

1933

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

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 8



МОСКВА  
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека  
[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)

Г-  
зы-  
для  
еще  
высту-  
орнтон\*



НИТИ — СССР

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ  
ПО ТЕХПРОПАГАНДЕ

**„КНИГОСБЫТ“**

**Внимание**

ТЕХПРОПОВ,

ТЕХНИКУМОВ,

КУРСОВ,

ТЕХКРУЖКОВ

И

КРУЖКОВ

ПО

ТЕХМИНИМУМУ

**ВЫПУСКА ИЗ ЦИРКУЛЯРА  
ТЕХПРОПА НКТП СССР**

.... постановлением коллегии НКТП СССР издание наглядных пособий по техпропаганде по линии тяжелой промышленности сосредоточивается в издательстве ОНТИ НКТП СССР.

.... всю свою работу издательство ведет в тесном контакте с объединениями, трестами, н.-в. институтами, ВТУЗами и предприятиями НКТП....

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

Вышли в свет и поступили в продажу серия диапозитивов на стекле, являющиеся пособием при прохождении техникума

## ЭНЕРГЕТИКА

НВЕСКИЙ ШОРИН	Уход за котлом . . . . .	Калит. надрез. 38	Цена 16.50
	Пылеугольное отопление паровых котлов, ч. I-я, II-я и III-я . . . . .	93	32.55
ЛИХАЧЕВ	Прокладка кабеля . . . . .	41	14.35
ЛЕБЕДЕВ	Кабельное производство . . . . .	41	20.50
НВЕСКИЙ	Конструкция современных котлов . . . . .	41	14.35
ШИШКОВ	Газогенераторы . . . . .	32	11.20
СМИРНОВ и ВОЗЛОВ	Моторный привод в промышленности . . . . .	21	7.35
СМИРНОВ	Электроснабжение (4 цветных) . . . . .	40	14.—
ЛИХАЧЕВ (р.а.)	Монтаж чугуна и стальных соединительных кабельных муфт . . . . .	33	11.55
СМИРНОВ	Энергетические ресурсы для целей электрификации . . . . .	28	9.80
СЕКТОРОВ	Мощные ветро-силовые установки . . . . .	35	12.25
САЛИКОВ	Транспорт тепла при электрификации . . . . .	42	14.70
БАБАЙЦЕВ	Изоляция деталей паропроводов . . . . .	33	11.55

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

При заказе необходимо перевести на расчетный счет Книгосбыта ОНТИ в Моск.-Ленинской н-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 октяб., 28,  
г. Ростов-на-Дону, ул. Зигельса, 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.

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

8

1933

Орган ВЭО и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, 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.
Новая—Будем бдительны на своих постах . . . . .	1	Инж. Н. Перевозский—Рациональное напряжение на	
к. В. И. Бунимович—Опыты по разрушению атома	4	важних синхронных генераторов большой мощ-	39
к. И. Шенфер—Динамомашин для дуговой сварки	9	ности . . . . .	
к. Л. М. Шильдинер—Новый тип осветительной	11	Проф. Р. А. Лютер, инж. Ю. А. Шредер, проф. Б. П.	40
динамо для тракторов . . . . .		Апаров—О статье Перевозского . . . . .	
к. Н. С. Сиунов и инж. С. К. Борисов—Новые	15	Проф. Л. С. Бобровский—За рационализацию нашего	43
схемы безреостатного пуска в ход асинхронных		технического языка . . . . .	44
двигателей . . . . .		Обзор поступивших статей . . . . .	
к. А. Н. Ларионов—Купроксный вентиль как за-	16	Инж. Ф. Вейтков—Новая редакция правил безопасно-	45
щита обмоток возбуждения от перенапряжения .		сти и правил устройства и содержания для элек-	
к. Б. П. Апаров—К вопросу построения мощных	19	тротехнических сооружений сильного тока низ-	
двухполюсных турбогенераторов . . . . .		кого и высокого напряжения . . . . .	
к. С. Я. Зак—Испытание на разгон ротора Днепров-	21	Библиография . . . . .	48
ского турбогенератора . . . . .		Хроника . . . . .	49
к. А. Н. Сальников—Гашение магнитного поля ге-	25	Из книг и журналов . . . . .	52
нераторов по схеме К. И. Шенфера . . . . .			
Майер—Влияние секционирования на устойчивость .	29		
к. Анашкин Д. И.—Из опыта электрооборудования	35		
Горьковского автозавода . . . . .			

## Будем бдительны на своих постах!

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

Это вскрытое на суде гнусное предательское дело находилось так же, как и прежние вредительские деяния, в тесной связи с заграничными империалистическими империалистическими крупами, в данном случае английскими.

Военный, экономический и политический шпионаж наряду с подкупом, вредительством и прямым разрушением оборудования был главным методом шайки преступников как иностранцев, разрывавшихся коммерческой и инженерной деятельностью в фирме Метро-Виккерс, так и русских государственных служащих, занимавших ответственные технические должности на станциях СССР.

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

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

Общественное мнение всех стран, взбудораженное воплями 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.

<sup>1)</sup> Во главе этой группы, как известно, стоял Торнтон, англичанин по происхождению, родившийся в России, сын крупного петербургского фабриканта, «петерпавловский» от советской власти. Это сын того самого фабриканта, который выделялся своим притеснением рабочих в старое «доброе» для фабрикантов время и против которого Ленин боролся еще в начале своей революционной деятельности—в 1895 г., выступая в листовке «К рабочим и работницам 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 слушающие 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-V сети, к которой присоединен Кремль, красноармейские казармы, вся радиопередача, водопровод „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 Монкгауза—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 объясняют их „объективными“ причинами.

Враг здесь перешел от методов прямой борьбы к „тихой сапе“. Характерным для данного процесса является и то, что вредительство измещало, 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 стана на Златоустинском заводе; в Зуевке в генератор бросаются болт, камень, кусок дерева, в Иванове в мотор, приводящий в движение цепные решетки, сыплется песок) или разрезался кабель, подводящий к моторам. На Ивановской станции Лобанин 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 закрытию вентиляционных каналов (на Ивановской станции). Рвутся телефонные провода (там же), впускается вода из остановленного на зиму котла (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 меченных недочетах оборудования и монтажа также 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. Минутаж небольшого котла там же длится в течение 2½ лет и т. д.

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

ного ущерба всему народному хозяйству. Этим объясняется мягкий приговор суда.

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

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

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

Этот недостаток бдительности усилился еще отсутствием подлинного технического контроля работы.

Помимо этого необходимо признать в ряде случаев и недостаточность технической квалификации преданных советской власти техников и инженеров, что облегчило возможность некоторым ранее подготовленным вредителям занимать свои посты и втирать очки остальному персоналу станций.

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 всех 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 воздать 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, УФИ

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 атома 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 внутриядерная энергия нового элемента, именно кремния, меньше внутриядерной 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 нейтрон. Бомбардирующая  $\alpha$ -частица остается в новом ядре. Таким

путем, например, ядро бериллия превращается в ядро углерода.

Нейтрон—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 нейтрон 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 нейтрон того же характера, что и связь между электронами и протонами, входящими в состав атомных ядер. Нейтрон 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 нейтрон, 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 электрона с протоном, каким является нейтрон, совершенно необъяснима с точки зрения современной квантовой механики, точно так же, как эта теория не в состоянии объяснить и вообще явления 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 бомбардируя ядра  $\alpha$ -частицами из радиоактивного препарата, добился разрушения ядра азота, казалось, что наступает новая эпоха в изучении атомного ядра. Казалось, что наконец-то физики научились действовать на ядра частицами большой энергии, которые производят в ядрах заметные изменения. И действительно, этот метод дал некоторые новые сведения о ядре, о его составе, частях и о превращениях в них. Однако, этот метод в очень короткий срок себя исчерпал.

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

Квантовая механическая теория ядра, разработанная Гамовым, которая более или менее отвечает на вопрос проникновения положительно заряженных частиц внутрь ядра, давала основанную надежду, что лучшими снарядами для исследования ядра будут протоны, т. е. ядра водорода, так как они значительно легче и обладают меньшим зарядом, чем ядра гелия. Кроме того, при

ение протона к ядру может вызвать громадное выделение 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 зарядные трубки, которые могли бы выдерживать эти напряжения и разработать способы получения в этих трубках протонов.

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

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

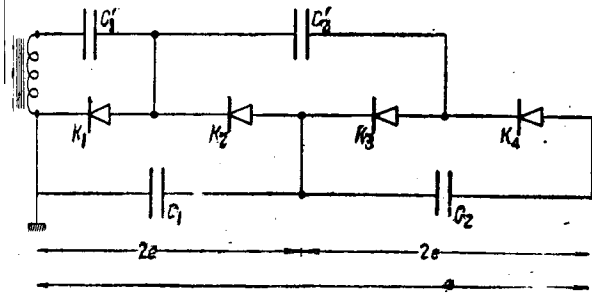


Рис. 1. Схема выпрямительной установки с умножением напряжения.  $T$  — трансформатор;  $K_1, K_2, K_3, K_4$  — кенотроны;  $C_1, C_2, C_1', C_2'$  — конденсаторы

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 трубки, в которой должны держаться протоны. Постройка трубки на столь высокие напряжения представляет большие затруднения. Применяемые до настоящего времени высоковакуумные трубки (рентгеновские трубки, катоды) могут работать при напряжениях не выше  $250 \div 300$  kV. Две причины затрудняют создание высоковакуумной трубки на высокие напряжения. Во-первых, выделение под действием высокого напряжения остатков газа, абразивного стенок трубки и электродами. Выделяющийся газ «портит» вакуум; в трубке возникает электрический разряд, что создает большую опасность для источника высокого напряжения. Поэтому напряжение, приложенное к трубке, сильно падает. Другая причина — это электрический пробой стенок трубки. Пробой происходит вследствие случайного накопления зарядов в том или другом месте внутренней поверхности стенки трубки. Сближение внутренней и внешней поверхностями создает вследствие этого разность потенциалов, которая часто приводит к разрушению стенки. Создание условий, предупреждающих возникновение разряда и пробоя трубки при очень высоких напряжениях, является весьма технически слож-

нелегким делом. Это осложняется еще тем обстоятельством, что теория электрического разряда, в особенности при очень высоких напряжениях, еще недостаточно хорошо разработана. И при конструировании трубки, предназначенной для работы на этих напряжениях, приходится ограничиваться лишь соображениями качественного характера и часто идти 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 Греймахера, 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 сколько 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 kV и, пользуясь схемой, дающей четырехкратное повышение напряжения трансформатора, они могли получать потенциалы до 800 kV.

За недостатком места мы не будем останавливаться на конструкции кенотронов и перейдем к описанию трубки. 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 трубки, 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 крышке основной трубки. Водород просачивался

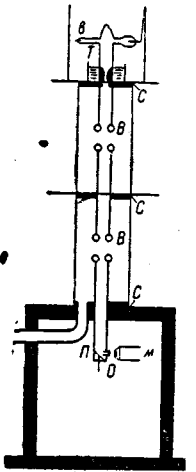


Рис. 2. Трубка для получения очень быстрых протонов



из колбы через вентиль *b*. Разрядная трубка питалась от особого трансформатора на 60 kV. 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 трубки производилась диффузионным масляным насосом.

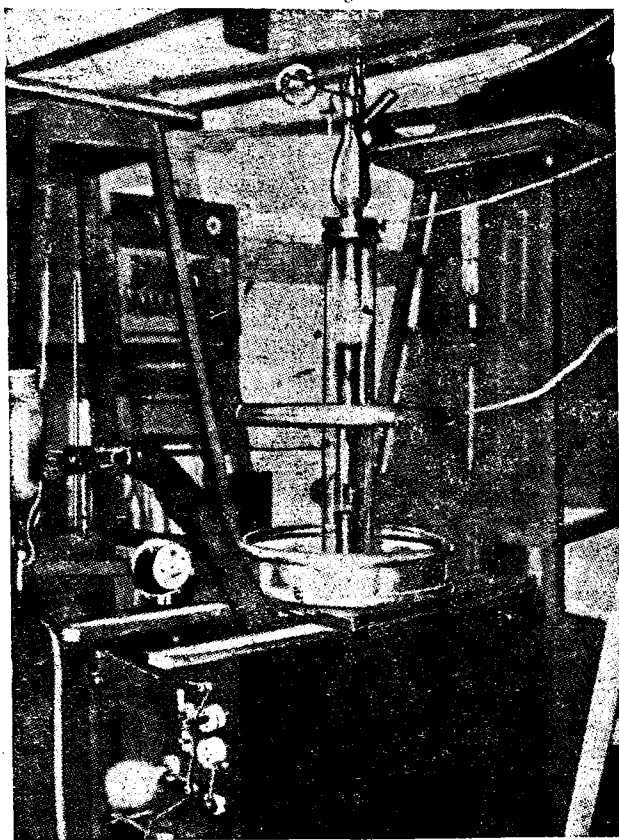


Рис. 3. Фотография трубки, построенной в УФТИ

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

Попавшие в трубки протоны, приобретая полную скорость, попадают на пластинку *П*—из исследуемого вещества. Пластина *П* 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 *О*, закрытое слюдяным листком, попадает на расположенный перед окошком экран, покрытый слоем сернистого цинка. Эта частица вызывает на экране видимую в микроскоп вспышку, так называемую сцинтилляцию, которая и указывает на то, что произошло разрушение ядра. Первым удалось разрушить

ядро атома лития (март 1932). Разрушение ядра лития заметно по сцинтилляциям уже начиная с ускоряющих напряжений всего 125 kV и тоном 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 протонов, произведшего разрушение ядра. Но вероятность такого процесса оказывается очень малой. Например, при ускоряющем напряжении в 250 kV всего один протон из миллиарда производит разрушение ядра лития. Остальные же протоны не 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 трубки, построенной в УФТИ. В настоящее время в УФТИ заканчивается постройкой более мощная установка и постоянное напряжение и соответствующая разрядная трубка и начинаются опыты по изучению ядер более тяжелых элементов.

Метод постоянного напряжения имеет больше преимуществ 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 kV. Дальше повышать напряжение очень трудно из-за очень больших затруднений, которые встречаются при разработке разрядной трубки 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 получить более высокие напряжения. Поэтому, приблизительно два года тому назад, в УФТИ начали разрабатывать другой метод, дающий возможность сравнительно просто получать высокие напряжения и строить высоковольтные трубки, 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 разрабатывали американские физики Тюв, Хофстед и Даль в Вашингтоне. Они получили напряжение до 5000 kV, 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 kV и соответствующая трубка, выдерживающая без боя напряжение до 2000 kV.



Трансформатор Тесла представляет собою высокочастотный резонансный трансформатор с большим коэффициентом трансформации, работающий в затухающих колебаниях. Схема его изображена на рис. 4. Самоиндукция первичного контура  $L_1$  образована всего из нескольких витков, самоиндукция вторичного контура  $L_2$  состоит из катушки большим числом витков. Емкостью вторичного контура служит собственная емкость катушки самоиндукции и емкость шара  $C_2$ . Выпрямленное при помощи кенотрона напряжение от обычного трансформатора подводится к зажимам  $A$  и  $B$ . Напряжение, равное примерно нескольким киловольт, заряжает конденсатор  $C_1$ . В тот пор, пока не наступает пробой искрового промежутка разрядника  $D$ . Тогда в колебательном контуре  $L_1, C_1$  и в индуктивно с ним связанном 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 конец вторичной катушки, находящейся под большим потенциалом, насаживается мегаллический шар  $C_2$ ; кроме того, первичная и вторичная спирали трансформатора погружаются в масло. Разрядная трубка помещается также в масле внутри вторичной спирали трансформатора.

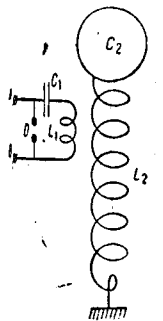


Рис. 4. Схема трансформатора Тесла.  $L_1$  — самоиндукция первичного контура;  $L_2$  — самоиндукция вторичного контура;  $C_1$  — конденсатор первичного контура;  $D$  — разрядник

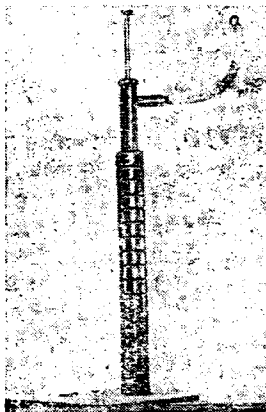


Рис. 5. Трубка для получения быстрых протонов методом трансформатора Тесла

На рис. 5 дана фотография трубки, сконструированной УФТИ, выдерживающей напряжение 2000 kV. Трубка состоит из 28 отдельных секций. Секции сделаны из стекла (советского пайтла), рецепт которого был недавно найден на американском стекольном заводе. Протонами, ускоренными в этой трубке, удалось разрушить, о чем упоминалось выше, ядра атомов лития и бора. 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 и постоянного напряжения. Такие генераторы имеют применение в технике высоких напряжений, где требуются для исследований высоковольтных линий передачи электрической энергии. В Америке это

строено, предназначенный для этой цели, генератор на напряжение до 10 000 kV. Для целей изучения атомного ядра, методом ударного генератора работают германские физики Браш и Ланге. Браш и Ланге работают с ударным генератором на 2 400 kV. Ими построена трубка, предназначенная для работы с ударным генератором. В настоящее время строится ударный генератор на 7 000 kV. Конденсаторы этого генератора будут погружены в железный бак, наполненный маслом. Давление внутри бака для повышения изолирующей способности масла может быть доведено до 6 ат.

