать посторонние предметы.

Пункт уточнен в смысле конкретизации способов ограждения распределительных щитов. Условиях эксплоатации вследствие легкого доступа к щиту неквалифицированного персонала, что происходит короткие замыкания по той причине, что за щитом обнаруживаются склады инструмента, гвоздей, проволоки, мокрой спецодежды и т. д., в одном случае была обнаружена кошка...

16. п. "б". В распределительных устройствах, предназначенные для токов различного рода и напряжения, для каждого тока и напряжения должны быть предусмотрены соответственно обозначенные панели или же должны быть приняты меры к легкому распознаванию частей, относящихся к токам различного рода и напряжения.

Исправлены опечатки предыдущих изданий.

15. п. "а". На выключателях высокого напряжения должны быть обозначены положения выключения и включения. Кнопки выключателей должны быть заземлены.

Масляные выключатели должны устанавливаться таким образом, чтобы между ними и обслуживающим персоналом находилась защитная стена, предохраняющая обслуживающий персонал от пламени и горящего масла. В пусковых моторных щитах в качестве защитной служит передняя стена ящика.

Примечание. Указанное требование не относится к масляным выключателям, разрывная мощность которых не превышает 25 MVA.

16. Масляные выключатели в установках с расчетной мощностью токов короткого замыкания 100 MVA и выше должны устанавливаться в отдельных взрывных камерах,ящих наружу или в общий взрывной коридор. Взрывная камера представляет собой совершенно изолированное от этого распределительного устройства помещение.

Взрывные камеры должны иметь огнестойкие стены, естественную вентиляцию и огнестойкие двери, открывающиеся внутрь в общий взрывной коридор. Огнестойкими считаются желобные или деревянные двери, обитые железом.

17. Масляные выключатели для напряжения 110 kV выше устройства взрывных камер и защитных стенок не могут.

18. В случае применения бронированных устройств для взрывных камер и защитных стенок не требуется.

19. Заключенные в закрытые кожухи выключатели высокого напряжения, предназначенные для выключения цепи под нагрузкой, должны при напряжении выше 600 V снабжаться выключателями, позволяющими отсоединять от напряжения выше контакты выключателей.

Исправления, внесенные в настоящий параграф, меняют наши правила безопасности на первое место среди всех стран. Впервые дано понятие "взрывная камера". Предусмотрены все возможные случаи, при которых применение взрывных камер не требуется: 110 kV—устройства, бронированные устройства, расчетной мощности токов короткого замыкания менее 100 MVA. При применении реакто-

ров—искусственном понижении мощности короткого замыкания вследствие опасности перекрытия реактора—применение взрывных камер желательно; после окончательной проработки этого вопроса НКТ и ЦЭС будет внесено соответствующее дополнение § 55.

Необходимо, однако, указать, что в настоящей редакции правил, к сожалению, не дано указаний об устройстве маслостоков для уменьшения эффекта пожара в условиях взрыва мощных масляных выключателей; этот вопрос еще не заключен проработкой. Если конструкция маслосборных ям довольно проста для устройств, расположенных в первом этаже, то появляется целый ряд затруднений при размещении взрывных камер во втором и других верхних этажах. Органы НКТ при осуществлении преднадзора требуют для распределительных устройств, размещенных во втором этаже, устройства наклона пола взрывных камер, чтобы масло свободно вытекало из камеры наружу. Соответствующее дополнение будет внесено при очередном просмотре правил.

Бывший пункт "б" (нынешний "д") требовал устройства разъединителей лишь при напряжении 1500 V (и выше). Исходя из требований безопасности установка разъединителей будет производиться при напряжении 600 V.

§ 67, п. "а". При устройстве ответвлений с меньшим сечением проводов, чем у главных, допускается установка защищенного предохранителя на расстоянии не выше 1 m от места ответвления, но при условии, что провод не находится вблизи легко воспламеняющихся предметов.

Провод, соединяющий предохранитель с главным, может иметь сечение меньшее, чем у главного провода, но не меньше, чем сечение проводов того же ответвления за предохранителем. (Далее до конца § 67 без изменения).

§ 72. Реостаты и сопротивления, в которых происходит прерывание тока, должны быть так устроены, чтобы при правильном обслуживании не могла образоваться длительная вольтова дуга.

Установка особых выключателей необходима лишь тогда, когда ток не размыкается на всех полюсах самим реостатом (исключение см. § 156).

§ 101, п. "б". Изолированные провода должны отвечать действующим "Нормам для изолированных проводов установок сильного тока" и ОСТ на провода и силовые кабели.

При сохранении прежнего смысла пункта "а" § 67 уточнена его редакция. То же и в отношении § 72 и 101.

§ 126. Телеграфные и телефонные устройства должны быть ограждены согласно "Правилам ограждения телефонных, телеграфных и сигнализационных линий от вредного действия устройства сильного тока", изданным по постановлению СТО.

Когда провода высокого напряжения проходят через заселенные места или настолько близко от дорог, что движение по последним в случае обрыва проводов представляло бы опасность, то на соответствующих участках все части линий должны быть выполнены с повышенной прочностью, согласно специальным "Правилам".

На угловых и анкерных опорах при пересечении дорог и железнодорожных путей каждый провод должен укрепляться на двух изоляторах (двойное подвешивание).

Изменению подвергнут последний абзац настоящего параграфа. Однако следует оговориться, что, исходя из дефицита изоляторов, двойное подвешивание по соглашению НКТ СССР и ЦЭС временно заменяется одинарным при условии добавления лишнего элемента в гирлянду и непрерывного механического испытания подвесной скрепляющей арматуры (каждого образца).

Кроме того, следует иметь в виду, что понятие "повышенная прочность" еще окончательно не

установлено, ибо до сих пор не закончена проработка этого вопроса в комиссии ЦЭС.

§ 138. Прокладка проводов на роликах допускается лишь при напряжении до 550 В.

Вместо допускающейся прокладки проводов на роликах до 750 В, принято из соображений прочности и безопасности допускать прокладку на роликах при напряжении до 550 В.

§ 148. п. „в“. В помещениях, опасных в пожарном отношении или в отношении взрывов, горящие наружные оболочки при открытой прокладке или при прокладке в каналах недопустимы.

Пункт уточнен в отношении требований пожарной безопасности.

§ 156, п. „б“. В отступление от § 72 при устанавливаемых в электромашинных помещениях реостатах установки особых выключателей не требуется.

Учитывая ограниченность круга лиц, соприкасающихся с реостатами, допущено отступление от § 72 для установок в электромашинных помещениях.

§ 163. Входы в аккумуляторные помещения не должны устраиваться непосредственно из производственных помещений. В тех случаях, когда это неизбежно, должны устраиваться специальные тамбуры с открывающимися наружу дверями.

§ 164. Для удаления из аккумуляторных помещений всех выделяемых аккумуляторами газов, а равно и содержащихся в воздухе паров кислот, необходимо устройство естественной или принудительной непрерывной действующей вентиляции.

\* Дополнение и уточнение § 163 и 164 вызвано исключительно требованиями безопасности. Общеизвестно, что в помещении аккумуляторной батареи получается гремучая смесь во взрывоопасной концентрации; наряду с мероприятиями удаления газов (вентиляция) наличие тамбура не позволит газам проникать в производственные помещения, а в аварийных случаях тамбур является добавочной воздушной подушкой, смягчающей эффект взрыва.

§ 187. Для освещения допускается только ток низкого напряжения.

В п. „в“ § 174 уже указана нежелательность размещения электрических машин в сырьих поме-

щениях; то же относится и к помещениям седми парами. В неизбежных случаях должны быть приняты особые меры защиты независимо от применения напряжения. В связи с этим первая часть пункта исключена.

§ 192. При применении электрических машин, трансформаторов и реостатов, а также выключателей, предохранителей, штепсельных соединений и т. п. аппаратов, в которых в условиях нормальной эксплуатации происходит искрообразование или образование дуги при разрыве тока, допускаются лишь такие конструкции, которые устраниют опасность взрыва.

§ 194. Для освещения допускаются лишь источники света герметически закрытые, они должны быть вместе с патрами заключены в плотную, герметически закрытую арматуру.

Примечания: 1. Для особо опасных в отношении взрывов помещений по списку, определяемому НК СССР, обязательны специальные правила безопасности.

2. Взрывобезопасная осветительная арматура должна иметь такую конструкцию, которая не допускает снятия колпака без предварительного выключения.