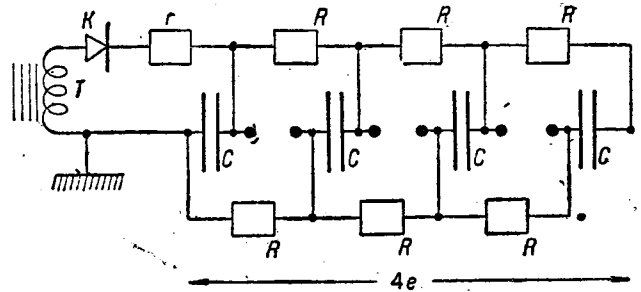


Рис. 6. Схема ударного генератора

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 проскакивает 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 kV, изолирующие шайбы сделаны из иелона. Такая трубка оказалась безопасной в смысле пробоя и в ней удалось избежать возникновения мешающего разряда при напряжениях в 2400 kV.

Работы методом ударного генератора ведутся и в СССР. В УФТИ имеется ударный генератор (построенный осенью 1931 г.) на 1500 kV 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 kV. 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-

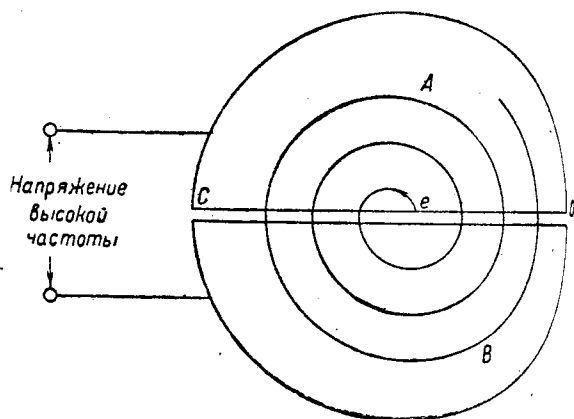


Рис. 8. Схематический чертеж прибора Лауренса и Ливингстона для получения быстрых протонов

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

Механизм получения быстрых протонов таков. Пусть в некоторый момент, когда напряжение между обеими половинами цилиндров 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. Если за это время направление электрического поля успело как раз измениться на противоположное, протон снова получает дополнительную скорость, соответствующую той же величине напряжения, и приобретенная протоном скорость уже будет соответствовать удвоенному напряжению—2*e*.

Таким образом, протон последовательно пробегает полуокружности все возрастающего радиуса и каждый раз при прохождении области *C* испытывает ускорение. Пройдя *n* полуокружностей, протон приобретает скорость, соответствующую *n* кратному основному напряжению *nE*. Для того, чтобы протон в подходящий момент попал 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 Gauss 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  $10 \div 9$  А, 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 закончим описание различных способов получения быстрых

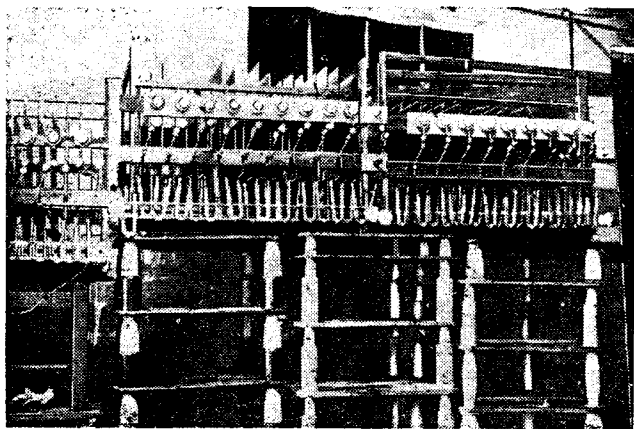


Рис. 7. Фотография ударного генератора

протонов. Каждый из этих способов обладает 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 атома. Пока все преимущества лежат на стороне способа, предложенного Кокрофтом и Уолтоном.

В заключение еще раз остановимся на вопросе практического использования 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 во многих случаях попадание протона в ядро атома 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 атомов 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 нейтрон 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

### Динамомашинa 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 коллекторе и полюсами специальной конструкции. Можно, однако, для целей сварки приспособить динамомашину совершенно обычной конструкции, изменив схему ее возбуждения.

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

Как видно из рис. 1, сопротивления  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  дуга  $D$  образуют замкнутый контур-параллельно-последовательный 1-2-3-4; к точкам 1 и 2 этого параллельно-последовательного контура присоединен якорь машины  $g$ , а в другую точку 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  $i$  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.

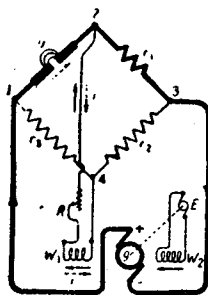


Рис. 1

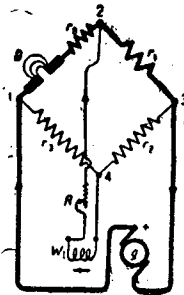


Рис. 2

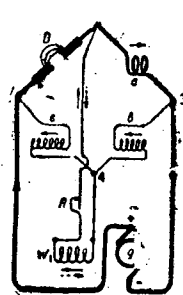


Рис. 3

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.

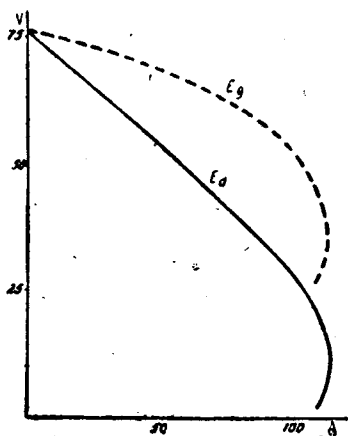


Рис. 4

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.

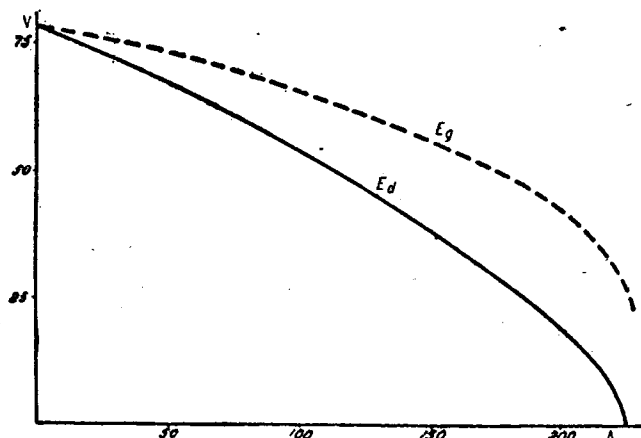


Рис. 5

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 противокомпаундной и ограничивает силу тока короткого замыкания.

## II. Опыты

Ленинградский завод „Электрик“ произвел ряд опытов 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 присоединялась к щеткам машины. Испытания производились при разных отношениях сопротивлений  $r_2$  и  $r_1$  и при разных значениях сопротивлений  $r_1$  и  $r_0$  (рис. 4). При опытах вместо электрической дуги в соответствующую цепь включался реостат с изменяемым 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  $E_d$  в функции тока машины были найдены при разных 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, ток короткого замыкания при этом достигает величины 120 А. С уменьшением сопротивлений  $r_0$  и  $r_1$  ток короткого замыкания должен возрасти. Это подтверждают кривые рис. 5, снятые при значениях  $r_1 = 0,04 \Omega$  и  $r_0 = 0,08 \Omega$ ; как видно из этого рисунка, ток короткого замыкания при этих условиях достигает 220 А.

Таким образом генератор, соединенный по первым 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 вольтовая дуга держалась устойчиво<sup>3)</sup>.

<sup>2)</sup> Испытание производилось в электроизмерительной лаборатории завода „Электрик“ инж. Гребенщиковой при консультации инж. Г. М. Тиходева, 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 динамо;

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

3) чрезвычайно тяжелые условия работы тракторной динамо и недостаточно квалифицированный персонал 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 не являются составной частью цепи нагрузки. Действительно, электромагнитный быстродействующий регулятор напряжения, работающий по принципу Тирилла 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 эти 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 баррертер и якорь динамо имеет две обмотки. Одна из них — барабанная 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 противоположный, 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 значения 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 си-

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

$$A W_a = 0,45 \frac{mI}{2p},$$

где  $m$  — число фаз (стержней) на якорь,  $I$  — сила в стержне,  $2p$  — число полюсов. Магнитодвижущую силу реакции якоря принимаем распределенной 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.

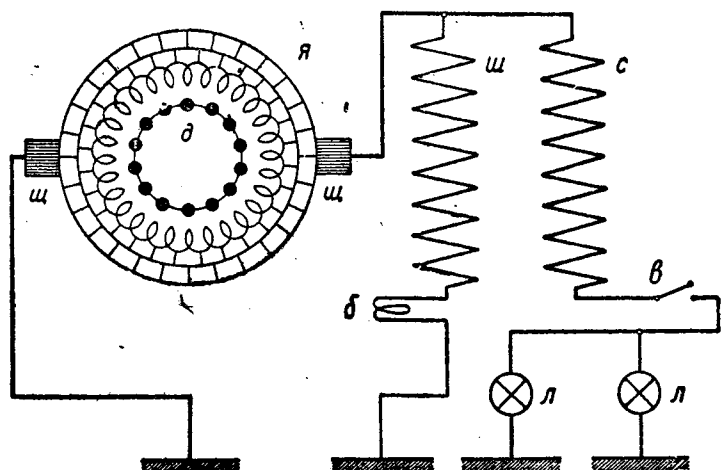


Рис. 1. Схема осветительной динамо для тракторов: д — демпферная обмотка; я — якорь; щ — щетки; ш — шунтовая обмотка; с — серийная обмотка; б — баррертер; в — выключатель; л — лампа

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

$I_r$  — омическое падение напряжения в каждом стержне;

$I x_2$  — индуктивное падение напряжения в каждом стержне, обусловленное рассеянием;

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

$E_q$  и  $E_d$  — поперечная и продольная составляющие э. д. с. реакции якоря  $E_a$ ;

$$I x_1 = \frac{E_q}{\cos \psi} = 1,77 m \lambda'_q f (k \omega)^2 I \frac{l_1 \tau}{p \delta^2 k_1} 10^{-8} \text{ В}, \quad (1)$$

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

$$\lambda'_q = 0,9 \frac{\alpha_1 \pi - \sin Li \pi + \frac{2}{3} \cos \alpha_1 \frac{\pi}{2}}{\pi};$$

$$f = \frac{pn}{60} \text{ — частота;}$$

$m$  — число фаз (стержней) на пару полюсов;

$k$  — обмоточный коэффициент демпфирующей обмотки ( $k=1$ );



После ряда преобразований, получаем выражение для силы тока

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

Принимая, что при большем числе оборотов

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

получим следующее приближенное выражение для силы тока в стержне

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

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

Напряжение между щетками пропорционально следующему выражению:

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

Представленные значения выведены из диаграммы рис. 2.

Выше было отмечено, что уравнение (1) используется лишь для определения значения угла  $\psi$ . Основе этой теории лежит метод, предложенный Блонделем. Чтобы создаваемую якорем м. д. с. разложить на продольную и поперечную составляющие с соответствующими амплитудами:  $I \sin \psi$ , совпадающую с осью полюсов,  $I \cos \psi$ , перпендикулярную оси магнитов. Уравнение (1) входит также  $\lambda_q'$  — коэффициент, характеризующий проводимость для поперечной составляющей потока реакции якоря. Для нашей машины, имеющей явно выраженные полюса, поперечный поток проходит, главным образом, по воздуху, и поэтому можем принять  $\lambda_q'$  за постоянную величину. Проводимость поперечного магнитного поля не зависит от его амплитуды, которая определяется углом  $\psi$ . Но весьма сомнительно, чтобы  $\lambda_l'$  — коэффициент, характеризующий проводимость для продольного потока, — был постоянным для различных значений его амплитуды. Амплитуда зависит также и от угла  $\psi$ . Применительно к нашей машине, в которой имеет место сильное колебание магнитного потока, очевидно, необходимо требуется учитывать изменения проводимости продольного потока при различных значениях 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  $\psi$ , существенно отличаются от тех явлений, которые имеют место, если м. д. с. якоря разложить на продольную и поперечную составляющие по отношению к оси магнитов. В первом случае доказывается, 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 междужелезным 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.

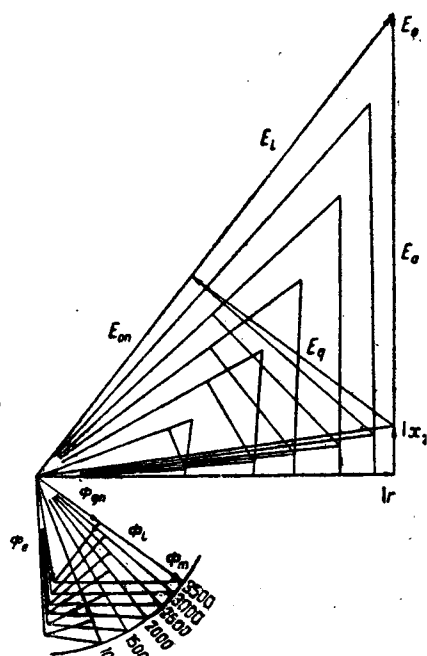


Рис. 3

$n$	$I$	$\lambda_l'$	$\psi$
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	48°30'
3 500	63	0,41	53°

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

$$\lambda_l' = 0,9 \frac{\alpha_1 \pi + \sin \alpha_1 \pi}{4 \sin \alpha_1 \frac{\pi}{2}}$$

входят только отвлеченные числа, связанные с конструктивными размерами полюсов. Таким образом нами принимается  $\lambda_q'$  за постоянную величину, величина же  $\lambda_l'$  будет изменяться по неизвестному нам пока закону в зависимости от угла  $\psi$ . В нашу задачу как раз и входит определение характера изменения  $\lambda_l'$ . Для определения  $\lambda_l'$  и  $I$  воспользуемся нижеприводимым 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,  $l_1=48,7$  мм, число пазов  $z=14$ , число витков в секции  $w=10$ , число проводов в пазу  $N_p=40$ .

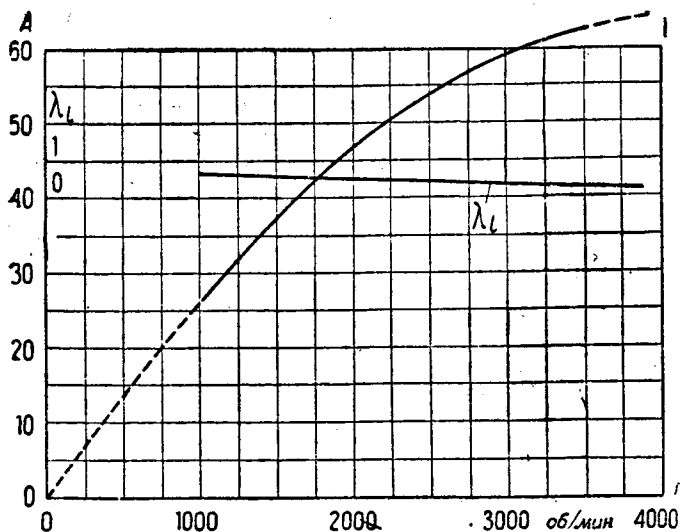


Рис. 4

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 смежных стержня.

Индуктивное сопротивление

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

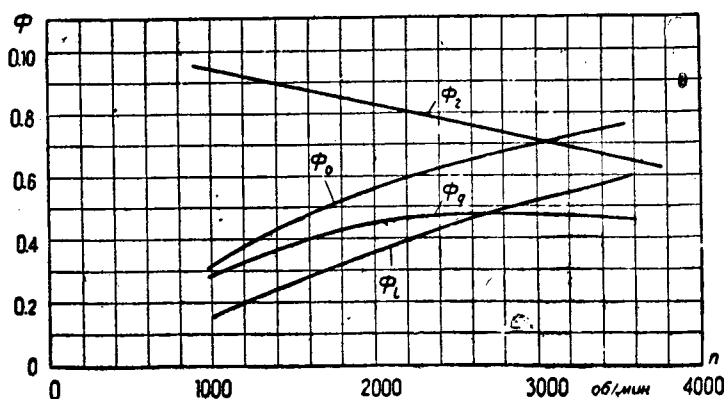


Рис. 5

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

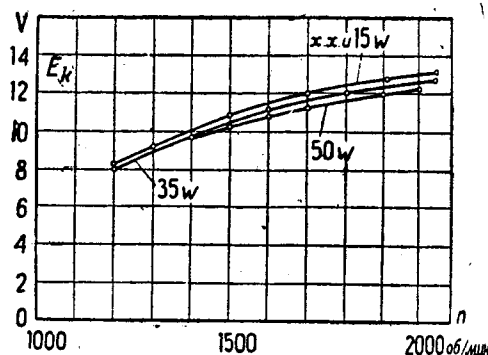


Рис. 6. Нагрузочные характеристики динамомашин при работе на тракторе СТЗ-15/30

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 Карп и  $\delta$  — длина воздушного зазора.

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

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

$$E_o = 4,44 f k w \Phi_m \cdot 10^{-8}$$

и

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

Значения потока  $\Phi_{gn}$  находим следующим образом. Для интересующего нас числа оборотов  $n$  находим соответствующее значение  $E_{gn}$  [уравнение (16)] и из вышеприведенного уравнения определяем  $\Phi_{gn}$ . Эту величину магнитного потока используем для определения  $E_{gn}$ . Найденное значение откладываем на векторе  $\vec{E}_o$  и восстанавливаем перпендикуляр из конца отрезка  $E_{gn}$  до пересечения с лучом, проведенным к отрезку  $r$  под углом  $\phi$ . Тогда

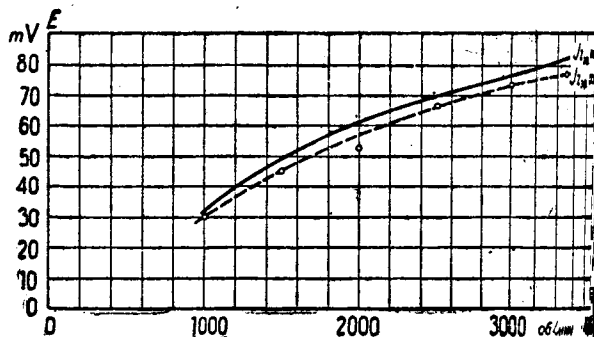


Рис. 7

пересечения является концом вектора величиной  $I = \sqrt{(Ir)^2 + (Ir_2)^2}$  в масштабе напряжения. По вектору  $Ir$  определяем силу тока в стержне, ибо  $r$  известно.

То обстоятельство, что нами привлекается индуктивное сопротивление, обусловленное всем рассеянием для определения силы тока в стержнях, а не только рассеяния части стержня, выступающей из паза и сегмента кольца, соединяющего два смежных 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 предварительно вычислить значения  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $E_0$  и  $E_{0n}$  для соответствующих скоростей. На рис. 4 показаны кривые изменения  $I$  и  $\lambda_1'$ , 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 трампре СТЗ-15/30. Изменяя нагрузку включением ламп на разную мощность и при значительных колебаниях оборотов, напряжение поддерживалось в допустимых для практики пределах.

### Опытное исследование

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

тем 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  $I_z$ . Поэтому необходимо полученные значения э. д. с. с помощью осциллографа также привести к эффективным своим значениям. Последнее было сделано 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 из самого дешевого металлического реостата на половинную нагрузку 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 обмоток двигателя, чтобы была возможность осуществлять безреостатный пуск в ход. В различное время было предложено несколько таких способов: противосоединение в роторе по способам Гергеса, Шенфера, двойное питание по методу Апарова и т. д.

Настоящая работа также рассматривает вопрос безреостатного пуска асинхронных двигателей с контактными кольцами в роторе, причем даются схемы <sup>1)</sup>, которые могут быть применены к любому нормальному асинхронному двигателю и для осуществления этих схем не требуются больших переделок. На сколько известно авторам, ниже рассматриваемые схемы соединения обмоток в литературе не описаны; поэтому в электротехнической лаборатории Уральского энергетического института были поставлены опыты по их изучению, причем опыты, главным образом, производились на моторе трехфазного тока фирмы ВЭА, имеющем следующие данные: мощность 15 л. с., напряжение 210/120 В, сила тока 38/66, 5 А, 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 опытов, оказывает большое влияние на работу двигателя, особенно его пусковые свойства. Рассматриваемый двигатель

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

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 вращающего 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-

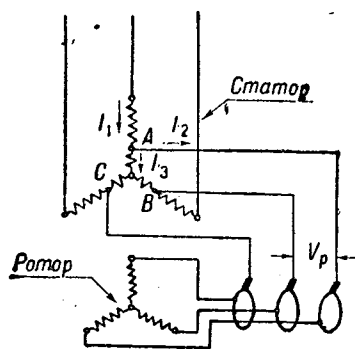


Рис. 1

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

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-

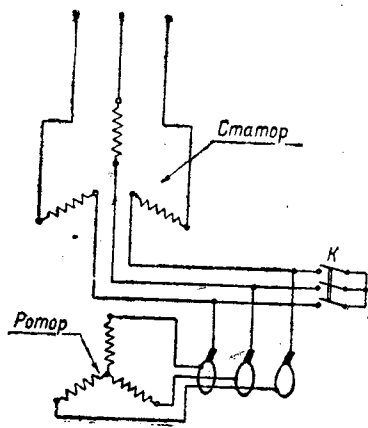


Рис. 2

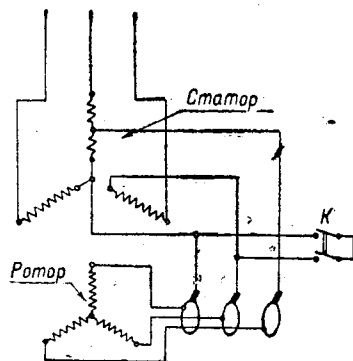


Рис. 3

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  $I_1 = 25\text{--}30$  А, ротора  $I_2 \approx 20$  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 рубиль-

ника *K*, при помощи которого происходит замыкание на звезду 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 перепутанных фазах мотор не будет вращаться.

Произведенные с мотором АСЕА опыты показали, что пусковой ток равен 70 А. По мере раскручивания ток постепенно падает до 5 А. Подъем щеток дает незначительный толчок тока (до 20 А), после чего устанавливается нормальный ток 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 исследовании двигатель статор и ротор имеют одинаковое количество пазов благодаря чему может происходить „прилипание“ ротора к статору, то вышеуказанные опыты были повторены на моторе „Ревтруд“ (Тамбов) такой же мощности, но с разным числом пазов в статоре и роторе ( $Z_1 = 48$ ,  $Z_2 = 36$ ). Пусковой ток имел такие же значения, как и в предыдущих случаях, но характер пуска мотора в ход получился совершенно иной. Пусковой толчок 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., имеющего разрезную обмотку постоянного тока, причем при пуске 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 подъемом 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 фазе 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 особым случаям, могут быть пускаемы в ход без реостата;
- 2) пусковой ток не превышает обычных пределов;
- 3) в случае разного числа пазов статора и ротора двигателя имеют хороший начальный вращающий момент;
- 4) после пуска двигатель переводится на нормальный режим работы.

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

## 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 до 0,5 А/см<sup>2</sup> при воздушном охлаждении.

Плотность тока может быть выбрана 0,5 А/см. Температуру грева купрокс имеет порядка 80–85°C.

Такие вентили <sup>1)</sup> получили широкое распространение последние два года за границей в качестве выпрямителей переменного тока в постоянный по схеме Гротца напряжением до 12 В при силе тока около 0,7 А. Опыты Бёма <sup>2)</sup> показывают возможность повысить мощность выпрямителей с купроксными вентилями до 220 В при 110 А. В Союзе произведена установка купроксных столбиков поставлено на заводе „Светла“ в Ленинграде для выпрямителей напряжением 6 и 12 В, силу тока 0,6 А.

<sup>1)</sup> Gronbhalu. Geiger. „Kupferoxid-Ventilgleichrichter“. ETZ, стр. 1738.

<sup>2)</sup> В. Б. Бёма. „Beitrag zur Leistungsfähigkeit von Kupferoxid-Trockengleichrichtern“. ETZ, № 44, 1933.

Стальные купроксные столбики могут быть успешно применены для шунтирования обмоток возбуждения с целью устранения перенапряжений, опасных для изоляции обмоток. Согласно схеме рис. 2 купрокс, присоединенный параллельно обмотке возбуждения, не пропускает ток. Обратный ток купрокса составляет по опытам автора ничтожную величину,

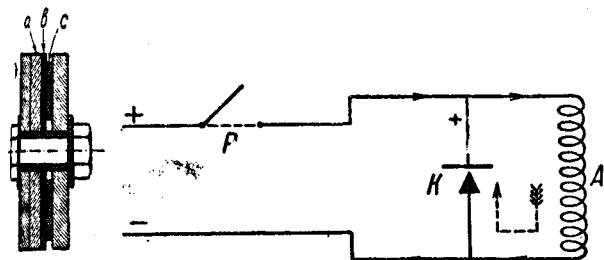


Рис. 2. Конструкция купроксного вентиля: а — медная вилка; б — слой окисной пленки; в — свинцовый прокладчик

Рис. 2. Схема шунтирования обмотки возбуждения купроксом (схема автора). А — обмотка возбуждения; К — купроксный вентиль; пунктирной стрелкой показано направление экстратока при выключении рубильника Р

составляющая 20 ÷ 40 мА в зависимости от длительности действия тока (рис. 3). На рис. 4 приведены значения обратных токов по опытам Бёма в зависимости от напряжения после 5000 и 12 800 часов работы и от приложенного напряжения. При выключении тока при помощи рубильника Р (рис. 2) с. самондукции 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 обмо-

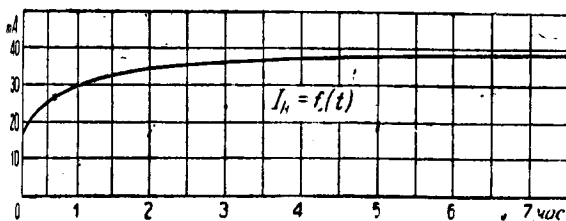


Рис. 3. Зависимость обратного тока купрокса от длительности действия тока. Купрокс из двух параллельных ветвей номинального напряжения 24 В, ток 0,6 · 2 = 1,2 А

тки возбуждения до сего времени являлось применение омического сопротивления, включенного параллельно к обмотке, согласно схемы 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 выключениями тока возбуждения рубильником. Например, выключательные машины постоянного тока снабжаются блокировкой, разрывающей ток возбуждения прежде чем явится возможность соприкоснуться с неизолированными частями выключательной цепи. В таких случаях необходимы защитные устройства.

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

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

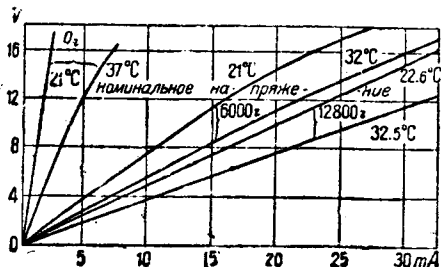


Рис. 4. Обратные токи купроксных вентилях после 0,6 000 и 12 800 часов работы по данным Бёма.  $I = f(E)$

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

При выключении между контактами возникает после пробоя воздушного промежутка вольтовая 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

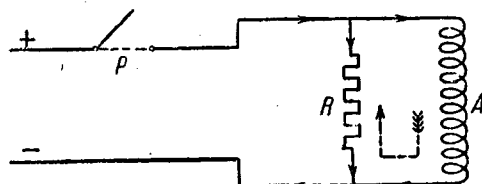


Рис. 5. Схема шунтирования обмотки возбуждения омическим сопротивлением. А — обмотка возбуждения; К — омическое сопротивление; пунктирной стрелкой показано направление экстратока при выключении рубильника Р

значении тока напряжения угасания дуги  $e_l$ . Напряжение угасания  $e_l$  при быстро 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 замедленно, а в конце выключения ускоренно. Осциллограммы выключения отмечают значительные перенапряжения при угасании дуги и образование в процессе выключения повторных зажигания 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 подеме дуги.

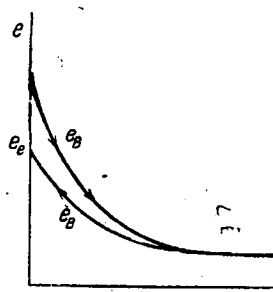


Рис. 6. Характеристика вольтовой дуги  $e = f(i)$  — при  $i = \text{const}$

На осциллограмме рис. 7 буквами  $a$  и  $b$  отмечены скачкообразные падения напряжения соответственно повторным зажиганиями. По осциллограмме следует отметить, что напряжение самондукции не сразу исчезает полностью после разрыва тока дуги, но продолжает падать 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 влиянию шунтирования вольтметром.

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:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + e_B = E_{кл}.$$

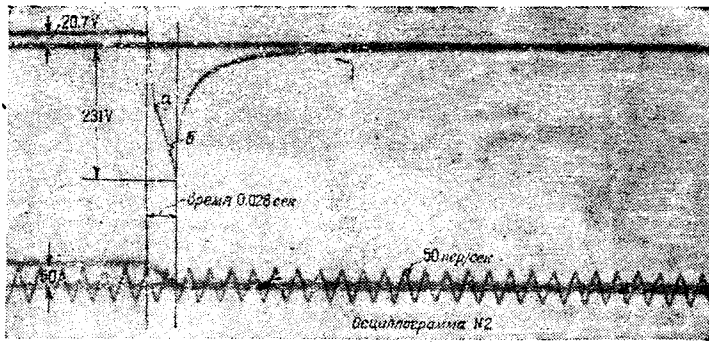


Рис. 7

где  $E_{кл}$  — напряжение сети,  $e_v$  — 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:

$$E_{конт} = \frac{E_{кл}}{1 + \frac{L}{r\tau}},$$

где  $r$  — начальное сопротивление контактов,  $\tau$  — 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  $\tau$  увеличивают напряжение выключения. Условием отсутствия дуги является соотношение:

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

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

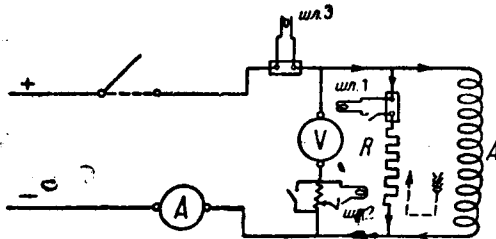


Рис. 8. Схема присоединения шлейф осциллографа при опытах с шунтом

Опытным путем напряжения 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  $18^\circ\text{C}$ , 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.

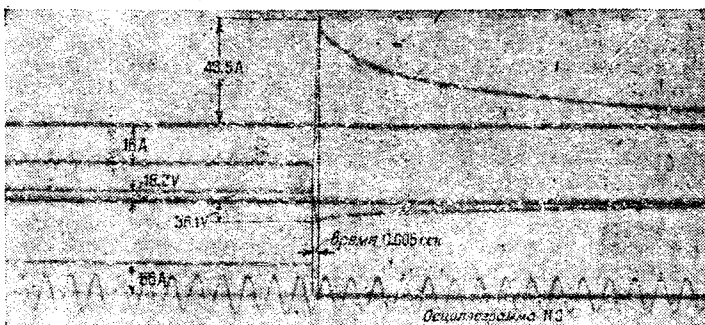


Рис. 9

№ осциллограммы	$I_{в\text{возб}}$ А	$t_{\text{выкл}}$ сек	$E_{кл}$ V	$E_v$ V	$\frac{E_v}{E_{кл}}$
1	50	0,025	19,5	225,7	11,6
2	50	0,0278	20,7	231	11,1

Осциллограмма № 2 приведена на рис. 7.

Напряжения выключения определялись опытным путем по схеме рис. 8. Опытные данные сведены в табл. 2. Как видно из этой таблицы, соответствующим подбором омического сопротивления контура возможно свести к минимуму 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 понижается примерно на 0,5%.

Таблица 2

Осциллограмма №	Ток возб. $I_v$ А	Ток шунта $I_{ш}$ А	$\frac{r_{ш}}{R}$	$i_{\text{max}}$ А	$\frac{i_{\text{max}}}{I_v} \cdot 100$	$t$ сек	Потери на шунте W	$E_{кл}$ V	$i_v$ V	$\frac{E_v}{E_{кл}}$
3	50	16	3,12	43,5	87	0,005	306	19,2	36,1	1,88
4	50	11	4,55	42,7	85,5	0,005	220	20,0	53,6	2,68
5	50	5	10,0	37	74	0,116	107,5	21,5	119,0	5,53

Осциллограммы № 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 сопротивления обмотки возбуждения.

#### Перенапряжения в обмотках возбуждения, шунтируемых купроксом

Схема соединений при опытах указана на рис. 11. Основным преимуществом применения купрокса является отсутствие потерь. Купрокс, шунтирующий обмотку возбуждения, при работе генератора не пропускает ток. При выключении из-за самоиндукции коротко замыкается через вентиль. Внутреннее сопротивление купрокса зависит от мощности самого купрокса. В рассматриваемом случае были применены купроксы завода «Светлана» номинальной силы тока 1,21 A [8] напряжением 24 V, состоящие из двух параллельных ветвей. Опыт показал, что купрокс может быть использован для защиты обмотки возбуждения от перенапряжений. Результаты опытов приведены в табл. 3.

<sup>\*)</sup> Купрокс завода «Светлана» на силу тока 0,6 A, 12 V пересоединяется параллельными ветвями напряжением 24 V.