В § 192 внесено существенное редакционное изменение, не меняющее смысла, но конкретизирующее опасности, вытекающие из условий эксплуатации аппаратуры в таких помещениях. Существенными являются примечания к § 194. С своей стороны укажем, что в настоящее время для ряда взрывобезопасных отраслей промышленности (шахты с пылью и газом, коксохимические и другие цеха с большим количеством летучих и др.) в СССР производится взрывобезопасное электрооборудование (моторы УТ с повышенной надежностью, которые в отличие от так называемых закрытых („герметических“) неправильных типов рассчитаны на давление в случае взрыва внутри аппарата. Налаживается также производство взрывобезопасной осветительной арматуры (Завод „Электросвет“), удовлетворяющей применению 2 к § 194. В пояснении конструкции требуемых правилами ламп необходимо указать, что ток должен быть отключен и в случае повреждения колпака лампы.

Список особо опасных в отношении взрывов помещений (производств) еще не закончен НК СССР разработкой; впредь до проработки установление взрывобезопасности производится НК СССР в каждом отдельном случае.

## БИБЛИОГРАФИЯ

### К вопросу о планировании работы электроэнергетической системы

(С. А. Кукель-Краевский, Плановый ремонт агрегатов электроснабжающей системы, М.—Л. 1932, Госэнергоиздат, стр. 77, ц. 1 р. 80 к.).

В результате проделанной под руководством партии громадной работы по выполнению первой пятилетки наш Союз стал одной из самых мощных стран в области электрификации. Налицо не только рост вообще, но и концентрация мощности, строительство мощных станций. Степень концентрации гораздо значительнее, если учесть фактор обединения и кустования станций между собой ряда электроэнергетических систем в Мосэнерго, Ленэнерго, Донэнерго и др.

Под системой мы в данном случае подразумеваем совокупность тех электрических станций, которые, будучи связаны между собой электрическими линиями передач и подстанциями, могут работать параллельно, т. е. на общие электрические линии и пользоваться общим резервом.

Электрическая система должна быть рассматриваема как единый хозяйствственный организм. Именно с этой стороны она представляет для нас наибольший интерес. Благодаря обединению станций и совместной их работе, достигается наилучшее использование их оборудования, наиболее экономичная выработка энергии и обеспечивается большая надежность.

энергоснабжения. Отдельные стороны работы станций поддаются в большей или меньшей степени воздействию системы. В первую очередь это касается вопросов планово-предупредительного ремонта. Общеизвестная роль планово-предупредительного ремонта в деле постановки нормальной и бесперебойной эксплуатации оборудования и овладения техникой освоения производства, особенно значительна в энергетическом хозяйстве, поскольку последнее характеризуется непрерывностью производственного процесса и совпадением времени производства и потребления.

Однако до последнего времени плановой постановки речь, как правило, не было. К тому же необходимо отметить, что вопрос этот не так просто решается, как кажется сию первого взгляда. Развивка агрегатов на очередь для поставки их в ремонт и выбор для них наиболее подходящего способы зрения системы времени для ремонта решается индивидуально для каждой отдельной системы, в зависимости от структуры ее станций и потребителей и пр.

Вопрос о плановом ремонте агрегатов системы должен быть связан с планированием работы системы вообще и планом регулированием графика нагрузки в особенности. В условиях нашего планового хозяйства мы в состоянии добиться качественного регулирования графика нагрузки, т. е. потребления энергии абонентами электрических станций до такой степени, чтобы кривая нагрузки представляла собой линию, в

шую к прямой. Но в том случае, если в системе годовой суммы потребления энергии все же дает достаточный сезонный провал, во время которого может уложиться весь ремонт, и последнего получает одно решение. При этом отпадает возможность иметь в системе специальный резерв для ремонтных агрегатов. Диаметрально противоположным случаем является система, имеющая годовой график в виде прямой линии, вследствие чего необходимо иметь полный ремонтный фонд для возможности выведения в ремонт агрегатов. Между тем в таких крайними случаями располагается ряд промежуточных систем, требующих комбинированного плана ремонта, который частично укладывается во время сезона ремонта, частично за счет специальных резервных агрегатов.

Основе произведенных исследований и расчетов автор рецензируемой работы дает ряд формул для подсчета необходимого количества ремонтных агрегатов в зависимости от длительности ремонта и характера годового графика системы, отмечает автор, выражаящийся через коэффициент заполнения годового графика.

Автор приходит к заключению, что до достижения коэффициента заполнения 0,9 специальных агрегатов для ремонта не требуется. Сказанное выше относится к случаю наличия в системе однородных по характеру чисто конденсационных агрегатов. Однако за последние годы таких систем у нас почти не было. Политика партии и правительства на развитии комбинированного производства энергии и в первую очередь на развитии производства электрической и тепловой энергии и сети теплофикации привела к изменению структуры национальных систем, которые из чисто конденсационных превратились в электроэнергетические системы, состоящие из ряда конденсационных и теплофикационных станций. Тот же направлении действует принятый курс на развитие строительства, в результате чего уже в самом недалеком будущем в ряде наших систем, искони бывших чисто тепловых, ожидается значительный процент гидравлической мощности. Техника планирования вообще, и планирования ремонтов в частности заключается в наилучшем использовании каждого агрегата с точки зрения системы в целом. Отдельные виды агрегатов (конденсационные, теплофикационные с отбором, гидравлические с противодавлением, гидравлические) дают различные возможности их эксплуатации. Если конденсационные могут быть использованы на полную рабочую мощность в любой период, то гидравлические станции большей частью имеют сезонный дополнительной энергией и, наоборот, в зимние месяцы дают снижение мощности. Теплофикационные

агрегаты с отбором пара, иначе называемые автором отопительными, поскольку они приспособлены, главным образом, для бытовой теплофикации, могут дать в летние месяцы известное повышение выработки электрической энергии за счет пропуска всего пара через конденсатор. Наоборот, противодавлические турбины, у которых конденсатор отсутствует, могут работать по чисто тепловому графику, так что в летнее время в случае понижения потребления тепла снижается и даваемая ими электрическая мощность.

Отсюда видна вся сложность планирования ремонта агрегатов электроэнергетической системы. Необходимо при наличии отопительных агрегатов использовать освобождающуюся ими мощность для выведения в ремонт конденсационных агрегатов. Точно так же для этого может быть использована сезонная мощность гидростанций.

С другой стороны, как уже выше было указано, совершенно различно будет протекать плановый ремонт в системах с летним или зимним провалом и с графиком, близким к прямой линии.

Анализу всех этих обстоятельств, влияющих на ремонтный план, и посвящена книжка Кукель-Краевского. Автор в сканной форме дает также ряд примеров подсчета и планирования ремонта агрегатов. Исходными предпосылками при этом являются осуществление полной агрегатности, т. е. жесткая связь котел-турбина, и деление системы на равновеликие агрегаты, независимо от того, на какой станции они находятся.

В заключение автор приводит пример составления конкретного ремонтного плана применительно к системе Мосэнерго 1930—1932 гг.

Необходимо отметить, что несмотря на ряд допущенных автором условностей, несмотря на абстрактность формы изложения, сама постановка вопроса, а также метод, примененный автором, заслуживают всяческого внимания и изучения. При составлении ремонтного плана должно в первую очередь стремиться к максимальному использованию непосредственно в эксплуатации всех агрегатов системы, к возможному сокращению числа ремонтных агрегатов и длительности самого ремонта. Если это последнее обстоятельство определяется в зависимости от организации самого ремонта и производительности труда ремонтных бригад, то первые будут целиком зависеть от правильности составления ремонтного плана, учета всех особенностей данной системы. В этом отношении рецензируемая книжка может явиться важным подспорьем для работников наших электрических систем.

Инж. М. И. Цейтлин

## ХРОНИКА

### Ленинградский электрофизический институт (ЛЭФИ)

#### Опытная линия на 500 кВ ЛЭФИ

В рассмотрении вопроса о создании единой высоковольтной сети Союза выяснилось, что передача мощностей порядка десятков киловатт на расстояния, измеряемые тысячами метров, возможна лишь при переходе к напряжению 110 кВ и выше.

Несущие эксплуатационных и недостаточность экспериментальных данных о таких линиях вызвали необходимость сооружения экспериментальной линии для изучения вопроса передачи столь высоких напряжений в обстановке, близкой к реальным линейным условиям (корона, изоляция линии, щитового троса, заземление, конструкция проводов и кабеля и др.). Для сооружения линии был использован участок земли, прилегающий к зданию высоковольтной лаборатории института. Длина прямолинейного участка линии составляет 1500 м. По местным условиям (прогощдение по парковой зоне, частое пересечение улиц и дорог) пролет линии приближается к 300 м. Расположение проводов по ряду сообразовано принятой горизонтальной с расстоянием между проводами 10—12 м. Для осуществления переменного расстояния между проводами закрепление проводов производится на специальных подвижных тележках (на роликах). Габаритное расстояние до поверхности земли принято для напряжения 110 кВ равным 9 м, для 500 кВ—10 м.