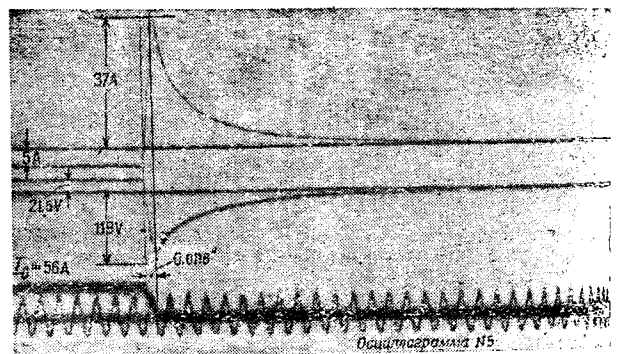


Рис. 10

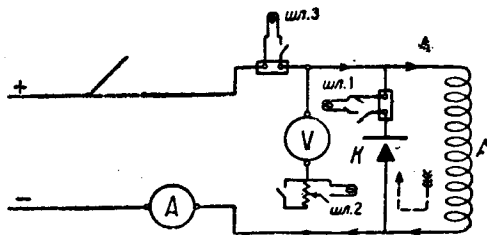


Рис. 11. Схема присоединения шлейф осциллографа при опытах с купроксом

Таблица 3

Ток возб. $I_a$ А	Ток ку- прокса $i_k$ А	$\frac{I_a}{i_k}$	$i_{kmax}$ А	$i_{kmax} 100$ %	$\frac{I_a}{i_k}$	$t$ sec	Потери W	$E_{кл}$ V	$E_s$ V	$\frac{E_s}{E_{кл}}$
50	0,04	1,25	23,9	47,8	0,023	0,6	20	101,6	5,08 4)	
50	0,04	1,25	30	60	0,01	0,75	18,7	131	7,0 4)	
50	0,04	1,25	31	62	0,01	0,75	18,7	118,5	6,35 5)	
50	0,04	1,25	50	100	0,005		19,0	41,0	2,16 6)	

Осциллограммы № 6 и 8 приведены на рис. 12 и 13.

При полном токе возбуждения  $I_a = 50$  А напряжение обмотки возбуждения не повышалось свыше 5- и 7-кратного значения (см. осциллограмму рис. 12). Искра на контактах выключателя получается значительно меньше, чем при разрыве не защищенной обмотки возбуждения. Примененные купроксы обладают сравнительно большим внутренним сопротивлением для полного тока возбуждения 50 А при номинальном токе купрокса 1,2 А. Для ограничения перенапряжения инициальной порядка номинального напряжения возбуждения необходимо применять купроксы с номинальной силой тока около  $10 + 20\%$  от полного тока возбуждения. Опыты были поставлены с купроксом с вентильным напряжением 12 В, шунтированным на 20 В; напряжение при выключении 50 А повысилось всего до 41 В.

В рассматриваемом случае, учитывая изоляцию обмотки возбуждения, выбраны были купроксы 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 купрокс свободно располагается в клеммовой коробке генератора, по своему действию такой купрокс эквивалентен омическому сопротивлению 10-кратного сопротивления обмотки возбуждения.

В эксплуатации следует инструктировать персонал о правилах присоединения купрокса, плюс купрокса должен быть присоединен к плюсу сети, иначе возможно короткое замыкание сети через купрокс. При изменении полярности питания обмотки возбуждения необходимо переменить и присо-

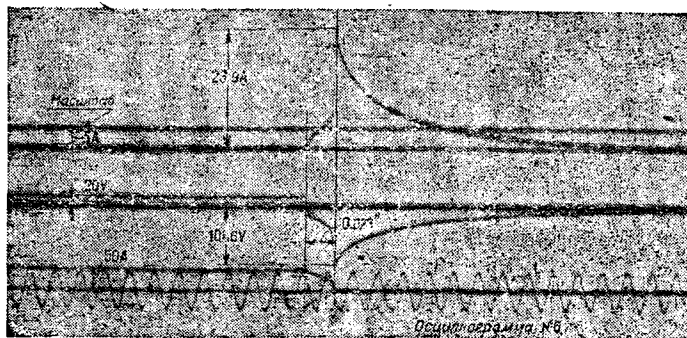


Рис. 12

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

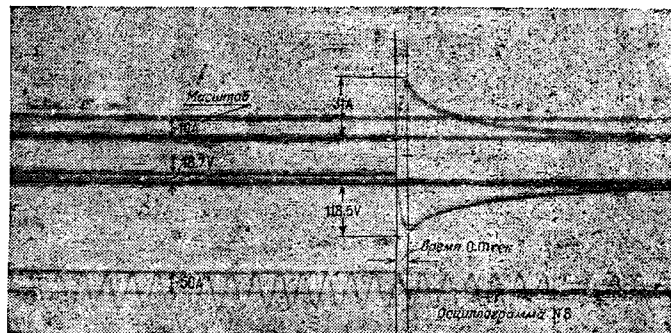


Рис. 13

### Заключение

Для устранения перенапряжений в обмотках возбуждения при выключении тока целесообразно применять купроксы вместо омических сопротивлений. При выборе купрокса с номинальной силой тока около  $10 + 20\%$  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 выражаю мою благодарность.

## К вопросу построения мощных двухполюсных турбогенераторов

Проф. Б. П. Апаров  
Москва, ВЭИ

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

Невозможность повысить окружную скорость ротора выше указанных пределов определяет важное основное свойство быстроходных турбогенераторов. Величина диаметра статора является постоянной величиной, не зависящей от мощности быстроходного 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

$$D = D_p + 2\delta.$$

В настоящей статье приводятся данные исследования основных величин, определяющих конструкцию современного быстроходного 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:

$$E = 4k W f \Phi \cdot 10^{-8} \text{ В,}$$

1) параллельные ветви по 0,6 А, 24 В.

2) : : : 0,6 А, 24 В.

3) : : : напряжением 2 В.



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

$$\Phi = \frac{P \cdot 10^{11}}{2k \pi D \cdot AS \cdot f} = \frac{P \cdot 10^{11} \cdot 60}{4k \cdot AS \cdot v p^2 n}, \quad (3)$$

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

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

Для двухполюсных турбогенераторов формула имеет вид

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

откуда

$$l_i = \frac{7,852 \cdot 10^8 P}{k v^2 (AS \cdot B_l)} \quad (6)$$

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

$$l_i = \frac{7,852 \cdot 10^8}{165^2 \cdot 650 \cdot 8000} P = 55 \cdot 10^{-3} P,$$

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  $\cos \varphi = 1$  будет иметь расчетную длину статора

$$55 \cdot 8 \cong 450 \text{ см.}$$

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 соотношениями между диаметром и длиной.

Если взять выражение магнитного потока в виде

$$\Phi = \frac{E \cdot 10^8}{4kfW} = \frac{EIm \pi D \cdot 10^8}{4kfWm \pi DI},$$

где  $f = 50$ , то

$$\Phi = \frac{P \cdot 10^6}{k \cdot AS \cdot \pi D}.$$

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.

Их величину является возможным выразить следующей формулой:

$$P_{Cu} = \pi D \cdot AS \cdot s_a \frac{l_i + K_0 \tau}{4800} = 2pv \tau \cdot AS \cdot s_a \frac{l_i + K_0 \tau}{4800},$$

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 меди лобовых частях

$$P_m = \frac{pv^2 \cdot AS \cdot s_a K_0}{2400}.$$

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

Вес меди обмотки статора можно выразить следующей формулой

$$Q_{Cu} = 8,9 \frac{\pi D \cdot AS}{s_a} (l_i + K_0 \tau) 10^{-5} \text{ kg.}$$

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

$$Q_{Cu} = 17,8 \frac{p \cdot AS}{s_a} (v l_i + v^2 K_0).$$

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  $C = \frac{7,852 \cdot 10^8}{B_l k}$ ; тогда

$$Q_{Cu} = C' \left( \frac{CP}{v \cdot AS} + v^2 K_0 \right).$$

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

$$\frac{CP}{v^2 AS} + 2K_0 v = 0.$$

откуда

$$v^3 = \frac{CP}{2K_0 \cdot AS}$$

или

$$v = \sqrt[3]{\frac{7,852 \cdot 10^8 P}{B_l \cdot AS \cdot k K_0 \cdot 2}}.$$

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

$$l_i = 2vK_0.$$

Так как  $vK_0 = \tau K_0$  есть длина лобовой части обмотки, откуда 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  $K_0$  обычно в быстроходных 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 накладывает каких-либо ограничений 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 норм ВЭ (и немецких), величина ударного тока короткого замыкания не должна превосходить 15-кратной амплитуды номинального тока. Является интересным выяснить, в какой степени уменьшение 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  $2 \pi D I E m$ , будем иметь при  $f = 50$  пер/сек:

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



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

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

мощных турбогенераторов

$$\frac{\lambda_i}{q} \approx \frac{l_i - \gamma \tau}{l_i}$$

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

где  $l_i = \lambda \tau = \lambda v$ , тогда

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

обращая внимание, что согласно норм ВЭС и немецких

$$U = \frac{I_k}{\sqrt{2} I_n} \approx \frac{1,8E}{I_n x_g},$$

будем иметь

$$x_g = \frac{1,8E}{\sqrt{2} I_n U}. \quad (9)$$

где  $U = \frac{I_k}{I_n}$

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

$$\frac{1}{U} = 0,165 (AS)^2 v^3 \frac{\lambda - \gamma}{P} 10^{-8}.$$

Пример. Пусть  $AS = 650$ ,  $v = 165 \frac{\text{m}}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{с}}$ ,  $P = 100\,000 \text{ kVA}$ ,  $P = 1$   $\lambda = 3,5$ ,  $\gamma = 0,5$ . Тогда

$$\frac{1}{U} = 0,165 \cdot 650^2 \cdot 165^3 \cdot \frac{3,5 - 0,5}{100\,000} 10^{-8},$$

$$\frac{1}{U} = \frac{9,45}{100} \text{ или } U \approx 10,6.$$

Таким образом мы видим, что быстроходные мощные двух-полусные 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 процессом изготовления ротора — вращающейся части машины — является разгон. Этот процесс по своей сути уже не является элементом производства и с большим правом может быть отнесен ко всей цепи испытательных мероприятий, которые принимаются производителем машины при определении безупречности ее работы.

Подвергая ротор той или иной машины разгону, т. е. вращению при числе оборотов, превосходящем нормальное, мы самым 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 турбинами, этот режим определяется из того положения, что на практике может иметь место случай, когда затопления воды к лопаткам воды турбинного ротора не будет и по каким-либо причинам может следовать непосредственно за сбросом генератором своей нагрузки. В таком случае агрегат может развить нормально большую скорость, при которой, очевидно, определяется параметрами данной установки. Для разбираемого здесь ротора разгонная скорость была удвоенной нормальной.

Если учесть размеры современных гидрогенераторов, и особенно Днепровского, огромные веса, с которыми приходится иметь дело, и, наконец, результаты, которые могут получиться при неудачном разгоне, то станут ясны 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 поддерживающими подшипниками, по одному в верхней и нижней крестовинах.

Основные данные этого генератора следующие: мощность 13,8 MVA, скорость 88,2 об/мин, напряжение 13,8 kV, частота 50 Гц. Ротор генератора состоит из вала, втулки из стали, лопатки, радиально прибалчиваемых к втулке сварных спиц, собранного из штампованных шестимиллиметровых железных листов, и, наконец, полюсов, укрепленных к ободу.

При разгоне вращающаяся часть собирается в специальной для этой цели приспособленной яме. Рис. 1 дает достаточно полную 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 стержня тавра 4 и нижнего упорного тавра 5. Собранная звезда устанавливается на специально приготавливаемый для данного случая разгонный вал, на который предварительно одет нижний поддерживающий подшипник. Шпонкой и запорным кольцом 6 вал закрепляется на валу. Вал упирается в подпятник, установленный в масляную ванну. Вологодская областная универсальная научная библиотека

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 ниж-

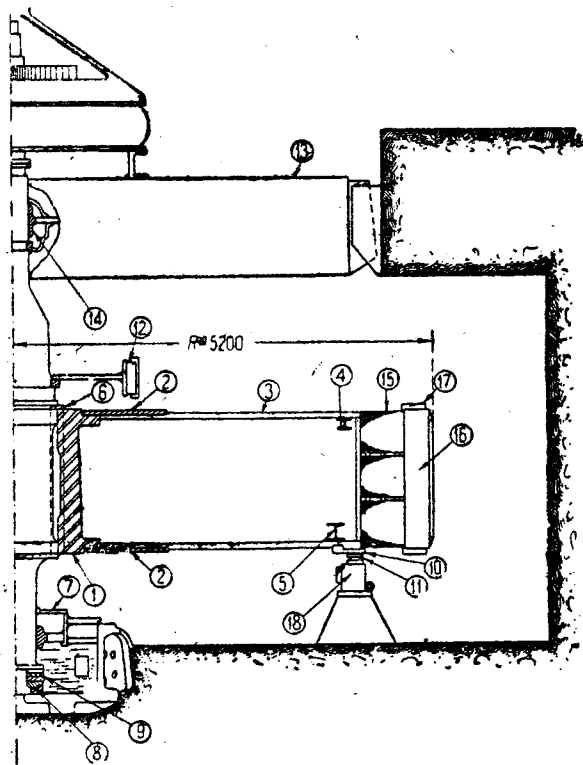


Рис. 1. Схема расположения ротора гидрогенератора Днепротреста в разгонной яме

ним направляющим подшипником у подпятника. Крышка разгонной ямы представляет собою многогранник с одним срезаемым 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

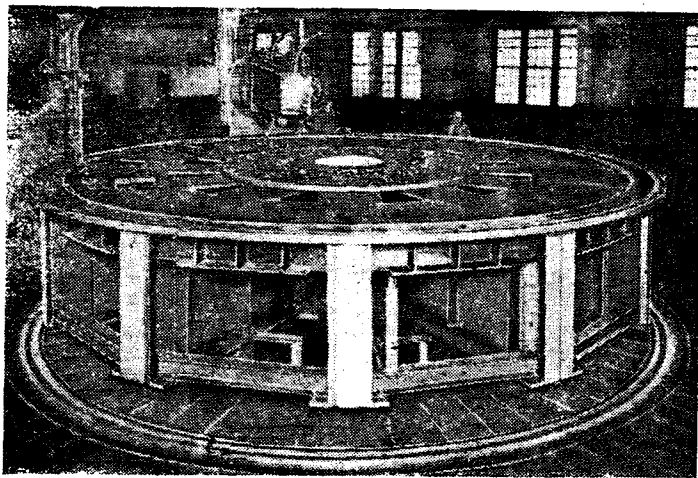


Рис. 2. Шлифовка тормозной поверхности ротора гидрогенератора Днепротреста на карусельном станке

линия центров тяжести, 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 фибровыми 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 металлоасбестовой 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 кВ при 86—154 об/мин. Управление как самим мотором, так и питаю-

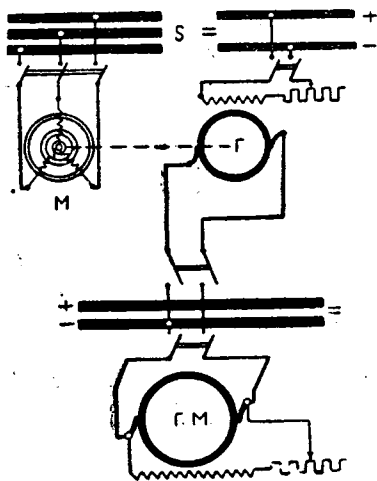


Рис. 3. Схема привода при испытании ротора на разгон

щим его агрегатом производится из специального операционного помещения, расположенного вне помещения разгонной ямы на отдельном от нее фундаменте. Этим достигнуто то, 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 тахеометра и температуры при помощи термопар представляют собою явные обыденного порядка. Также можно исключить из подробного рассмотрения взаимную световую сигнализацию между операционным помещением и ямой.

Наличие четвертого элемента—виброметрического, диктуется особенностями режима испытания. Можно с уверенностью утверждать, что ротор, подобный разбираемому, при пуске 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 на повышенном числе оборотов, необходимо его динамически сбалансировать. В практике балансировки роторов турбин генераторов применяются различные приборы для определения балансуемости испытуемого ротора, но все они требуют новинки и наблюдения за собой тут же в непосредственной близости от испытуемого предмета. В условиях гидроротора практически исключено.