При определении высоты опор и нагрузок на них учитывались подвеска проводов различной конструкции. Наибольшие вертикальные нагрузки на опоры определились из предположения подвески пустотелого медного провода диаметром 50 мм сечением 600  $\text{mm}^2$ . При принятой длине гирлянды в 5 м от промежуточной опоры (до оси траперссы) определилась высота анкерной—19,5 м.

Закрепленные выступающие над траперсой шпили и специальные укосины позволяют в широких переделах (до 180°) производить подвеску двух защитных тросов над про-

При проектировании было предположено изготавливать опоры из углового железа при помощи электросварки. Механический расчет проводов и тросов, а также определение нагрузок на опоры произведены в соответствии с действующими в СССР "Нормами механического расчета воздушных линий сильного тока". Веса опор определились: промежуточной в 12,9 т, анкерной—17,9 т. Объем железобетонных фундаментов соответственно 13,6  $\text{m}^3$  и 26,8  $\text{m}^3$ . Помимо двух основных нормальных типов опор местные условия потребовали применения еще двух специальных типов конструкций.

Для нормальных пролетов опытной линии (300 м) изоляция проводов осуществляется помошью гирлянд, состоящих из 20 изоляторов типа "Goliath" фирмы "Gescho". Общая длина гирлянды—5150 мм. Для малых пролетов применены изоляторы союзного производства (завода "Изолятор" типа П-7,5 (gross)). Число изоляторов в гирлянде 22. Защитной арматурой для натяжных гирлянд служат кольца диаметром 1000 мм.

Защитный трос подвешивается также на натяжных изоляторах, причем обход троса вокруг шпили осуществляется путем укладки петли на щитовых изоляторах.

Провода, а также тросы вводятся в здание лаборатории через специальные проходные изоляторы.

Питание линии осуществляется от каскада трансформаторов мощностью 300 кВА при линейном напряжении до 578 кВ.

#### Сооружение и монтаж опытной 500-кВ линии ЛЭФИ

Изготовление деталей опор производилось на специальной площадке, оборудованной аппаратами для резки металла и электрической сварки. Детали затем развозились и собирались на местах установки опор. Все соединения отдельных частей производились путем электросварки. Опоры, собранные целиком на земле, устанавливались на фундаменты путем вращения относительно шарнира. Аналогичным образом собирались и устанавливались порталы для малых пролетов линии.

ЛЭФИ совместно с заводом „Севкабель“ разработал ряд конструкций проводов, однако для первых опытов было признано желательным применение конструкции алюминиевого провода из троек диаметром 42 мм и сечением 680 мм<sup>2</sup>, как наиболее простой в изготовлении и в то же время весьма интересной в конструктивном отношении. Арматура для этого провода была запроектирована с закреплением провода методом опрессовки.

После разводки арматуры и изоляторов на одном конце анкерного пролета были собраны и подвешены к тележкам, находящимся на траверсе, натяжные гирлянды. Тележки ради удобства дальнейших операций были сдвинуты к стойкам опоры.

Провод при сматывании с барабана разносился от опоры к опоре вручную (механизация этого процесса при малом объеме работ не могла найти применения). После раскатки провода конец его, находящийся у опоры с подвешенными изоляторами, опрессовывался в анкерном зажиме, поднимался на опору и присоединялся к гирлянде. После этого провод у следующей анкерной опоры захватывался специальным монтажным зажимом и подвергался предварительной вытяжке; затем устанавливалась по монтажным кривым необходимая стрела провеса и отмечалось место заделки провода в анкерный зажим. После этого провод опускался на землю, снимался монтажный зажим, отрезался провод и опрессовывался в анкерном зажиме. Одновременно с вытяжкой провода производилась опрессовка зажима для петли. Провод вместе с собранной гирляндой, присоединенным анкерным зажимом и одним концом петли поднимался на опору, натягивался и присоединялся к тележке. Второй конец петли присоединялся к анкерному зажиму следующего пролета. На следующем пролете линии монтаж производился тем же способом.

После окончания монтажа всех проводов тележки с подвешенными проводами раздвигались и ставились в требуемое для экспериментальной работы положение. Рис. 1 изображает анкерную опору.

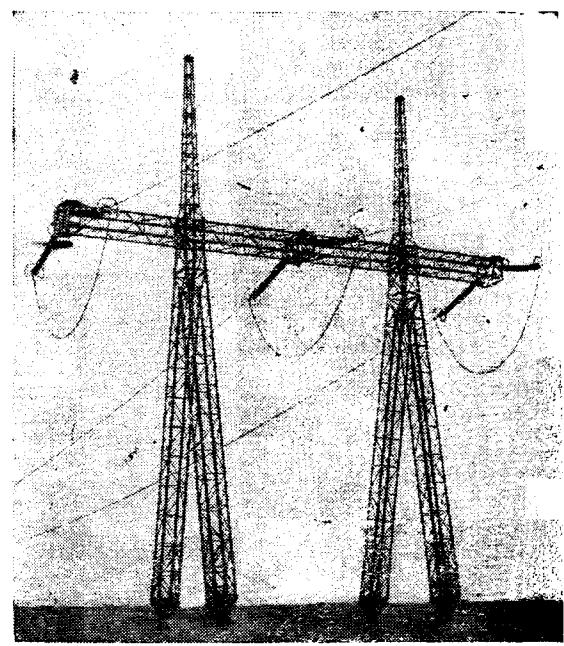


Рис. 1

Первый пролет (переход через улицу) осуществлялся с помощью металлических балочек, покрытых цилиндрическими кожухами из листового железа.

Монтаж линии произведен в течение 10 дней.

Г. Савицкий

## Электротехническая научно-исследовательская ассоциация ЦНИС НКТП СССР

В области электротехники до 1 января 1933 г. при ЦНИС НКТП было две всесоюзные ассоциации: 1) лабораторий осветительной техники, сокращенно ВАЛОТ, организованная в 1921 г., и 2) научно-исследовательских институтов и лабораторий электросвязи, сокращенно ВАНИИЛС, организованная с 1 января 1932 г.

В связи с задачами, выдвинутыми вторым пятилетним планом, по решению сложнейших научно-технических вопросов электрификации на более высоком качественном уровне ЦНИС НКТП вместе с реорганизацией своего аппарата ликвидировал с 1 февраля 1933 г. указанные выше ассоциации и образовал единую Электротехническую научно-исследовательскую ассоциацию, называемую сокращенно ЭНИА, с экспертно-техническими функциями.

В состав ассоциации должны войти по сильным и слабым токам все научно-исследовательские институты и лаборатории, заводы электропромышленности, вузы и втузы, электростанции, проекто-монтажные и другие заинтересованные хозорганизации.

В результате проведенных двух совещаний 11 ноября и 16 декабря 1932 г. и заседания президиума ЭНИА 10 января 1933 г. определены контуры работы и созданы нижеследующие секции:

## Научно-технические проблемы в области электротехники на вторую пятилетку

(Из решений Всесоюзной конференции по планированию работы научно-исследовательских организаций НКТП)

### I. В области сложных высоковольтных электрических систем

1. Полностью освоить напряжение 220 кВ в отношении производства всего необходимого оборудования и создания необходимых условий бесперебойной и надежной эксплуатации, переведя все производство на внутрисоюзные материалы.

2. Решить основные научно-исследовательские вопросы относительно напряжения 380-400 кВ для практического использования возможностей применения этого напряжения к концу второй пятилетки.

3. Разработать и установить наиболее эффективную технически и экономически систему преобразования переменного тока в постоянный ток высокого напряжения для целей электропередачи.

4. Разработать типы высоковольтных обратимых ионных аппаратов (рутных выпрямителей) с управляющими сетками для целей электропередачи.

1. Генерирование и трансформирование электрической энергии.
2. Передача и распределение электрической энергии.
3. Приемники электрической энергии (электропривод, сварка).
4. Электрификация транспорта.
5. Автоматика, телемеханика и телевидение.
6. Электротехнические материалы (изоляционные, проводковые, элементы, аккумуляторы и т. п.).
7. Измерительная техника.
8. Осветительная техника.
9. Рентгенотехника, электромедицинские приборы, электрические фильтры и т. п.
10. Связь (проводная, радиотехника).

Вопросы вакуумной техники распределяются по сферам соответствующим областям ее применения.

Технико-экономические вопросы рассматриваются в как из 10 секций, поэтому в специальную секцию не выделяются.

Приказом по ЦНИС НКТП от 25 января 1933 г. утвержден состав секций ЭНИА и определено местопребывание президиума ассоциации при ЛЭФИ в Ленинграде.