Разбираемый ниже метод представляет собой попытку ириканской фирмы GEC осуществить контроль и фиксацию вибраций вращающегося ротора на расстоянии. Метод основан на индуктивном балансе параллельных цепей. Если индуктивные цепи подключены параллельно к источнику тока 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 принципиальная схема устройства, которое мы назовем

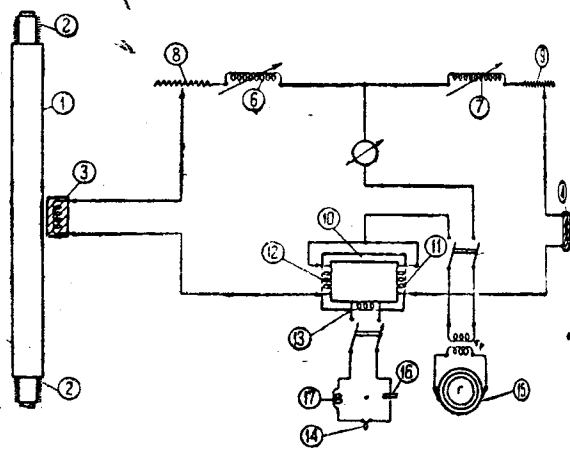


Рис. 4. Принципиальная схема магнитного приемника механических колебаний

нитным приемником механических колебаний. К испытываемому валу 1, могущему вращаться в своих подшипниках 2, подведена с некоторым зазором катушка 3, намотанная на стержневой магнитопровод. Таким образом в данном случае вал играет роль замыкающего якоря магнитопровода катушки. Кроме этой катушки имеется еще одна 4, намотанная на стержневой магнитопровод, замыкаемый опять-таки с некоторым воздушным зазором своим якорьком 5. Регулируя воздушные зазоры 6 и 7 и омическими сопротивлениями 8 и 9, можно добиться такого положения, когда в обеих параллельных цепях, питаемых от одного источника тока при неизменности установленных воздушных зазоров, будут иметь место токи одинаковых значений и равно сдвинутые по фазе к основной э.д.с. питающей эти цепи. Очевидно, что при этом в дифференциальном трансформаторе 10, обмотки 11 и 12 которого включены следовательно в уравновешенные цепи, будет иметь место полная компенсация потоков, поскольку при равенстве токов в витках намотки этих катушек будет взаимнообратная. Токи, протекающие по обмоткам 11 и 12, равны по величине и фазе, дают одинаковым сдвигом фаз. Очевидно, что при этом индуктироваться не будет.

Если теперь изменить воздушный зазор какой-либо из катушек (3 или 4), то балансное состояние в дифференциальном трансформаторе будет нарушено, и катушка 13 будет индуцироваться некоторым магнитным потоком, появившимся вследствие разности потоков обмоток 11 и 12. Замыкая катушку 13 шлейфом 14 осциллографа, можно воспринимать изменения напряженности цепей в виде осциллограмм.

Оставляя неизменным зазор катушки 4 и вращая испытываемый вал 1, мы в итоге вибраций будем получать неравномерное изменение воздушного зазора катушки 3, которое будет регистрироваться в виде колебаний шлейфа осциллографа. Таким

ложение шлейфа, в зависимости от величины изменений воздушного зазора, можно получить графическое изображение точных мест вибраций испытуемого вала в том или ином шаге.

Для получения большей чувствительности источник питания выбран высокочастотным (500 пер/сек), а в цепь шлейфа введен резонансный контур из емкости 16 и самоиндукции 17, подобранный в соответствии с частотой питающего тока. Практически схема, приведенная на рис. 4, осуществляется следующим образом. Непосредственно у вала на независимом расстоянии 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 установить любой зазор между нею и валом. Остальная часть вынесена за пределы испытательного помещения.

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

Указанным методом можно при правильной градуировке сделать количественно величину „боя“ от небаланса. 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 данного предмета помещается штырь, а в какой-либо точке на испытательной яме укрепляется контакт пружинного штыря, проходя мимо контакта, коснется его и замкнет течение ток в цепи шлейфа осциллографа. Бросок шлейфа даст штрих на осциллограмме. Если эту осциллограмму сравнить с осциллограммой вибрационных колебаний и притом чтобы ось, несущая на себе штриховые отметки оборотов была осью абсцисс осциллограммы вибрационных колебаний, зная место посадки штыря на окружности, можно по шкале оси абсцисс, представляющую собой масштабную длину окружности, на которой насажен штырь, определить место „боя“, а по осциллограмме самых колебаний их величины и в данном месте.

Изучение таких данных крайне облегчает и упрощает балансировку и дает прекрасные возможности контроля за степенью исправления испытуемого предмета, недоступного непосредственному осмотру.

Частота тока, питающего привод, вполне устойчива, токовая осциллограмма этого тока с осциллограммой „боя“, позволяет определить число оборотов испытуемого предмета в отдельный период испытания.

### Балансировка

Как 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 действительно показал довольно большое отклонение от требуемой скорости хода.

В разгонной яме установлены четыре магнитных приемника вибрационных колебаний, подобных описанному выше. Приемники расположены:

— внизу вала у выхода из нижнего направляющего подшипника,

— в середине вала между главным ротором и ротором вспомогательного 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 будут представлены следующей таблицей (число оборотов в минуту 88):

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

После тщательной балансировки с установкой балансных грузов весом в 660 kg была, наконец, получена плавная, которая может быть охарактеризована следующими данными (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 отсутствие точных средств контроля, все же он не носит строго мерного характера, и практически оказалось более удоб-

ным и, главное, более скорым вести балансировку опытным путем, опираясь в первую очередь на практический опыт персонала. В итоге получилось примерное выравнивание величин отклонения центров тяжести 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 шихтованного (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 угонную 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	1285
5	13	115,0	1500
6	15	130,0	1710
7	18	155,0	2008
8	20	176,5	2225

Совершенно очевидно, что приведенные данные не могут служить базой для оценки суммарных потерь при определенной скорости вращения, ибо, как явствует из самой задачи, здесь нигде не имел места установившийся режим. Приводимые данные о мощностях поэтому являются суммой из мощностей, 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 поддерживалось 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 А	Напряжение В	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.

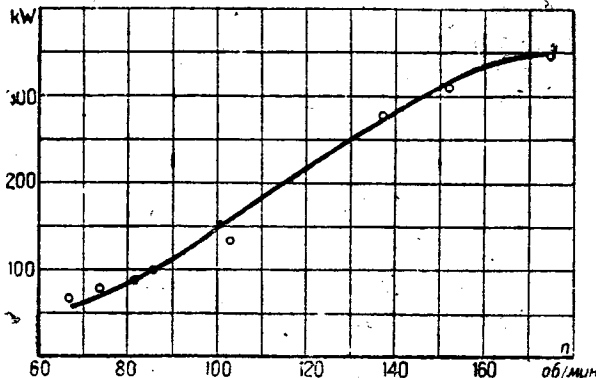


Рис. 5. Мощность, необходимая на поддержание установившейся скорости ротора, в функции от этой скорости

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, так же 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  $\frac{2\pi n D}{60}$ . Тогда

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

или

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

Учитывая, что 1 kWsec равен 101,98 kgm, 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  $n_2 = n - \Delta n$ , то  $n$  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, мы 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 маховый момент будет:

$$G D^2 = \frac{Q \cdot 7200 \cdot 9,81 \cdot 101,98 \cdot 30}{\pi^2 n} \cdot \frac{T_1 - T_2}{n_1 - n_2} \text{ kgm}^2.$$

Подставляя значение мощности из рис. 5, где применены 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.

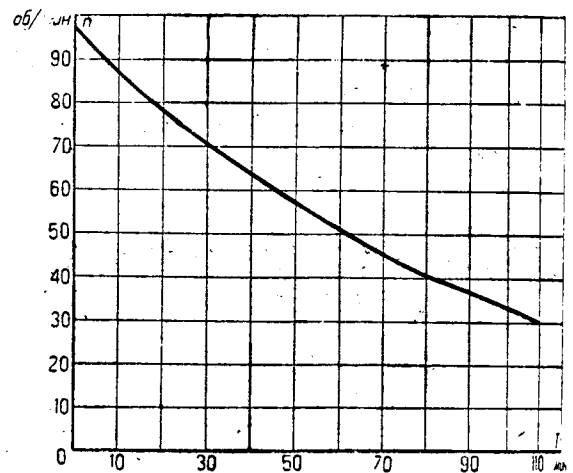


Рис. 6. Кривая свободного выбега ротора

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  $Q = 101,6$  kW. Тогда:

$$G D^2 = \frac{101,6 \cdot 7200 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot (20 - 0) \cdot 101,98}{9,859 \cdot 88 \cdot (97 - 79,4)} \approx 28\,800\,000 \text{ kgm}^2.$$

Очевидно, что это есть сумма маховых моментов самого ротора, ротора вспомогательного генератора и приводящего мотора. Расчетные данные для последних составляют 83 500 kgm. Таким образом маховый момент ротора равен 28 716 500 kgm. Гарантийное его значение 28 000 000 kgm<sup>2</sup>.

Для определения потерь во вращающемся роторе при вращении, равному 88 об/мин, были сняты значения подводимых

ней при установившихся скоростях вращения ротора, приведенные выше в табл. 3. Эти потери, как уже было отмечено, складываются из потерь на механическое трение в опорах, потерь от трения о воздух. Если сделать допущение о неизменности температур опорных поверхностей, то можно написать:

$$Q = C_1 n^3 + C_2 n^{1,5}, \quad 1)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — постоянные коэффициенты. Левое слагаемое правой части 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, найденными коэффициентами, мы получим картину, приведенную в табл. 5.

Таблица 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 так же при соединении на землю), всегда возникает большая 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 еще ряд видоизменений.

### Схема Рюденберга

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

При внутреннем междувитковом коротком замыкании или соединении обмотки на землю рубильник  $S$  размыкается при помощи реле (не показанного на схеме), вследствие чего в цепь якоря возбудителя  $A$  включается сопротивление  $r$ , и ток  $I_A$  падает почти до нуля. Ток в обмотке возбуждения  $M$  синхронной машины при этом благодаря большой величине самоиндукции обмотки  $M$  scarcely упасть, однако, не может. Так как при размыкании рубильника  $S$  в цепь якоря вводится достаточно большое сопротивление  $r$ , ток размыкания  $I_A$  потечет в обмотку возбуждения  $B$  возбудителя (направление тока  $i_0$  на рис. 1 показано пунктирными стрелками). Вышеуказанный ток  $i_0$  уместно было бы назвать экстратокотом 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 экстратокот размыкания  $i_0$  в первый момент после размыкания рубильника  $S$  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-

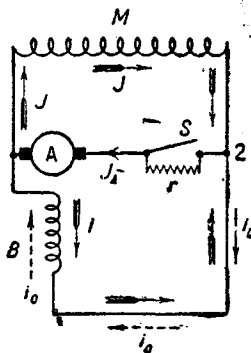
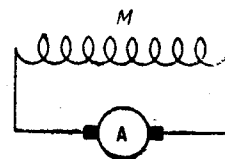


Рис. 1. Схема Рюденберга

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 рубильника  $S$  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 рубильника  $S$  (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, выражающейся 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 ток  $i$  и  $I$ .

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

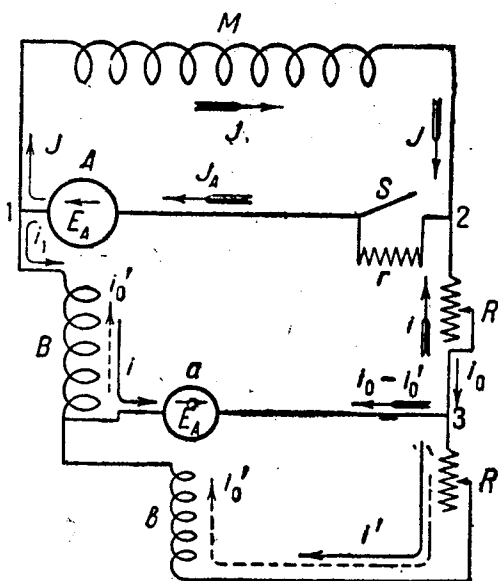


Рис. 3. Схема Шенфера:

$M$  — 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  $3$ , причем 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 в цепь ротора синхронной машины в схему включалась цепь возбудителя машины постоянного тока с омическим сопротивлением, равным  $10 \Omega$ . Вследствие этого влияние реакции якоря и потока разсеяния 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  $i_0$ .

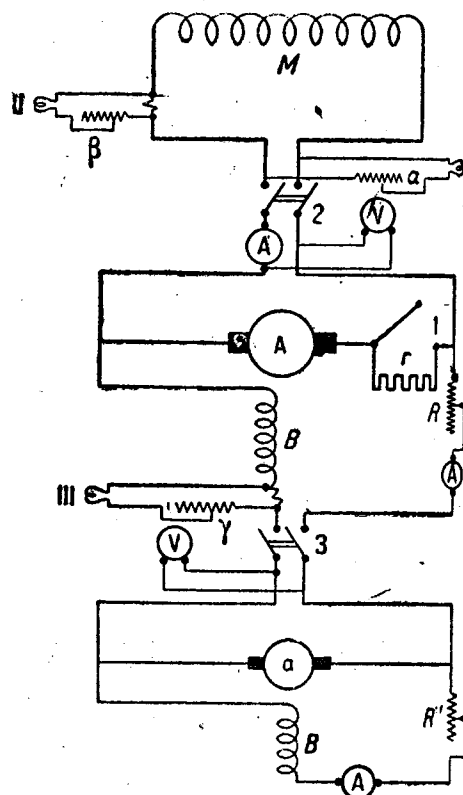


Рис. 4. Схема для экспериментального исследования гашения по схеме Шенфера:

$A$  — якорь главного возбудителя;  $a$  — якорь вспомогательного возбудителя;  $I$  — шлейф осциллографа, фиксирующий напряжение вольты синхронной машины;  $II$  — шлейф осциллографа, фиксирующий ток возбуждения синхронной машины;  $III$  — шлейф осциллографа, фиксирующий ток возбуждения главного возбудителя;  $r$  — гасительное сопротивление.

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

Эта схема может быть без больших затрат превращена в схему Рюденберга. Для этого необходимо рубильник  $3$  закоротить, предварительно отсоединив якорь вспомогательного возбудителя. Из этой же схемы получаем

схема для испытаний гашения магнитного поля методом простого разрыва цепи.

При испытании напряжение обоих возбуждающих все время поддерживалось постоянным — главным возбуждателя 92 В и вспомогательного 60 В. При испытании схемы простого разрыва цепи процесс гашения магнитного поля осуществляется замыканием рубильника 2, причем рубильник 3 должен быть закороченным, а якорь вспомогательного возбуждателя отключенным. Рубильник 1 в этом 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 возбуждателя 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 ротора синхронной машины  $I_p$  и тока возбуждения  $i_b$  главного возбуждателя 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 методам, заметим, что влияние реакции якоря синхронной машины и потока рассеяния при опытах 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 якоря (где щетки стояли не строго в нейтральном положении), короткозамкнутые витки под щетками вызвали влияние на скорость гашения магнитного поля подобно демпферной обмотке генератора. Воспользуемся общей формулой <sup>1)</sup> для кратности скачка напряжения на роторе синхронной машины в следующем виде:

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

Подробнее см. Соловьев, Гашение поля больших синхронных генераторов. Рюденберг, Явления неустойчивого режима в электрических установках.

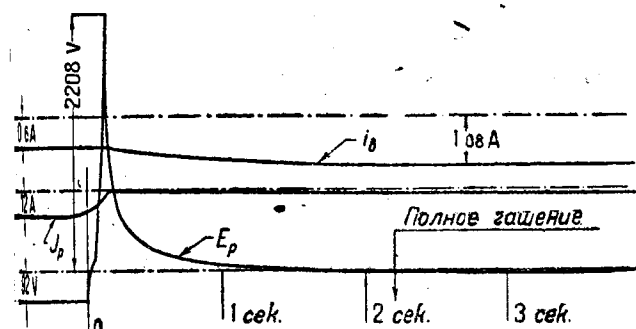


Рис. 4. Осциллограмма, снятая по схеме простого разрыва цепи ротора.  $E_p$  — напряжение на роторе;  $I_p$  — ток в роторе;  $i_b$  — ток возбуждения.

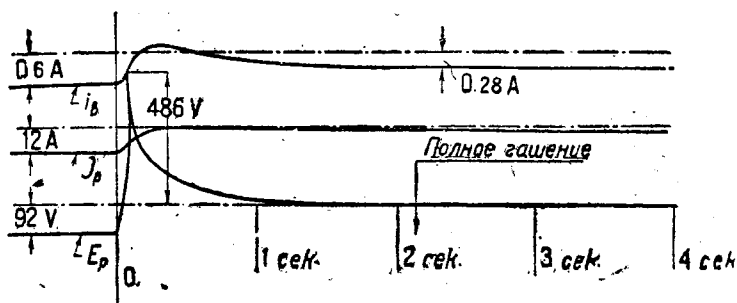


Рис. 6. Осциллограмма, снятая по схеме Шенфера при  $r = 80 \Omega$ .

где  $E_{p \max}$  — максимальное напряжение на роторе,  $E_{p0}$  — нормальное напряжение на роторе,  $T_1$  — постоянная времени обмотки полюсов (катушка  $M$ ),  $T_2$  — 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  $E_{p0} = 92 \text{ В}$ ,  $I_p = 12 \text{ А}$ ,  $i_b = 0,6 \text{ А}$ .

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  $E_{p0} = 92 \text{ В}$ .

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

Вторая величина, которая будет характеризовать гашение, — это продолжительность процесса  $t$ . Из осциллограммы видно, что  $t = 22 \text{ сек.}$ , 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

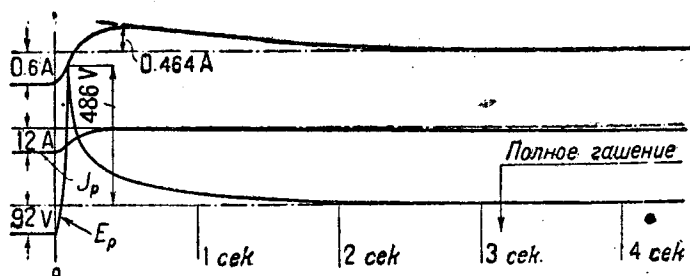
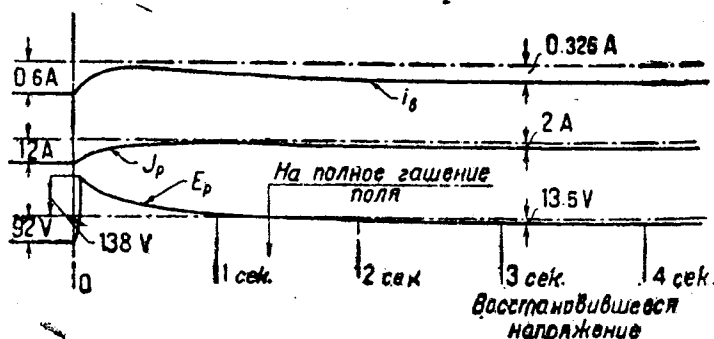


Рис. 7. Осциллограмма, снятая по схеме Рюденберга при  $r = 80 \Omega$ .



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.  $E_p = 92\text{ В}$ ,  $I_p = 12\text{ А}$ ,  $i_s = 0,6\text{ А}$ . 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:  $E_{p\max} = 486\text{ В}$ , а кратность его

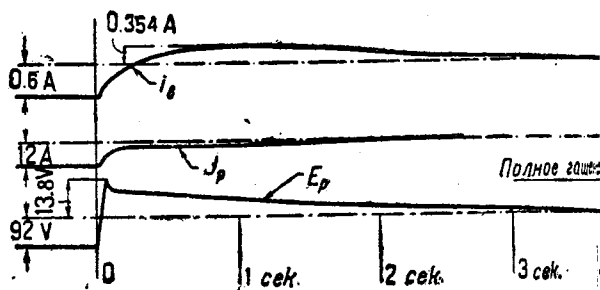
равна  $\frac{E_{p\max}}{E_p} = \frac{486}{92} = 5,28$ . Период гашения поля  $t = 2,13\text{ сек.}$  Ток в роторе синхронной машины быстро падает до нуля, а ток возбуждения возбудителя, пройдя через отрицательное значение, вновь восстановился до величины  $i_s = 0,282\text{ А}$ , т. е. возбудитель не размагнитился.

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  $t = 3,12\text{ сек.}$

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  $r = 20\Omega$ .

$m = 4$ ) 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 ( $E_p = 92\text{ В}$ ,  $I_p = 12\text{ А}$ ,  $i_s = 0,6\text{ А}$ ), но гасительное сопротивление  $r$  было взято равным  $20\Omega$  ( $m = 1$ ), при этом скачок напряжения получился равным

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

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

Осциллограмма на рис. 8 показывает нам, что возбудитель не размагнитился, 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 на осциллограмме рис. 8 по схеме Шенфера. Период гашения поля в этом случае  $t = 4,25\text{ сек.}$ , т. е. 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 через отрицательные значения, также падает до нуля, т. е. возбудитель размагничивается.

### Закключение

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.

# Влияние секционирования на устойчивость

Р. Майер  
ВЭИ

С увеличением мощности станции справляться с токами короткого замыкания становится все труднее, труднее также достичь того, чтобы отдельные части установки надежно выносили появившиеся при этом механические усилия, чтобы выключение места аварии происходило без повреждения выключающих аппаратов. По этим причинам при достижении мощности станций определенных пределов присоединение всех машин к одним общим шинам становится уже недопустимым. Появляется необходимость распределить мощность станции на отдельные участки, между которыми включаются реактансы. При выборе размеров этих реактансов, 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 по возможности полно 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 km бесконечной мощности. Мощность станции распределяется на 3 машины или группы машин, присоединенных 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 соединения реакторов звездой и соединения 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 соединения 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 реактансам 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 (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. Предельный случай  $X_s = 0$  означает непосредственное присоединение к одной общей шине, другой предельный случай ( $X_s = \infty$ ) означает полное отделение друг от друга отдельных групп машин, которые в таком случае синхронизируются в конце 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.

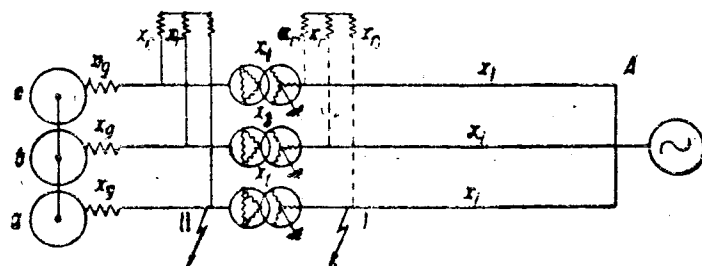


Рис. 1. Исследуемая схема. Для прямой последовательности  $X_g = 0,487$ ,  $X_t = 0,377$ ,  $X_l = 0,81$ . Реактансы отнесены к мощности 400 MW

## 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 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, относящемся к однофазному короткому

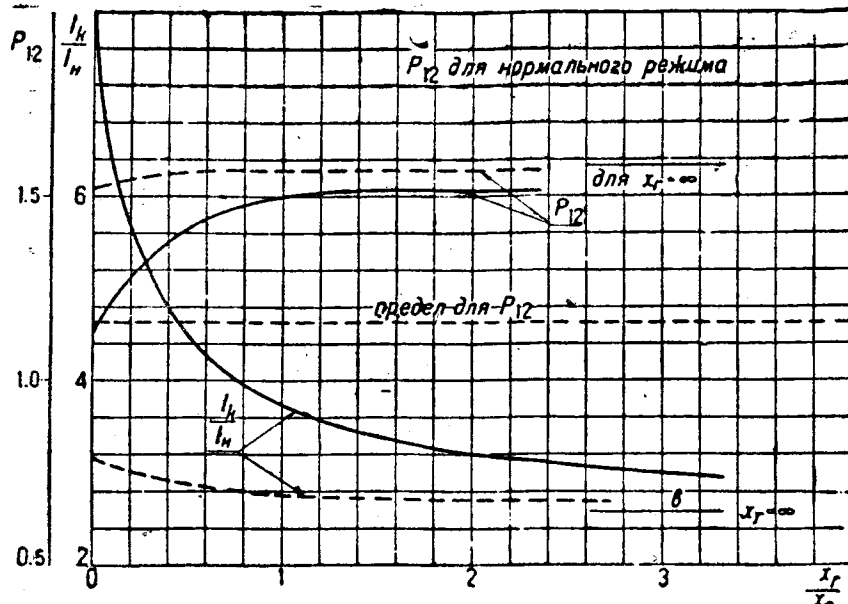


Рис. 2. Влияние секционирования на токи короткого замыкания и на устойчивость (однофазное короткое замыкание на стороне высокого напряжения). Сплошные кривые—секционирование на стороне низкого напряжения, пунктирные—на стороне высокого напряжения

замыканию на стороне высокого напряжения, мы видим, что сильных изменений тока короткого замыкания ( $\frac{I_k}{I_n}$ ) и максимальной передаваемой мощ-

ности  $P_{12}$  в зависимости от реактанта 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 ( $\frac{X_r}{X_g} > 0$ ) сила тока ко-

роткого 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 реактанта секционирования до величины реактанта рассеяния генератора ( $\frac{X_r}{X_g} = 1$ ) 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 при секционировании со стороны низкого

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 аварии. 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 0,41 до 1,46). Таким образом, при непосредственном присоединении значение  $P_{12}$  много ниже допустимого значения. Устойчивость достигается лишь тогда, когда реактанс секционирования становится больше, чем приблизительно одна треть реактанта рассеяния отдельных групп машин.

Напротив того, при секционировании на стороне высокого напряжения условия изменяются 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-

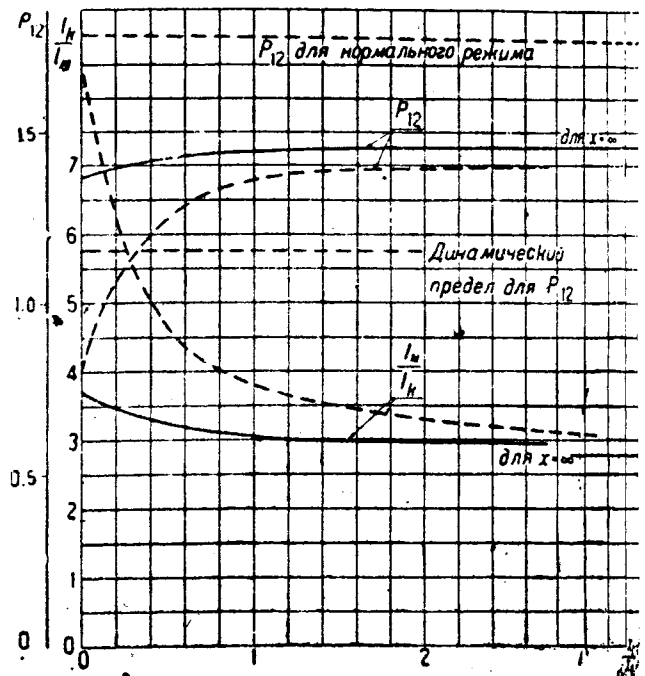


Рис. 3. Влияние секционирования на токи короткого замыкания и на устойчивость (двухфазное короткое замыкание на стороне низкого напряжения). Обозначения—см. рис. 2

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

проявления в рассматриваемом примере перевешивает влияние остальных элементов коммутации, главным образом, трансформаторов. Вследствие того во всей области секционирования, т. е. от непосредственного присоединения до полного выделения отдельных участков шин, больших изменений не происходит.

#### Схема замещения для двухобмоточного генератора

При изложенном выше изучении вопроса пришло к тому, что для секционирования применяются факторы.

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 тем больше, чем больше отдельные реактансы ( $X_s$ ) цепей статора. Однако, существенное влияние имеет также и общий реактанс  $X_k$ . 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. И так приблизительной мерой действия секционирования может служить отношение реактансов  $\frac{X_s}{X_k}$ .

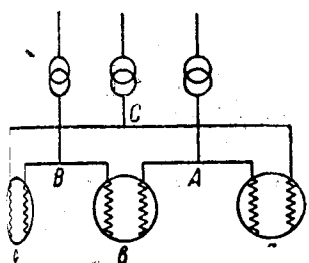


Рис. 4. Соединение трех двухобмоточных генераторов в кольцо

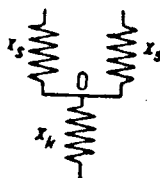


Рис. 5. Схема для двухобмоточн. генератора

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 объединены в один генератор; обозначенные цифрами 1, 2 и 3 реактансы дают при этом, соответственно с рис. 5; общие реактансы  $X_k$  и остальные реактансы 4—9 кольца ABC являются индивидуальными реактансами  $X_s$  обмоток статора каждого генератора. При упрощении схемы, указанные на рис. 6, точки A, B и C на 3 частях шин должны быть сохранены. Превращая звезды реактансов 1, 4, 5, 2, 6, 7 и 3, 8, 9 в треугольники, получаем схему 6в, которую посредством соединения параллельных реактансов мож-

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

Схему, примененную в рис. 1, получаем, превращая в звезду треугольное соединение реактансов 10, 11 и 12. Полученная для этого формула дана под рис. 6. Мы видим, что согласно с вышеприведенными соображениями эффективный реактанс секционирования повышается пропорционально отношению  $\frac{X_s}{X_k}$ . Указанное упрощение схе-

мы, 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 реактансов  $\frac{X_s}{X_k} = 1$ . 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 (а, рис. 1) непосредственно подвергается аварии, между тем как остальные 2 группы машин в и с питают неповрежденные линии. Поэтому можно думать, что машина а 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 а (рис. 1), вектор 2—к остальным 2 группам, а вектор 3 дает напряжение в точке А, 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-

<sup>1)</sup> Chose and Forbes. Electrical World, 1928, стр. 1183. Briton. General Electric Review, 1929, стр. 302, Powers and Algor. The Electric Journal, 1929, стр. 480. Alger, Frithhouse, Crose. Tr. of AIEE, 1930, стр. 226. Роко-ни, Эл-во\*, 1932, стр. 231.

ся. Как видно из рис. 4, в этом случае при коротком замыкании на линии, питаемой секцией А, аварии одинаково подвергаются машины а и в, между тем как машина С обеими обмотками статора присоединена к 2 неповрежденным линиям. Таким образом, на диаграмме рис. 7, в противоположность прежним случаям, вектор 1 относится к обоим генераторам а и в, а вектор 2—к генератору с. Для устойчивости при 3 источниках тока решающее значение имеют передаваемые мощности, получающиеся вследствие сдвига фаз. Они определяются 3 величинами:  $P_{12}$ ,  $P_{13}$  и  $P_{23}$  (отнесенными к номинальной мощности станции). Эти величины дают максимальную мощность, которую можно передать между каждым 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 сдвига фаз не происходит.

Таблица 1

Сдвиг фаз между отдельными машинами станции во время аварии

(короткое замыкание на стороне высокого напряжения)

Случай	1 $P_{12}$	2 $P_{13}$	3 $P_{23}$	4 $\delta_{12}$	5 $\delta_{13}$	6 $\delta_{23}$	7 $P_{SA}$	8 $\delta_{SA}$	9
	—	—	—	—	—	—	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	$\frac{X_r}{X_g} = 1$ со стороны высокого напряжения
3	0,365	0,435	1,14	5,5	43,5	38	1,575	39,5	$\frac{X_r}{X_g} = 1$ со стороны низкого напряжения
4	0,82	0,99	0,557	1,25	41	39,75	1,55	40	двухобмоточный генератор. $\frac{X_g}{X_k} = 1$

Запас устойчивости здесь дается максимумом мощности  $P_{SA}$ , которую можно передать между станцией и шинами бесконечной мощности (точка А 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 а (источник тока 1) и две другие машины в и с (источник тока 2) соединены между собой лишь на шинах бесконечной мощности (место А). Поэтому взаимный

сдвиг фаз ( $\delta_{12}$ ) не вызывает передачи мощностей (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

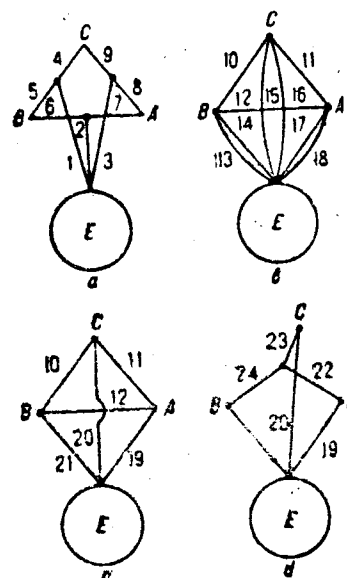


Рис. 6. Замещение двухобмоточного генератора одним точным

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

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

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

видно из диаграммы рис. 7. Оказывается, что угол  $\delta_{12}$  между группой машин в и с, 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 а) и напряжением в А настолько увеличивается, что динамическая устойчивость уже, по видимому, опасна ( $\delta_{13}$ , столбец 5). Сдвиг фаз между шинами станций ( $\delta_{12}$ ) по диаграмме рис. 7 равен разности 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. Это предположение положено в основание изучения вопроса во втором разделе. Максимум мощности, которую можно передавать, должен быть равен сумме обеих частичных мощностей  $P_{13}$  и  $P_{23}$  (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 секционированию со стороны высокого напряжения



Рис. 7. Сдвиг фаз между э. д. с. трех источников тока

с реактантами, равными рассеянию генератора ( $\frac{X_r}{X_g} = 1$ ). При пренебрежении сдвигом фаз на 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 ( $\delta_{12}$ , столбец 5) непосредственно пораженной машины  $a$  и увеличивается, но остается ниже, чем при полном разделении шин. Сдвиг фаз ( $\delta_{12}$ ) 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 реактант ( $\frac{X_r}{X_g} = 1$ ) синхронизирующие силы на станции (столбец 1) возрастают по сравнению со случаем 2 более, чем втрое. Соответственно сдвиг  $\delta_{12}$  уменьшается почти на одну треть. Обстоятельства еще благоприятнее, если на станции работают 3 двухобмоточные генератора, соединенные в кольцо (см. рис. 4). Сдвиг фаз  $\delta_{12}$  при этом становится настолько малым, что на практике можно пренебречь. Для того чтобы полностью охватить все действия 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 состояние сети после выключения аварии секционирование имеет обратное влияние. Самая сильная связь между рассматриваемой станцией и сетью ( $A$ , 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 (3 линиями передачи (строка первая); далее для случая выхода из строя одной линии при непосредственном соединении на стороне высокого напряжения (случай 1) и при непосредственном соединении со стороны низкого напряжения (случай 2). В последнем случае уменьшение синхронизирующих сил ( $P_{SA}$ ), а вместе с тем и увеличение угла отклонения больше, чем в случае первом. Это 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 уменьшения запаса устойчивости, по сравнению со случаем I и II, так как связь ослабляется включением реактантами. Это уже видно по величинам, приведенным в столбцах 7 и 8, вычисленным, исходя из условия совпадения фаз всех э. д. с. на шинках.