В президиум ЭНИА вошли: акад. А. А. Чермышев — председатель проф. Л. И. Сиротинский, инж. В. Г. Прелков и

5. Разработать типы ионных аппаратов (рутных выпрямителей) с широким регулированием напряжения в применении к электротехнической и другим отраслям промышленности.

6. Разработать типы ионных аппаратов для разных целей коммутации и автоматизации, для вентильных двигателей, регулирования напряжений, выключения и т. д.

7. Разработать аппаратуру для контрольной работы ионных аппаратов.

8. Изыскать меры повышения мощности генераторов иной единицы. Разработать новые способы охлаждения и изолирования ее обмоток; исследовать вопрос о применении более высоких напряжений на клеммах генераторов.

9. Разработать методы наиболее рационального использования изоляции на основе изучения процессов разрушения газообразной, жидкой и твердой изоляции. Исследовать пути изоляции высоковольтных трансформаторов (сажа, сжатое масло, оксидная изоляция и т. д.) и использовать

е выводы этой работы на других видах электрического оборудования.

Решить вопрос о дешевом кабеле на все напряжения до 400 кВ для переменного и постоянного токов, привести в частности вопрос о возможности применения неизолированной изоляции.

Продолжить с освоением современных выключателей на напряжение 220 кВ и разрывную мощность порядка 2-3 МВА изучения методов гашения дуги в различных условиях теоретическую и экспериментальную базу для проработки рациональных типов выключающих аппаратов. Разворнуть систематическое наблюдение за высоковольтными установками через систему контрольных станций, оснащенных необходимыми приборами: катодными осциллографами, кинодиаграммами, магнитными регистраторами аварийных процессов и пр. с тем, чтобы на основе детального стоимо-экономического анализа аварий и широко поставленных метеорологических наблюдений разработать эффективные меры борьбы с авариями и меры их предупреждения. Разработать принципиально и технически систему управляемыми и высоковольтными обединениями, исходя из условия максимальной автоматизации и применения новой телекоммуникации.

Привести принципиальную и экспериментальную проверку экономической целесообразности и технической возможности применения повышенной частоты для целей электрификации.

Завершить теоретическое изучение вопросов устойчивости работы систем практическим анализом условий параллельной работы действующих сложных систем на основе автоматической записи явлений колебаний, явлений автоматической синхронизации и создать устойчиво работающие сложные обединения.

Привести полное экспериментальное исследование токового замыкания на действительно работающих установках и дать теоретическое обоснование правильных методов расчета влияния сверхтоков на различные части электрических установок.

Создать законченную систему мер, защищающих установки от действия проводов сильного тока, дать тщательный анализ защитных приборов и установить пределы допустимых сближений систем сильного и слабого токов.

На основе критического анализа работы существующих систем защиты от токов короткого замыкания и учитывая имеющийся опыт этих приборов создать с помощью исследовательских институтов законченную селективную систему защитных мер токов короткого замыкания.

На основе изучения явлений перенапряжений и выяснения характеристик стандартного оборудования установить новую систему изоляции различных частей установок.

Установить рациональные параметры генераторов, предназначенные для работы в сложных электрических системах.

## II. В области электромашиностроения

### Коллекторные машины

Машины постоянного тока. Агрегаты Ильгнера; разработка агрегатов в прокатных установках для поиска эксплуатационных характеристик и для разработки приводов, предельных мощностей; изучение коммутации сгорания с круговым огнем на коллекторе; типовые двигатели.

Коллекторные машины переменного тока. Изучение трехфазных коллекторных двигателей в промышленности для решения задач специальных приводов; установка и разработка типов фазовых компенсаторов.

Коллекторные машины специальных типов. Разработка генераторов и двигателей для специальных целей: гребных винтов, авиации, ветроэнергетических установок, морские машины.

### Синхронные машины

Усовершенствование крупных синхронных генераторов в отношении повышения предельных мощностей, улучшение использования активных и конструкционных материалов, улучшение вентиляции и улучшение изоляции.

Изучение методов защиты синхронных генераторов от коротких замыканий и перенапряжений.

Привести сравнительное изучение синхронных и асинхронных компенсаторов в отношении их характеристик и наработки в работе.

Разработать вопрос о внедрении в промышленность новых двигателей малой и средней мощности.

### Асинхронные машины

1. Разработка новых типов асинхронных машин (усиленная вентиляция для повышения нормального использования активных материалов, новые типы изоляции — оксидная, ацетилцеллюлозная, теплостойкая и т. д.).

2. Изучение условий работы асинхронных двигателей в разных отраслях промышленности с точки зрения производственно технологической и технико-экономической (внедрение в промышленность короткозамкнутых двигателей типа Бушера, с глубоким пазом, двигателей для врубовых машин и т. д.).

Регулирование скорости и методы компенсации сдвига фаз в асинхронных двигателях.

### Трансформаторы

1. Трансформаторы предельных мощностей и напряжений. 2. Защита трансформаторов от перегрузок, перенапряжений и внутренних коротких. Нерезонирующие трансформаторы.

3. Разработка новых методов охлаждения трансформаторов.

### III. В области электрификации промышленности и транспорта

1. Систематически исследовать совместно с научно-исследовательскими организациями, изучающими технологические процессы и разрабатывающими вопросы механизации основных отраслей промышленности (металлургия, угледобыча, горнорудная, нефть, машиностроение, химия и пр.), режим работы электрического привода и разработать на основе этого исследования принципы и схемы создания рационального электропривода и электрифицированных машин, где двигателя в обычной его форме нет.

2. Разработать совместно с конструкторским бюро электромашиностроительных и машиностроительных заводов серии специализированных двигателей (например, тихоходных, быстроходных многоскоростных, регулируемых двигателей и т. п.) для электроприводов.

3. Определить области применения постоянного и переменного токов установкой с широкой регулировкой скорости и реверсированием.

4. Разработать схемы автоматизации управления основных технологических процессов тяжелой промышленности и серию автоматических приборов и аппаратов электромагнитных и фотоэлектронных.

5. Разработать серию приборов для автоматического контроля хода технологических процессов и качества продукции и полуфабрикатов.

6. Определить пределы применения электрической сварки на постоянном и переменном токах, разработать рациональные типы оборудования для всех видов сварки, в частности применение ртутного выпрямителя для электросварки.

7. Выявить наиболее рациональные типы электрических печей и электрооборудования для различных условий нагрева и плавки металлов, установить расчетные коэффициенты для конструирования печей. Изучить электропечь как потребителя электроэнергии и разработать рациональные схемы защиты и электроснабжения печных установок.

8. Разработать системы и оборудование внутризаводского электротранспорта основных отраслей тяжелой промышленности (выбор рода тока, разработка двигателя — рольганга и т. п.).

9. Разработать для основных характерных случаев практики промышленных электрифицированных установок компенсирующие устройства, обеспечивающие высокий  $\cos \phi$ , обратив особое внимание на синхронный двигатель высокой перегрузочной способности.

10. Разработать управляемые ртутные преобразователи для применения с вентильным бесколлекторным и безреостатным электродвигателями с широкой регулировкой и реверсированием (прокатные станины, подъемники, текстильная промышленность и т. п.).

11. Разработать управляемые ртутные преобразователи с регулированием напряжения для весьма сильных токов, необходимых для электрохимической и цветной промышленности (алюминий, азот, рафинирование меди и т. п.).

12. Оборудовать опытные электровозы с коллекторным двигателем нормальной частоты и вентильным двигателем и на основе широких сравнительных исследований их в опытной эксплуатации параллельно с другими системами электротяги установить стандартный тип электротягового оборудования для магистрального транспорта.

13. Разработать систему автоматизированного токоснабжения для пригородного электротранспорта и метрополитена и сконструировать совместно с конструкторским бюро заводов серии соответствующих аппаратов.



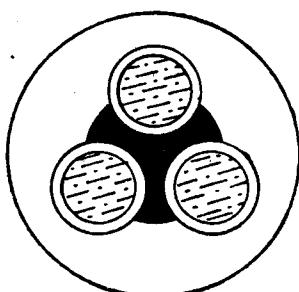
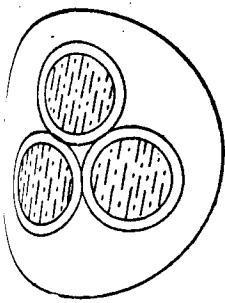


Рис. 2. Гибкий кабель системы Бивера с резиновым сердечником

том, а за границей кабели даже пытались заключать в кожаные чехлы. Обмотка шпагатом выполняется теперь в Англии, причем такая операция производится еще вулканизации, после которой наружная обмотка, пропитанная противогнилостным составом, оказывается вваренной в кожуку кабеля (рис. 1).

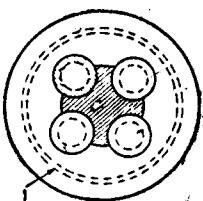
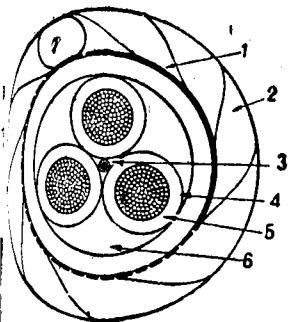


Рис. 3. Гибкий кабель системы Фишер: 1—вспомогательная цепь из медной ленты, 2—канат, 3—изолированные проводники и резиновый канат, 4—изолированная резина, 5—вулканизированная резина, 6—битум

Рис. 4. Гибкий кабель системы Гловера с оплеткой «Ферфлекс». 1—оплетка «Ферфлекс»

Наилучшей в смысле прочности гибкого кабеля оказалась конструкция Бивера (рис. 2) со специальным резиновым сердечником, на который навиваются скрученные жилы. Сердечник играет роль пружинящей подушки, а давление жил распределяется на большую площадь. Для службы таких кабелей оказывается в 4—6 раз больше, чем при обычных конструкциях, а кроме того, уменьшается число межфазовых коротких замыканий, да и вообще поломок.

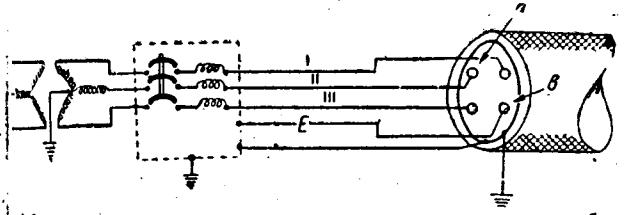


Рис. 5. Защита от электрических ударов при коротком замыкании кабеля на землю путем заземления нейтрали трансформатора

Для защиты внешней среды от кабеля применяются конструкции, среди которых одной из первых является конструкция Аткинсона с вспомогательными жилами, включенным в цепь специального реле, причем последнее отключает жилу при чрезмерном растяжении рабочей жилы. Другая общая же конструкция по патенту Фишера приведена на рис. 3.



Рис. 6. Кабель «Макинтош»

Защита рабочих в забое от электрического удара осуществляется заземляющей жилой в кабеле, присоединенной к шине машины и общей сети шахтного заземления.

Автоматическая защита непрерывности заземления впервые предана в Англии в виде системы Вильямса.

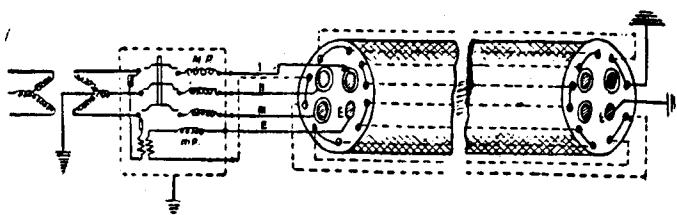


Рис. 7. Принцип Оллсопа экранирования гибкого кабеля

Роули, а позднее появились экранированные кабели с концентрической медной оболочкой вокруг рабочей жилы (система Гловера, рис. 4). Между наружной оболочкой и изолированными жилами, лежащими на резиновом сердечнике, введена оплетка из тонких медных жил.

Наиболее надежной защитой рабочих от электрических ударов при коротком замыкании на землю является заземление нейтрали трансформаторов (рис. 5).

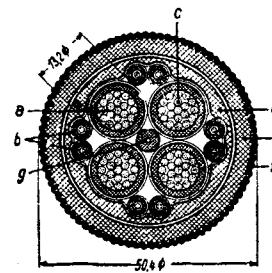


Рис. 8. Шланговый кабель системы Сименс-Шуккерт с автоматическим отключением от сети: а—рабочие жилы, б—вспомогательные жилы, с—заземляющая жила, д—общая резиновая оболочка, е—верхняя резиновая оболочка, ф—пеньковая оплетка, г—холостая жила

Следует упомянуть еще о кабеле «Макинтош», в котором вокруг токоведущей жилы имеется заземляющая неизолированная жила, соприкасающаяся с заземленными оболочками (рис. 6 и 6а). Для наружной оболочки применяется специальный состав «маконит», самый принцип изобретен Оллсопом (рис. 7).

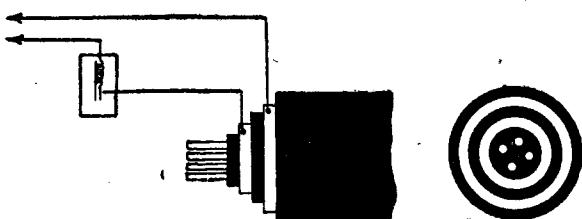


Рис. 9. Кабель системы Мейнард

В Германии недавно построен врубовый кабель со специальной защитной оплеткой между внутренней и наружной оболочками из резины. В одном направлении оплетки идут пучки хлопчатобумажного волокна, а в другом — пучки луженой медной проволоки. Отдельные пучки медных проводов последовательно соединяются на обоих концах кабеля и включаются в цепь нулевого реле, питаемого от понизительного трансформатора 220/24 В.

Фирма Сименс-Шуккерт выпустила гибкий кабель с автоматическим отключением от сети в случае повреждений (рис. 8). В этом кабеле ряд тонких вспомогательных жил, соединенных последовательно, включен в цепь нулевого реле вместе с заземляющей жилой.

Жилы состоят из большого числа гибких свитых проволок и покрыты слоем резины и миткалевой ленты; затем идет общая резиновая оболочка с 33 1/3% чистого каучука, и, наконец, все заключено в толстую верхнюю резиновую оболочку в виде шланга. Для уменьшения износа наружная оболочка кабеля покрыта завулканизированной в ней пеньковой оплеткой. В центре кабеля проходит холостая жила.

Следует отметить, что большого распространения такие кабели не получили ввиду их основного недостатка, состоящего в том, что после автоматического отключения кабеля трудно обнаружить и исправить порванные жилы.

Кабель конструкции Мейнард (рис. 9), вполне оправдавший себя на практике в смысле защиты от электрического удара и от искрообразования, состоит из двух концентрических гибких металлических изолированных оболочек, окружающих рабочие и заземляющую жилы. Наружная металлическая оболочка кабеля заземлена, а внутренняя находится под небольшим напряжением (около 6 В), так как она

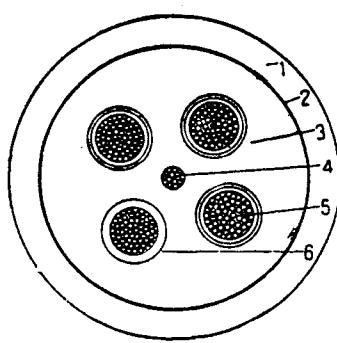


Рис. 10. Кабель с защитной оболочкой из 2 слоев изоляции с мятка-левой прокладкой:

1—наружная резиновая оболочка, 2—прорезиненная лента, 3—внутренняя резиновая оболочка, 4—вспомогательная жила, 5—рабочая жила с двойной изоляцией, 6—заземляющая жила

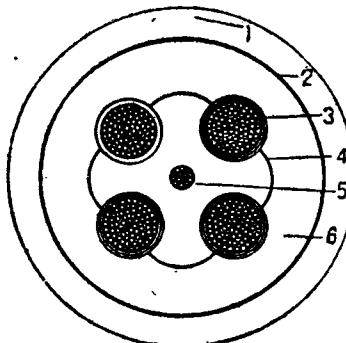


Рис. 11. Кабель с резиновыми про-филированным сердечником и пан-цирем:

1—наружная резиновая оболочка, 2—прорезиненная лента, 3—рабочая жила, 4—резиновый сердечник, 5—вспомогательная жила, 6—внутренняя резиновая оболочка

включена в цепь специального реле, питающегося от вторичной обмотки понизительного трансформатора. Наружная заземленная оболочка также включена в цепь реле.

В механическом повреждении кабеля происходит соединение между металлическими оболочками, причем возникающий во вспомогательной цепи ток действует на реле и тем самым кабель отключается от сети.

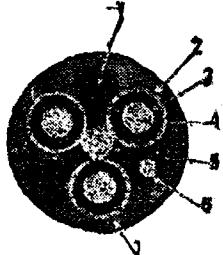


Рис. 12

Всесоюзный научно-исследовательский угольный институт разработал проект стандарта на гибкие кабели для шахт, в котором предусматривается два основных типа кабеля. В одном типе (рис. 10) защитная оболочка состоит из двух слоев изоляции с проложенной между ними мяткалевой лентой, вследствие чего увеличивается механическая прочность, гибкость и эластичность кабеля. Для второго типа (рис. 11) кабель применен резиновый профилированный сердечник, на который навиваются скручиваемые жилы, а также панцырь в виде двухслойной оболочки.