При секционировании на стороне высокого напряжения (случай 2, соответственно случаю 2, табл. 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 $P_{12}$	2 $P_{13}$	3 $P_{23}$	4 $\delta_{12}$	5 $\delta_{13}$	6 $\delta_{23}$	7 $P_{SA}$	8 $\delta_{SA}$	9
—	—	—	—	—	—	—	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	$\frac{X_r}{X_g} = 1$ На стороне высокого напряжения
3а	0,512	0,21	1,04	16	67	51	1,26	53	$\frac{X_r}{X_g} = 1$ На стороне низк. напряжения
4а	0,12	0,76	0,507	3,75	53,75	50	1,27	52	Двухобмоточные генераторы $\frac{X_r}{X_g} = 1$

(включение реактанцев 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  $\delta_{12}$  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 реактанцев 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 реактанцы, здесь показывается неблагоприятное влияние слишком большого реактанта. Это влияние вызывается тем, что подача тока от одной группы машин в разделенные реактантами секции шин вызывает падение напряжения, которое тем больше, чем больше реактанцы. 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 отделе работы предполагается лишь со стороны



высокого напряжения, это неблагоприятное влияние сказывается 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 реактансы секционирования приблизительно такой же величины, как реактансы 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 реактансы на станту слишком большими.

Если же отдельные отрезки шины совершенно отделены друг от друга ( $X_r = \infty$ ), то при выключении линии и относящиеся сюда 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 неизменными, является 100% перегрузка остальных двух обмоток статоров. Дальнейшая работа возможна без особого переключения, посредством которого достигается непосредственное соединение секций шин.

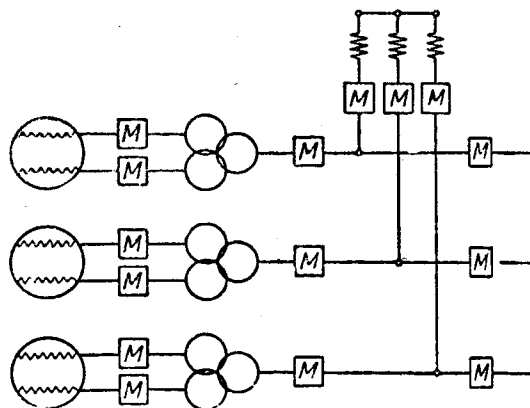


Рис. 8. Предлагаемая схема для двухобмоточных генераторов (M—масляный выключатель)

Объединение 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, достижение 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, повидимому не рекомендуется для секционирования соединять 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. 8. Здесь секционирование производится посредством реактансов на стороне высокого напряжения. Каждый генератор, по отдельности, через свой обмоточный трансформатор питает соответствующую линию.

Ясно, что выводы относительно выбора более благоприятной схемы, к которой мы пришли на основании этих исследований, еще требуются в проверке проектирующим инженером в каждом отдельном случае. Особенно существенные 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 почти 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 разрешить вопросы, связанные с рациональным распределением энергии на предприятии.

Целью настоящей статьи является то, чтобы на конкретном примере электрификации Горьковского автозавода показать, к чему приводит такого рода игнорирование вопросов электрооборудования предприятия и приспособление 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 следующие основные корпуса: литейный, кузнечный, рессорный, прессовый, деревообделочный, механосборочный и ряд других подсобных предприятий. Каждый из вышеперечисленных корпусов состоит из отдельных цехов, разделенных технологическим процессом.

Электроснабжение автозавода осуществляется от собственной тэц, где установлено два турбогенератора по 12 MW, 11 kV и от трансформаторной подстанции тремя трансформаторами по 15 MVA, 115/6 kV, питаемые от Нигрэс. Трансформаторы предусмотрены для реверсивной работы, с каковой целью установлены регулировочные трансформаторы системы Зигмана. Центральный распределительный пункт находится в здании 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 спроектировано 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 питают в свою очередь около 20 + 30 моторов. Фидерные кабели от подстанции идут по траншее, а затем, поднимаясь по колоннам вверх, где разделяется воронка, через предохранитель SPO присоединяются к сетке. Предохранители выбраны на силу тока 500 А.

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 (А, В, С, 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 опisanии станций.

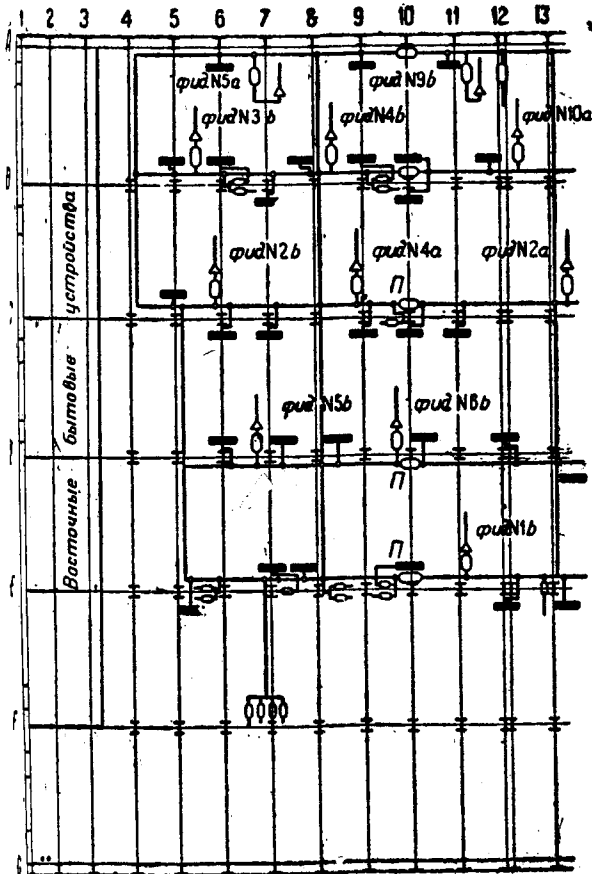


Рис. 1. Схема сетки механосборочного корпуса

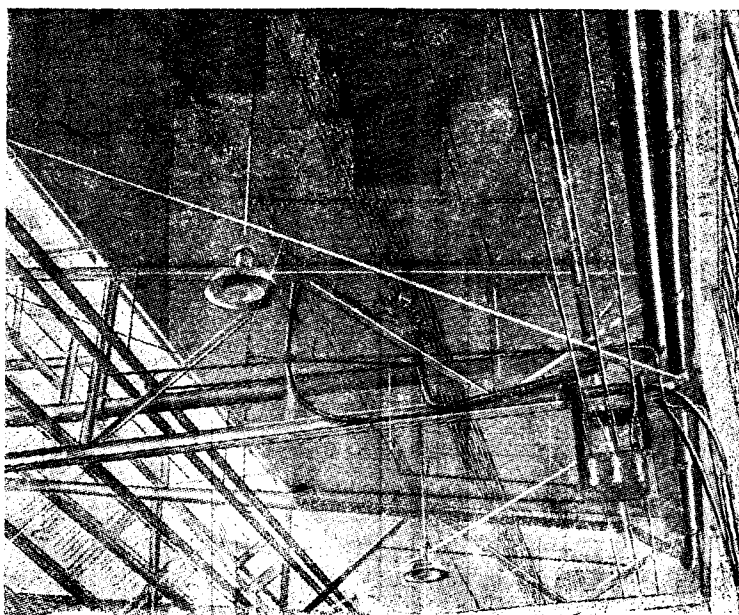


Рис. 2. Пример прокладки сетки и кабелей по конструкциям. Разделка муфты и присоединение через SPO на 500 А

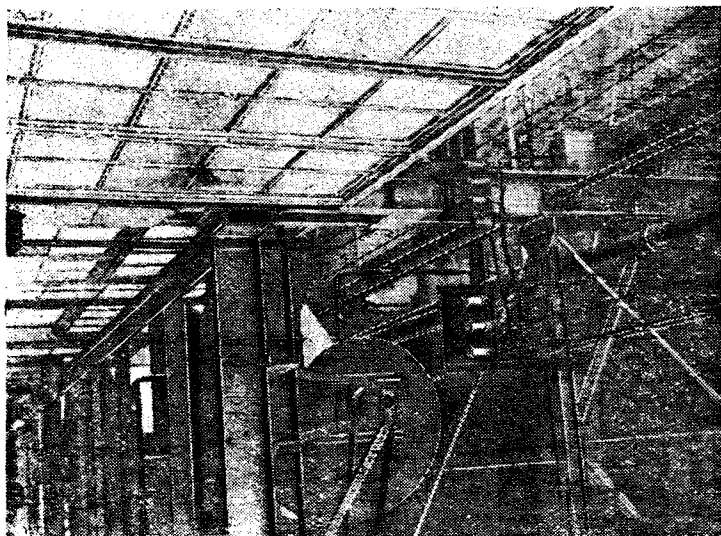


Рис. 3. Монтаж сетки и отпайка к мощным моторам. Установка промежуточных предохранителей SPO на магистрали сетки

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 мм<sup>2</sup>. 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 5100 kg/cm<sup>2</sup>.

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.

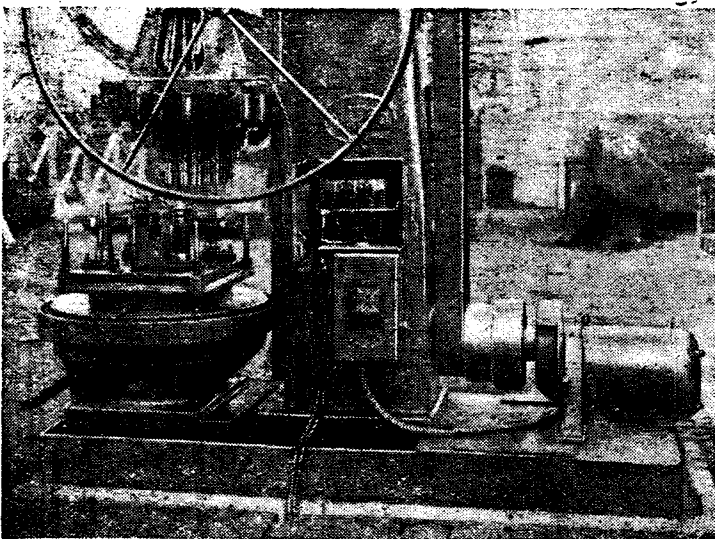


Рис. 4. Примеры монтажа пускового приспособления на станке и прокладки кабеля под шашкой

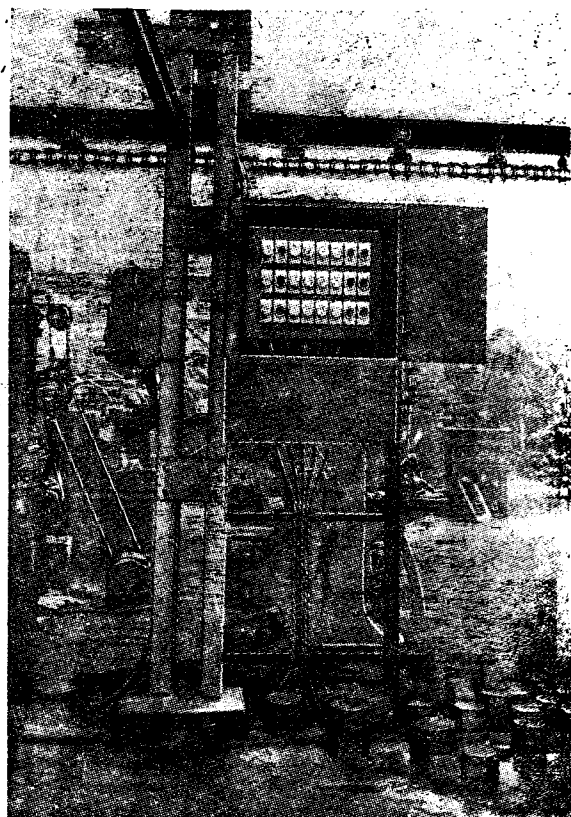


Рис. 5. Установка группового пункта и пример прокладки кабеля под шашкой

Методика расчета. При расчете принималось во внимание только омическое сопротивление сети и подводящих 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  $OA = E_n + IE \cos \varphi$  и действительным полным напряжением сети  $OB$ . Такое допущение чрезвычайно упрощает все расчеты, так как позволяет сделать модель сети из одних только омических сопротивлений и проводить все испытания с помощью постоянного тока. Модель была сделана следующим образом. На листе фанеры 6 мм натянута сетка из никелиновой проволоки диаметром 1 мм в точности воспроизводящая конфигурацию данной сети. Это легко можно было сделать потому, что кабели сети и белы, 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 пронумерованы.

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

Масштаб сопротивлений модели получается следующим: разом: 1 м никелиновой проволоки, примененной для изготовления сети, имеет сопротивление 0,625 Ω; 1 м никелиновой проволоки соответствует в натуре 150 м медного кабеля (строительный масштаб модели равен, следовательно, 1:150, а так как сопротивление 150 м медных шин сетки в 150 мм<sup>2</sup>

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

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 scales и сопротивления нагрузок, вычисляемые по формуле

$$R_n = \frac{E \cdot 36.5}{\sqrt{3 I_n \cos \varphi}} = \frac{380}{\sqrt{3 \cdot 1.072}} \cdot 36.5$$

для каждой нагрузки в отдельности.

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

К сети между шиной подстанции и общими сборными шинами было приложено напряжение 1,2 V, выбранное с таким расчетом, чтобы показания имеющегося в лаборатории чувствительного милливольтметра численно равнялись бы падениям напряжения в действительной сети прямо в вольтах. Зная эти потенциалы всех точек схемы, можно было определить разность потенциалов на каждом участке сети, а поделив его на 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 небольшой 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, отклонится. Однако можно добиться того, чтобы этого отклонения не было. Для этого нужно только, чтобы напряжение на милливольтметре, устанавливаемое с помощью потенциометра  $R$ , равнялось измеряемому напряжению. Таким образом, добившись того, чтобы показание гальванометра равнялось нулю, мы 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. С помощью этой схемы были замерены на модели потенциалы во узловых точках схемы и всех мест присоединения питающих кабелей.

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

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

$$400 \cdot 0,75 = 300 \text{ А}$$

для сечения 150 мм<sup>2</sup> является вполне допустимым.

Таблица 1

Падения напряжения в узлах

Узлы	Падение напряжения мВ	Узлы	Падение напряжения мВ	Узлы	Падение напряжения мВ
B-5	5,0	B-22	2,58	D-8	5,41
C-6	5,1	A-23	2,41	E-8	5,76
D-7	6,37	E-23	3,2	A-13	3,51
A-7	4,12	D-24	2,92	B-13	3,71
A-8	4,57	C-25	2,7	D-13	4,46
C-9	4,65	B-26	2,79	E-13	4,7
D-10	5,01	A-27	2,49	A-18	3,1
E-11	5,1	E-27	3,22	B-18	2,95
A-11	3,49	D-28	2,94	C-18	3,19
C-12	3,8	C-29	2,71	E-18	3,71
D-12	3,91	B-30	3,01	B-23	2,69
D-14	4,2	A-31	2,84	C-23	2,85
D-15	4,4	D-31	2,91	D-23	3,02
A-15	3,12	C-32	2,84	A-28	2,67
B-16	3,1	B-19	2,7	B-28	2,89
C-17	3,25	B-14	5,03	C-28	2,83
D-18	3,44	C-4	5,35	E-28	3,29
D-19	3,52	D-4	5,7	B-33	3,18
D-20	3,19	A-8	4,15	C-33	2,93
D-21	2,8	C-8	4,87	D-33	3,2

Эксплуатационные данные. В виду того, что распределение энергии в виде сетки впервые в СССР осуществлено на Автозаводе, то не безынтересным 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.

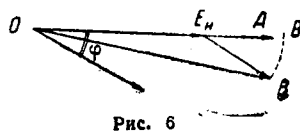


Рис. 6

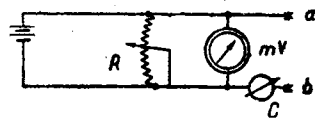


Рис. 7. Компенсационная схема, примененная при опытных определениях потенциалов в различных точках на модели сетки

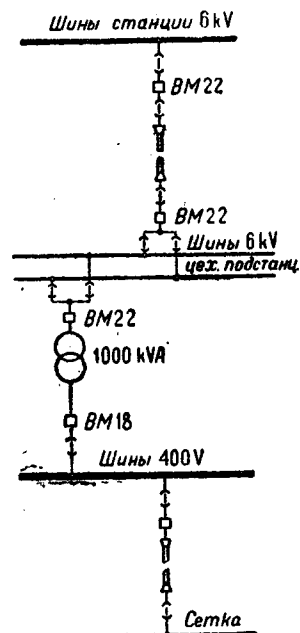


Рис. 8

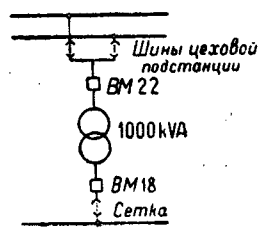


Рис. 9

Таблица 2  
Западная механосборочная подстанция

№ фид.	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	10	0	0	0	4
0	100	0	50	120	120	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	5
0	120	0	50	75	75	0	50	5	0	0	0	0	50	0	0	0	6
0	110	0	50	100	110	0	0	5	0	0	0	0	25	0	0	0	7
0	120	0	50	140	130	10	100	5	0	0	0	0	60	0	0	0	8
0	50	0	25	110	110	0	50	0	0	0	0	0	50	0	0	0	9
0	120	0	50	140	130	10	80	5	0	0	0	0	80	0	0	0	10
0	135	0	70	135	140	10	50	30	10	10	10	15	60	0	0	0	11
0	100	0	50	120	120	10	20	10	10	0	10	0	50	0	0	0	12
0	25	0	15	100	100	5	15	10	0	0	10	10	50	0	0	0	1
0	19	10	15	120	100	10	20	0	20	50	10	10	100	0	0	0	2
0	150	0	50	0	120	0	150	0	50	14	10	150	0	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	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	50	100	—	—	—	—	—	7

Из табл. 2 можно усмотреть, что нагрузка по фидерам распределена далеко не равномерно, хотя кабели, питающие сетку, 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 одинаковости распределения нагрузки в цехе.