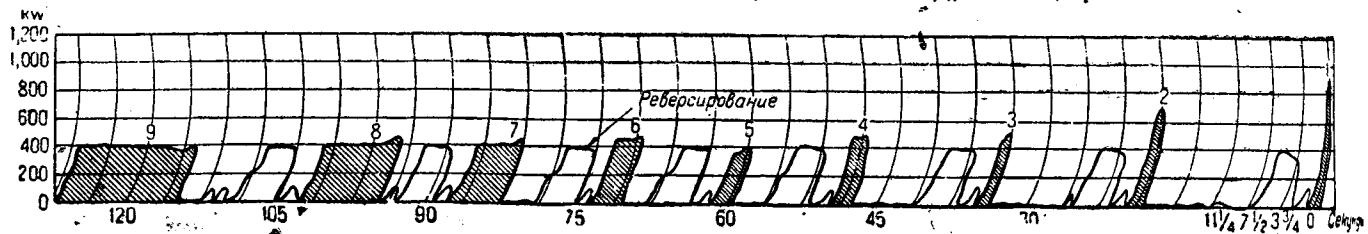
Максимальная длина отдельных концов кабеля установлена в 50 м. Рабочие, заземляющие и вспомогательные жилы получают различную расцветку.

Инж. М. Озерной

### Электрические станции

Гидроэлектростанция Сернф—Нидербах (Sernf-Niederbach) в Швейцарии. *VDI* № 12, 1932, стр. 301.

Для снабжения электроэнергией города N. Gallen и параллельной работы с районной сетью к концу 1931 г. в местечке Schwanden была построена весьма интересная гидростанция, использующая в одном общем машинном помещении воды р. Sernf при падении 230 м и аккумулированные воды р. Niederbach при падении 1 090 м.



1— $\cos \Phi$  синхронного двигателя—опережение; 2— $\cos \Phi$  синхронного двигателя; 3— $\cos \Phi$  индукционного двигателя; 4— $\cos \Phi$  генератора; 5— $\cos \Phi$  двигателя помп

Для вод р. Sernf установлены две двойные водоструйные турбины, каждая по 7 500 л. с., а для использования аккумуляторного бассейна р. Niederbach—две водоструйные турбины по 11 450 л. с.

Напорная система р. Sernf представляет собой штолю длиной 4 000 м, диаметром в свету—2 м, проложенную на 30 м ниже поверхности горы.

Пропускная способность штоли—6 м<sup>3</sup>/сек. Изнутри штоли выложена камнем; на участках, где имелась опасность разрыва подземных вод, сделана кольцевая защита и цемент облицовка. Электросварные напорные трубы диаметром в свету от 1 600 до 1 240 мм имеют толщину стенок 10 мм.

Напорный бассейн р. Niederbach вместимостью 3 100 м<sup>3</sup> образован главной стеной длиной 250 м и высотой 15 м из бетона. Расположен он на высоте 1 623 м над уровнем моря. Да из него устремляется к турбинам по напорной штоле длиной 3 900 м, диаметром 1,8 м в свету, при расходе 2 м<sup>3</sup>/с и по наружному напорному турбопроводу длиной 2 070 м имеющему падение 1 050 м при уклоне 120%. Последний состоит из стальных сварных труб общей длиной 1 470 м, диаметром в свету от 850 до 700 мм и толщиной стенок от 21 до 25 мм. К этому трубопроводу присоединен временно от из двух трубопроводов длиной 600 м из цельнотянутых стальных труб диаметром 500 мм в свету и толщиной стенок 21 до 25 мм.

Инж. З. Рейхен

### Электромашиностроение

Привод реверсивного стана синхронным двигателем<sup>1)</sup>

В применении к приводу реверсивного стана синхронный двигатель появляется впервые. Такая установка имеется на заводе Dallas Brass and Company at Chicago Ill., где работа стана заключается в прокатывании медных плиток в пакеты. Синхронный двигатель до сего времени считался неподходящим для реверсивного привода. Однако на означенной установке работа синхронного двигателя дала лучшие результаты, чем это предполагалось вначале. Реверсивный двигатель заменил ранее работавший мотор с одним направлением вращения. Стан работал впервые таким образом, что медная плитка передавалась обратно к передней стороне прокатки стана после каждого прохода. Замена реверсивным двигателем имела целью улучшить работу и увеличить производительность прокатки. Синхронный двигатель реверсирует максимум в течение 5 сек., при более продолжительном периоде реверсирования получался бы брак. Здесь, наоборот, период реверсирования значительно больше, чем это допускается в работе блюминга. Синхронный двигатель в рассматриваемой установке может быть реверсирован в  $4\frac{1}{2}$  сек., что, как это проверено, равно или меньше времени, требуемого для установки наконечника винта и кантовки металла.

Как видно из диаграммы (рис. 1), скорость реверсирована обычно больше скорости, требуемой для подготовки металла. Скорость прокатки при синхронном двигателе абсолютно постоянна. Скорость на рассматриваемом прокатном стане не требует регулировки. Производительность стана прежде была около 20 плиток в час, с установкой реверсивного двигателя это количество возросло до 30 в час.

Оборудование синхронного двигателя по первоначальной стоимости является наиболее дешевым в сравнении с реверсивным приводом с индукционным двигателем и почти в 3 раза дешевле оборудования постоянного тока. Низкая стоимость синхронного двигателя обясняется простотой мотора, аппаратуры управления и малой площадью, требующейся для его установки. Синхронный двигатель требует приблизительно на 14 м<sup>2</sup> площади меньше, чем мотор постоянного тока вместе с генераторным агрегатом.

В отношении к. п. д. синхронный двигатель имеет некоторое преимущество перед реверсивным индукционным двигателем с контактными кольцами, как это иллюстрируют сравнительные кривые (рис. 2). При полной нагрузке к. п. д. пот

1) S. P. Bordas, „El. World“, April 1932.

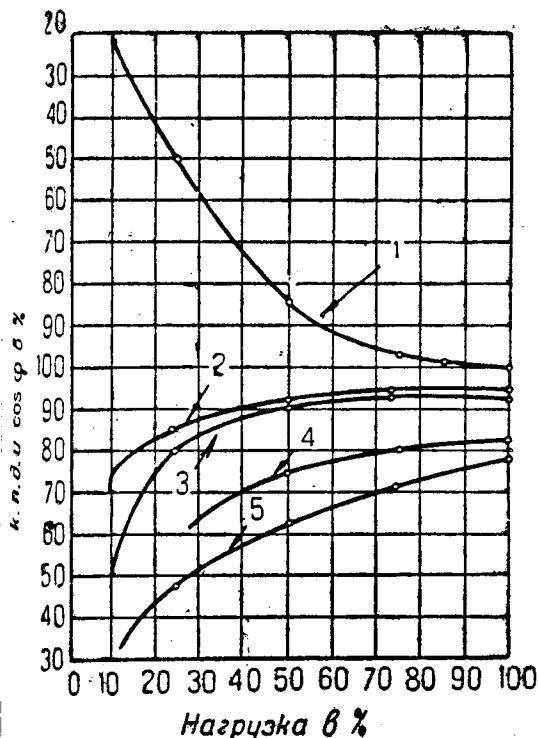


Рис. 2

При частичной нагрузке и холостом ходе стана к. п. д. фазного двигателя заметно выше. Индукционный двигатель с фазным ротором дает несколько лучший к. п. д. при холостом, чем синхронный двигатель, но при работе под скоростью последний имеет меньшие потери. Коэффициент полезного действия синхронного двигателя (включая на вентиляцию) составляет 95,5% при полной нагрузке при холостом ходе стана. Сравнительно с реверсивным типом постоянного тока синхронный двигатель имеет меньшие преимущества благодаря более высокому к. п. д. является результатом потерь на преобразование перемешки тока в постоянный в мотор-генераторе. Экономия в энергии рассматриваемой установке как результат более высокого к. п. д. синхронного двигателя по сравнению с оборудованием постоянного тока составляет в среднем 3 долл. за восьмичасовой рабочий день.

При полной загрузке стана синхронный двигатель в течение полного промежутка времени 50—70% работает при уровне мощности, равном единице или опережающем, во время, во время реверсирования, при отстающем уровне мощности приблизительно в 25%. При работе таким графиком загрузки стана время работы с опережающим коэффициентом мощности больше. Сравнительно высокий при отстающем коэффициенте мощности во время реверсирования компенсируется отстающим током других синхронных машин завода.

В оборудовании синхронным двигателем энергия для пиков во время прохода металла и реверсирования может быть подана из силовой сети, в то время как при постоянного тока и мотор-генераторном агрегате с машинами в значительной степени сглаживаются. В рассматриваемой установке этот фактор не имеет значения, так как сеть, питающая завод, достаточно велика, чтобы снять большие пики. Пики нагрузки, конечно, не отражены на оплате, максимум спроса, так как они мгновенны, и если спрос учитывается в среднем за период, превышающий 15 мин. Влияние пиков при нагрузке и реверсировании на регулирование напряжения ничтожно.

Управление по содержанию при синхронном реверсивном двигателе несложное. Управление с воздушными контакторами можно просто, и требует только смазывания контактов и избегания загрязнения.

Синхронный двигатель должен работать и в рассматриваемой установке с надежностью, совершенно одинаковой с любыми моторными приводами других типов. Осмотр конструкции деталей должен показать, что возможность, остановки мотора, которая вызвала бы остановку стана, отсутствует. Как видно из рис. 3, имеются некоторые конструктивные особенности, благодаря которым улучшается отвод тепла, увеличивается стойкость против усилий при реверсировании и сводится к минимуму максимальный, но в общем коренных отклонений от стана синхронного двигателя нет.

Статор представляет стальную конструкцию, предусматривающую соответствующую вентиляцию; статорные катушки изолированы слюдой и крепко закреплены, чтобы свести к минимуму вибрацию. Роторная звезда сделана из стальных пластин, что обеспечивает легкость и прочность. Катушка полюсов представляет шинную обмотку, изолированную асбестом. Во избежание чрезмерного нагревания полюсных сердечников во время реверсирования последние делаются из тонких стальных пластин вместо обычных тяжелых листов. Чтобы рассеивание тепла в коротковолновой обмотке происходило быстро, кольца этой обмотки состоят из отдельных звеньев, из которых каждое приварено к стержням обмотки. Эти звенья имеют "сотовую" структуру с большими промежутками для удаления тепла, выделяемого стержнями.

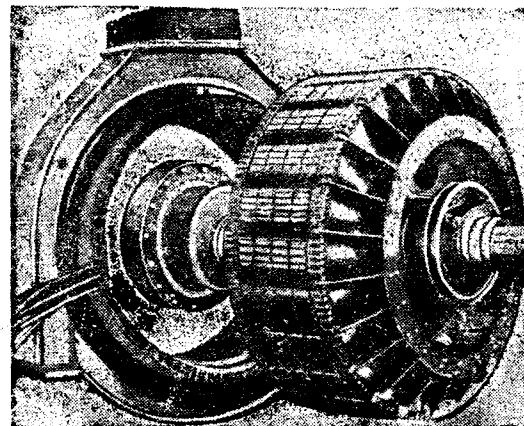


Рис. 3

Принудительная вентиляция получается при помощи вентилятора, смонтированного в отверстии крышки статора. Полное закрытие мотора было найдено нецелесообразным в целях охлаждения, и в продолжение первых нескольких месяцев работы закрывающими колоколообразными крышками не пользовались. Позже было обнаружено, что вследствие близости мотора к стану медная пыль всасывается в обмотку, и во избежание этого защитная крышка была снабжена рукавом, через который засасывается холодный воздух извне.

Мотор реверсируется главным переключателем с сигнальными лампами, помещенными около стана. Для применения пуска по способу разделенных обмоток обмотка двигателя состоит из трех параллельных цепей. Защита от перегрузки осуществляется автоматическим масляным выключателем на главном вводе. Реверсирование осуществляется двумя комплектами

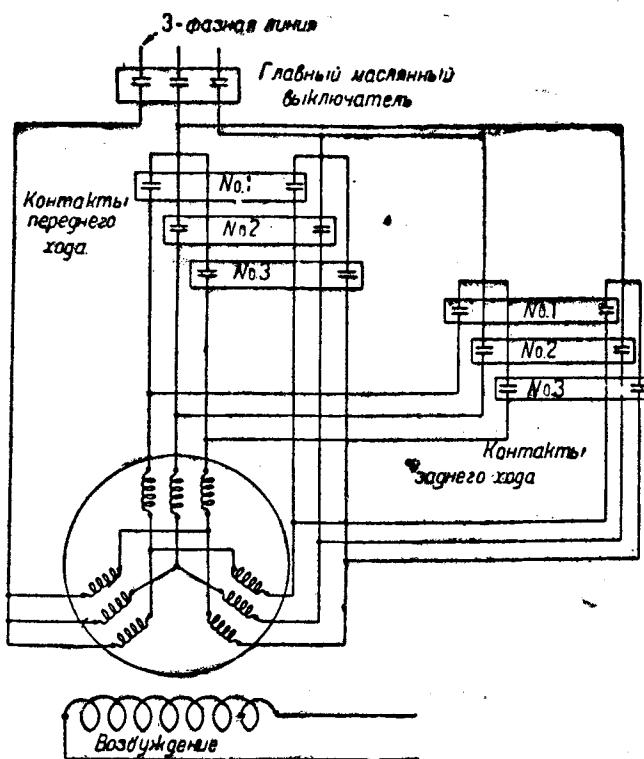


Рис. 4

контакторов, состоящими каждый из трех двухполюсных воздушных контакторов. Одна из трех статорных обмоток присоединяется обычным путем, поэтому и применяются двухполюсные контакторы, а не трехполюсные. Каждый двухполюсный контактор присоединяет одну из трех обмоток двигателя к линии (рис. 4). Замыкание всех контакторов происходит последовательно одно за другим в течение долей секунды. Продолжительность паузы между замыканиями контакторов как раз равна времени, необходимому для того, чтобы предыдущий контактор замкнулся. Такой способ пуска дает возможность применять более легкие выключатели (контакторы), чем это было бы необходимо, если бы весь ток нужно было прерывать одним выключателем. Весь ток в 2 400 А выключается ступенями по 800 А. Применены два реле синхронизации, работающие по частотному принципу: одно для прямого хода, другое для обратного.

Возможности применения синхронного двигателя для крупных реверсивных прокатных станов ограничены. Однако рассматриваемая установка показывает пригодность синхронного двигателя для некоторых небольших прокатных станов, где можно удовлетвориться постоянной скоростью и где период реверсирования  $4 \div 5$  сек. не дает дефектной продукции. Для этих небольших реверсивных станов, к которым требуются двигатели мощностью около 1 000 л. с. и менее, синхронный двигатель дает определенную экономию в первоначальных и эксплоатационных затратах. Описанная установка является также веским доказательством надежности современных синхронных двигателей и их способности развивать высокие вращающие моменты.

Обраб. инж. Р. Хайнер-

### Техника высокого напряжения

Развитие выключающих механизмов, The Metropolitan-Vickers gazette, сентябрь 1932, стр. 360

Фирмой Metro-Vickers для заграничных гидроэлектростанций строятся 12 масляных выключателей на 800 А 161 кВ с разрывной мощностью в 2,5 млн. кВА. Они являются самыми большими из всех до сих пор построенных выключателей; каждый бак имеет в диаметре 1 м, в высоту 6 м и вмещает в себя 1 830 галонов масла. Масляные выключатели запроектированы с системой съемных проходных изолаторов, причем установка их или удаление производится в минимум времени, не требуя опорожнения и вновь наполнения бака—чрезвычайно длительной операции.

При трехфазной системе выключатель состоит из трех отдельных единиц, связанных между собой валом, приводящим в движение особым мотором при включении или выключении.

Контакты употреблены специального типа, обеспечивающие уменьшение разрывного периода и последовательность операций.

Инж. Трейвас

E. J. Porter. Переброска проводов линии передачи через каньоны при помощи пушки, El. W. № 12, 1932, стр. 530.

При монтаже линии передачи 11 кВ Southern Sieras Power Co между Camp-Cillare (каньон Santa Ana) и Seven Oaks Hotel (каньон Santa Ana) с успехом была применена пушка для раскатки проводов через каньоны и сильно лесистую местность; наличие больших деревьев и толстых пней должно было сильно удорожить раскатку линии без применения пушки, так как обычный способ потребовал значительной расчистки трассы. Пушка была взята, обычно применяемая для пере-

броски каната на терпящие аварии корабли. Снаряд был лан из старого стального вала диаметром 60 мм, длиной 380 мм с отверстием 16 мм, в которое вставлен болт и нюлою 460 мм с ушком с привязанным к нему отрезком стального троса диаметром 6,5 мм. Вес снаряда около 64 кг; конец троса прикреплялся манильский канат диаметром 4,5 мм длиной около 460 м. Канат складывался вблизи пушки в бухту размоткой изнутри. Дальность действия пушки была больше, чем требовалось длиной наибольшего пролета. Угол возвышения пушки и количество взрывчатого вещества взрывались таким образом, что снаряд у цели падал почти вертикально. После небольшой практики попадание стрелявших было точное; в некоторых случаях канат попадал прямо на верту.

Инж. П. Требуи

Влияние недлинных кабелей на бегущие волны, № 11, 1932, стр. 268.

В Америке были произведены интересные исследования на опытной линии 5,6 км с целью выяснения затухания действия, оказываемого присоединенными к ней кабелями: волны перенапряжения.

Было заснято 125 осциллограмм, которые дали обяснение имевшим место явлениям. Опыты проводились в разных условиях, как-то: с присоединением кабелей и без них, с изоляцией от грозовых разрядов и без таковой и т. п. Из опытных волн две самые характерные определяются следующими:

Опытная волна № 1, крутой фронт, низкое напряжение  $U_{\text{ниж}} = 92$ ,  $t_1 = 8$ ,  $t_2 = 50$ .

Опытная волна № 2, крутая волна, высокое напряжение  $U_{\text{верх}} = 225$ ,  $t_1 = 8$ ,  $t_2 = 15$ .

Здесь  $U_{\text{верх}}$  — наивысшее напряжение в киловольтах, упавшее № 52 при цельной линии;  $t_1$  — время в микросекундах, какое  $U_{\text{верх}}$  падает до 50% своего значения в том же измерении.

В результате опытов установлено, что изменение волны проходит ее через кабель характеризуется временем  $t_1$ , которое зависит от крутизны фронта волны, от формы ее вершины, от длины кабеля и размера волнового сопротивления линии и кабеля; время  $t_1$  волны № 1 изменяется с 8 мес в 12 мес при кабеле длиной 150 м и на 24 мес при кабеле 300 м.

Из заснятых осциллограмм видно также уменьшение  $U_{\text{ниж}}$  оно снижается на 16% при кабеле длиной 150 м и на 24% при кабеле в 300 м. Разница зависит от формы вершины бегущей волны; если вершина достаточно пологая, то кабель имеет достаточно времени, чтобы зарядиться почти на напряжение  $U_{\text{верх}}$  и разница будет сравнительно невелика.

У волны № 4 (острая вершина) разница составляет 46%. Осциллограммы показали, что короткие кабели (150 м) эквивалентны сосредоточенной емкости, когда время прохождения лобовой части волны достаточно велико (плоская вершина) по сравнению с временем, которое необходимо изображение волны от кабеля.

Уменьшение  $U_{\text{верх}}$  составляет 22% у волны № 1 и 24% волны № 4.

Короткие кабели нельзя считать поэтому достаточными защитными средствами для снижения ударов перенапряжений, особенно если последние, как часто бывает, имеют острую вершину.

Инж. Э. Рейхин

ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Г. Г. Андреев

РЕДКОЛЛЕГИЯ: инж. Е. С. Аваков, проф. В. И. Бейц, инж. В. Е. Банов, инж. М. Н. Грачевская, инж. Я. А. Климовицкий, акад. Н. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. И. Савенков, проф. М. А. Шаталов, проф. Я. Н. Шапирей.

ОТВ. РЕДАКТОР инж. И. А. Савенков

Сдано в набор 10/IV. Подписано к печати 16/V—33 г. Бумага 62×94. Печатных листов 7. Печатных знаков в листе 700

Уполн. Главл. В—57517

Вологодская областная универсальная научная библиотека

Москва, тип. Госбанка СССР, Юшков пер., 10. Зак. 1901.

www.booksite.ru

Тираж 1200

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1933 ГОД

на научно-технический журнал

# „Электрические станции“

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО

4 год издания

10 НОМЕРОВ В ГОД

**ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:** Общие технико-экономические проблемы планирования. Освещение отдельных планов электрификации наиболее характерных районов Союза. Общий план электрификации. Технические проблемы электрификации. Критический анализ отдельных проектов крупного электростроительства. Стандартизация и типизация. Описание и критический разбор строительных и монтажных работ. Новые типы и конструкции оборудования. Описание аварий и метод их ликвидации. Организация эксплуатации. Подготовка кадров. Организация ремонтного хозяйства. Режим работы станций. Распределение нагрузки. Регулирование напряжений. Распределение энергии в крупных городах. Вопросы расхода на собственные нужды. Обеспечение надежности параллельной работы станций. Организация диспетчерской службы и опыт ее работы. Централизация управления и применение автоматических приборов. Статистика, информация, библиография, хроника.

**ЖУРНАЛ РАССЧИТАН:** на инженеров, квалифицированных техников, учащихся вузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год 10 номеров . . . . . 18 р.

на 6 мес. 5 . . . . . 9 р.

Отдельный номер 1 р. 80 к.

ЖУРНАЛ ПРИНИМАЕТСЯ ВО ВСХ МОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ, У ПИСЬМОНОСЦЕВ И ВО ВСХ ОТДЕЛЕНИЯХ И МАГАЗИНАХ КНИГОЦЕНТРА

Розничная продажа производится во всех киосках Союзпечати

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1933 ГОД

на научно-технический журнал

# „Тепло и сила“

орган Главэнерго

4 год издания

10 НОМЕРОВ В ГОД

**ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:**

Вопросы проектирования станций высокого давления и теплоэлектроцентралий. Термовые схемы станций. Советские конструкции турбин высокого давления, высоких температур и большой мощности. Термофикационные турбины. Стандартизация схем турбинных установок. Советские котлы высокого давления и большой паропроизводительности. Вопросы экранирования. Стандарты котлов и разработка типовых котельных агрегатов. Котлы с естественной и принудительной циркуляцией. Сжигание пылевесорных местных топлив. Топливоподача. Топливоприготовление. Золо- и шлакоудаление. Золо- и сороудаление. Стандартизация топочного оборудования. Водо-воздухоподогреватели. Аккумуляторы. Советские конструкции и стандартизация водоочистителей, деаэраторов, фильтров, испарителей, умформеров и насосов. Типовые схемы теплового контроля. Измерительные приборы. Вопросы теплофикации промышленности. Схемы тепловых сетей. Типовые расчеты сетей. Теплопровода. Изоляция. Монтаж турбинного и котельного оборудования. Наладка и пуск оборудования. Обмен эксплоатационным опытом. Вопросы подготовки кадров. Аварии теплосилового оборудования и методы их ликвидации. Хроника. Научно-техническая информация. Критика. Библиография.

**ЖУРНАЛ РАССЧИТАН**

на инженеров, техников, учащихся вузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

**ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:**

на год 10 номеров—18 р., на 6 мес. 5 номеров—9 р., Отдельный номер—1 р. 80 к.

ЖУРНАЛ ПРИНИМАЕТСЯ ВО ВСХ МОЧТОВЫХ ОТДЕЛЕНИЯХ, У ПИСЬМОНОСЦЕВ, ВО ВСХ ОТДЕЛЕНИЯХ И МАГАЗИНАХ КНИГОЦЕНТРА

Розничная продажа производится во всех киосках Союзпечати

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 год на ЖУРНАЛ

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И ЭЛЕКТРОМОНТЕР

орган Всесоюзного Электротехнического Общества ВЭО

10 номеров в год

Год издания 11-й

**Задачи журнала:** освещение вопросов монтажа и применения электротехнического оборудования в различных отраслях народного хозяйства. Популяризация знаний в области электротехники сильных токов. Обмен опытом между работниками электромонтажей и электрохозяйства. Информация о достижениях союзной электропромышленности. Информация о новостях иностранной техники в области электрификации и сильноточной промышленности.

**Журнал рассчитан** на квалифицированных электромонтеров, студентов, младший и средний техперсонал.

**Подписная цена:** на год 7 р. 20 к., на 6 мес. 3 р. 69 к. Отдельный номер 72 к.

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 г. на ЖУРНАЛ

# „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Год издания 54-й

Орган союзных электроэнергетических учреждений и организаций (ВЭО, Главэнерго, НКТП СССР, Энергетического института, Академии наук СССР и ВЭК)

20 номеров в год

Подписная цена:

на 12 мес. . . . . 24 р.  
на 6 мес. . . . . 12 р.  
Отдельный номер 1 р. 20 к.

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

**Программа журнала:** Современные научно-исследовательские, теоретические и практические проблемы электротехники и инженерии, вопросы электро-машинно- и аппаратуростроения 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 крупных лабораторий. Освещение работы важнейших энергетических съездов, конференций и ВЭНИТО. Основные вопросы подготовки кадров, рационализации и стандартизации в электротехнике и электрохозяйстве. Критическая библиография вновь выходящей электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранной электротехнической печати.

Подписка принимается во всех магазинах и отделениях Книгогенцтра, у письмоносаца и ПОЧТЕ. Розничная продажа производится во всех киосках Союзлэйтати