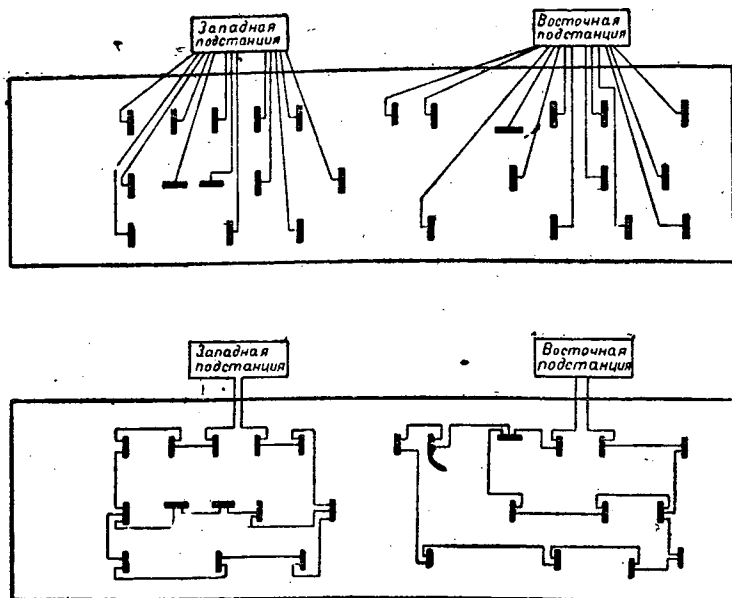


Рис. 10. Радиальное питание *a* силовых центральных пунктов и резервные кольца *b*, соединяющие силовые центральные пункты в прессовом корпусе.

В сети предусмотрена защита отдельных участков предохранителями СПО—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 сети вполне удовлетворительна, никаких перебоев в работе не происходит, и обслуживающий персонал вполне удовлетворен работой сетки. Большим преимуществом сетки является также надежность 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 отсоединения отдельных участков, то при рассмотрении схемы видно, что для того, чтобы произвести отключение какого-либо пункта, необходимо отключить до 40 СПО, 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.

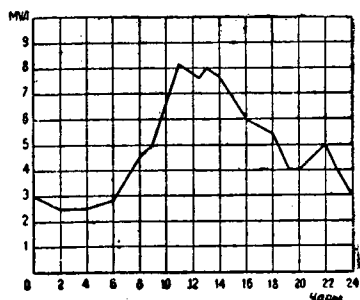


Рис. 11. Суммарный суточный график нагрузки

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÷7 параллельно работающих трансформаторов трансформируется на напряжение в 400 В и через масляный выключатель ВМ-18 присоединяется к сборным шинам 400 В. Далее, от сборных шин 400 В отходят отдельные фидеры через ВМ-5, которые

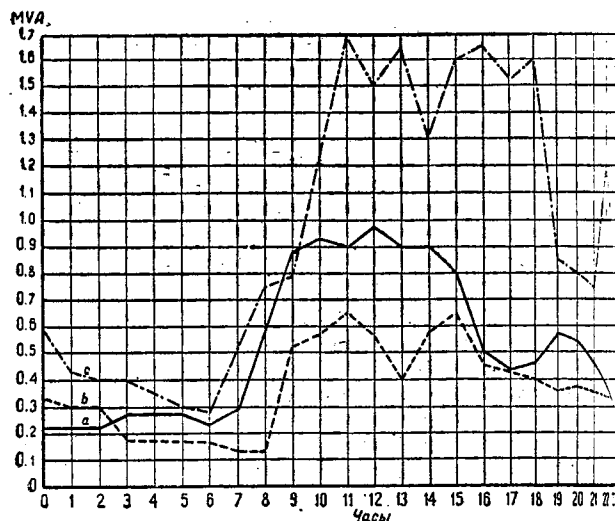


Рис. 12. Суточные графики нагрузки: *a* — литейный корпус (установленная мощность 7 МВА); *b* — прессовый корпус (установленная мощность 13 МВ); *c* — механосборочный корпус (установленная мощность 18 МВА).  
\*) Так как темой данной статьи является распределение энергии во времени и внутри цехов, считаем невозможным подробно останавливаться на описании станции.

непосредственно присоединяются к сетке. Несомненно, при рассмотрении этой схемы возникает вопрос о том, сколько необходимо и целесообразно наличие сборных ш 400 В, так как сетка сама уже является как бы системой сборных шин. Действительно, если бы было предусмотрено 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 штырей опорных изоляторов, 41,7 т меди в кабелях и около 2 т свинца.

### Распределение энергии в прессовом корпусе

Другим типом распределения энергии является провод в прессовом корпусе. В части питания до шин 400 В цехов подстанции схема остается той же, разница в схеме начиная от шин 400 В. Как видно из схемы рис. 10 *a* и *b*, центральные пункты разделены на 2 группы и каждая из них питается от 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 подстанции. 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 разбрасывания трансформаторов по цеху с питанием их с высоковольтной стороны от распределительного пункта, а с низковольтной стороны посредством присоединить к кольцу, то такое решение вопроса распределения энергии по корпусу явилось бы несомненно, более гибким и целесообразным и не требовало бы дополнительных резервных подводов. В результате применения такой схемы выбрасываются все кабели радиального питания в количестве свыше 10 000 м, т. е. свыше 41,5 т меди и около 20 т свинца, 40 масляников ВМ-5, 120 разъединителей, 3 т алюминиевых шин. Делая такую модификацию по всему цеху, 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 пришлось бы затрачивать и громадного количества человеческого монтажного персонала.

### Эксплуатационные данные

Необходимо остановиться несколько на эксплуатационных данных завода.

Суммарный суточный график нагрузки в октябре 1952 представлен на рис. 11. Установленная же мощность, как и зывалось ранее, выражается в 50 МВА. Суточные графики нагрузки механосборочного, литейного и прессового корпусов показаны на рис. 12, под рисунком приведены установленные мощности этих корпусов. На подстанциях данного корпуса, как видно из приведенного материала, нагрузки как и

данных корпусах, так и общая нагрузка завода значительно меньше от установленной мощности.

Исходя из факта преувеличенной установленной мощности подстанций, мы приходим к выводу, что как коэффициенты спроса, так и коэффициенты одновременности, данные американской консультацией, значительно преувеличены. Отчасти причиной преувеличения мощности является и следующее обстоятельство: фирма, поставлявшая станки, обычно указывала номинальную мощность, потребную для станка (например, 9 kW). При подборе мотора к станку за границей по нормальным моторам указанной мощности не оказывалось, и тогда брали ближайшую большую (например, 12 kW). Эта мощность и указывалась на чертеже. Затем в СССР проектисты, подбирая мотор по нашим таблицам и не зная мощности, практически брали мотора по нашей нормальной шкале опять ближайший больший. Необходимо указать, что мощности, указываемые фирмой, относились к максимально возможной мощности. 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.

Из этих обстоятельств привели к тому, что мощности подстанций оказались чрезвычайно велики, и если принять во внимание неполную загрузку цехов и допустить увеличение мощности даже в 4 раза по сравнению с существующей в настоящее время, то и тогда по таким подстанциям, как литейная, механосборочная, прессовая, кузнечная в этом случае идет лишь до 50% загрузки подстанций. Из 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 φ. В табл. 3 по данным Энергбюро приведены значения cos φ по отдельным цехам в некоторые дни августа и сентября 1932 г.

Наименование отделов	Число месяца	Август		Число месяца	Сентябрь	
		среднее	по счетчику		Среднее	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

#### Закключение

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, раз'единителей 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.

## Трибуна читателей

# Рациональное напряжение на зажимах синхронных генераторов большой мощности

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

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

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

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

Потом подстановки

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

получаем:

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

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

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

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

где  $D$ —диаметр якоря в см,  $\alpha$ —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:

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



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

$$P_{[kVA]} = 6,66 \omega l f_1 \frac{\pi D n}{60} \frac{l}{t} B_z \alpha l_{Fe} \cdot 10^{-11}. \quad (7)$$

Но  $\frac{\pi D n}{60} = 100 v$ , где  $v$  — окружная скорость ротора в м/сек, а  $\omega l = \frac{S \Delta \cdot 100}{6}$ , где  $S$  — сумма сечений меди по всем пазам в  $\text{см}^2$ , а  $\Delta$  — плотность тока в  $\text{А/мм}^2$ . Подставляя эти значения в (7) получим:

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

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, диктуются соображениями ограничения величины высших гармонических полей. В этой связи нас в первую очередь интересует величина  $B_z \frac{b}{t}$ . 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 объясняется 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  $B_z \frac{b}{t}$ . 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 осуществлено рациональное сокращение шага в целях ограничения гармонических от пульсации м. д. с. В такой обмотке напряжение на борнах получается уже не какое-либо наперед заданное, а определяющееся величиной магнитного потока и числом пазов. Если число пазов статора машины 24, число витков каждой фазы трехфазной машины при последовательном соединении всех стержней каждой фазы будет  $\frac{z}{3}$ , напряжение каждой фазы определится:

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

При этом получаются напряжения, значительно пониженные против обычно применяемых, конечно, не совпадающие в общем случае с кривыми нормальной шкалы. [Получающийся в таком естественном напряжении большой ток в машине 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 перепада температур 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 то 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 генератором и трансформатором при больших токах потребуют много избыточной меди, алюминия и тем самым сделают невыгодной такую естественную обмотку, однако ряд подсчетов показывает, что экономия меди от возможности применения повышенной плотности тока избытком покрывает увеличение проводникового материала на соединениях между машиной и трансформатором. Построение мощных трансформаторов для повышенных токов и ненормального напряжения не представляет никаких технических затруднений и не вызывает чувствительных добавочных затрат материала. То небольшое повышение суммарного реактанта, которое получается у машины с полузакрытыми пазами, в сравнении с таковой с открытыми, не приводит к никаким затруднениям и может быть опущено при сравнительном рассмотрении обоих типов.

## Дискуссия

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 определенно стремимся для крупных генераторов проектировать обмотку с двумя стержнями в пазу и притом с возможностью обегать для того, чтобы избежать тяжелых междуполюсных соединений. В этом типу выполнены обмотки генераторов Рингеса и Земазачлы (второй очереди). С



отметить, что обтекающие обмотки требуют дробном числе пазов на полюс и фазу некоторых специальных числовых соотношений.

Дальнейшее положение проф. Перевозского о том, что для генераторов, непосредственно соединенных со своим повышающим трансформатором, необязательно придерживаться стандартных напряжений, также правильно для случаев, когда исполнение обмотки для стандартного напряжения затруднено.

Однако выведенная проф. Перевозским формула для напряжения на фазу машины с двумя стержнями в пазу требует коррективы на число параллельных ветвей обмотки, которое обычно у 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:

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

т. е. 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 стержневыми обмотками правильное 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 2, как это явствует из соображений объема паза из таблицы ориентировочных напряжений, к которым следует стремиться для крупных генераторов.

Мощность MVA	Ориентировочное напряжение кV	Сила тока на фазу равна объему тока на паз при 2 стержнях в пазу и 2 параллельных ветвях А
30	6,3	2 750
60	10,5	3 300
90	13,2	3 750
125	15,75	4 550

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 обтекающих обмоток брать можно) мы обычно получим в крупных машинах напряжения от 10 500 до 15 750 V. Для таких напряжений рекомендуемые проф. Перевозским открытый 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 тепловая задача ухудшается, и со временем возрастает коробление стержней пагубная для долговечности обмотки внутренняя ионизация; кроме того, изоляция стержней со временем страдает от вибрации, наконец, озонирование интенсивнее, так как проводящий слой легко повреждается при работе 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 паек.

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 зубах статора; поэтому применение открытого паза не понижает 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 плетеными 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:

- наглухо соединять генератор и повысительный трансформатор;
- не стандартизировать напряжение на клеммах таких генераторов, а допускать то напряжение, которое получится при рациональной обмотке (двуслойная: 2 стержня в пазу);
- применять полузакрытые паза, 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 повысительными 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 обмотку генератора крутые волны, уменьшаются механические усилия на лобовых частях обмоток от коротких замыканий на линии передачи.

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

глухо связанном генераторе с трансформатором не допускается частичный отвод электроэнергии от клеммы и поэтому напряжение на клеммах генератора является чисто „домашним“ вопросом заводов, изготовляющих 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 капп на лобовых обмотках ротора.

Я даю предпочтение „американской обмотке“ (двуслойная „барабанная“) в открытые пазы с соединениями между секциями у вершины секции, 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 капп 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 много лет почти всегда предоставляется конструк-

Проф. Б. П. Амаров  
ВЭИ

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

Для генераторов, соединяющихся непосредственно с трансформатором, автор ставит вопрос: не явится ли рациональным конструировать обмотку и магнитопровод статора не по заданному напряжению, а наоборот, получать напряжение исходя из определенной обмотки и получать какое напряжение на зажимах, которое определится заданной конструкцией обмотки и мощностью генератора. Автор приводит ряд подсчетов, определяющих наивыгоднейшую конструкцию пазов генератора и его обмотки, которую предлагать выполнять для всех генераторов с двумя активными стержнями в пазу. Автор предлагает лучшего использования машины выполнять полузакрытые пазы, изолируя снаружи на стороне заводов их в пазы с торца и выполняя лобовые соединения отдельными вилками. При такой обмотке напряжение на клеммах генератора не подается какое-либо наперед заданное, а определяется величиной магнитного потока и числом пазов.

Затронутый т. Перевозским вопрос имеет актуальное 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 выполняется в настоящее время напряжением 15 kV.

Нам представляется только спорным предложение т. Перевозского применять в мощных генераторах полузакрытые пазы и выполнение лобовых соединений отдельными вилками. В настоящее время большинство заводов, и в частности, завод „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. Перевозского 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 заключается в уменьшении размеров изоляции паза и может осуществиться в указанных случаях при применении в конструкции генераторов низковольтных обмоток изоляции.

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

## 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

а) Терминология наша недостаточно систематична. Примеры. 1) Для выражений выключать, включать, переключать обобщающим термином служит неуклюжее слово коммутировать. Предлагаю (подобно т. Эразмусу) ввести выражения: ключить, ключать, ключение, ключатель и т. д. Слово установка применяется в трех разных смыслах. Изяснение вопроса, в котором встречается это слово хотя бы 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 случая, когда оно обозначает урегулирование прибора на определенный режим, предлагаю слово уставка.

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

в) От некоторых терминов трудно образовать прилагательные и производные слова. Слова все отглагольные существительные, как например, напряжение, давление. Предлагаю образовывать имена прилагательные прямо от основы таких слов. Примеры. 1) Коэффициент высокого давления—высокодавный котел. 2) Аппаратура высокого напряжения—высоконапряжная аппаратура. 3) Турбина с противодавлением—противодавная турбина.

г) 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 склоняемыми. Как пример предлагаю слово реле заменить словом релей. Все слова иностранного происхождения с окончанием на букву о (депо, кино и т. д.) должны склоняться по образцу коренных русских слов кончающихся на о. Такова практика украинского и польского языков.

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

#### II. Методы для создания новых терминов

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

б) Они печатаются в сокращенном виде.

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.

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, хозрасчет.

г) Применение иностранных слов допустимо, когда не удастся, подыскать или создать негромоздкое русское слово. При выборе иностранных терминов желательно брать слова латинского происхождения, так как латинский язык является языком международным и благозвучным. Примеры: термины—активное сопротивление, реактивное сопротивление, полное сопротивление, предлагаю заменить терминами: сопротивление, реактанс, 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 шестизязычного словаря Шломана и с украинской организацией, выполняющей 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—напряжный 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 величины. 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 принят термин «сменный ток» по-украински «змінний ток» или «змінний 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 phenomena—преходящие явления. 25) Transient—проходящий.

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—прямперенаправ.

Примечание к пп. 26—31. Термины эти приведены как новые в статье Rachel и 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 во всех падежах, что очень важно для ускорения понимания сообщения.

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 кругов техников.

В качестве нечеткости употребляющейся номенклатуры автор приводит пример, что динамо-железо имеет ряд названий (лист электро-технической стали по ОСТ, статорный лист, статорное железо, жель, вырубка—по заводской терминологии), вместо которых он предлагает свое название „динаможель“.

Подобная нечеткость номенклатуры создает ряд затруднений в условиях заводской работы. Для устранения всех неудобств, связанных расплывчатостью терминов, необходимо преодолеть косность и „самотек“.

Автор рекомендует смело вводить в практику вновь образованные слова, но советует выполнять 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 пригодности выбранных обозначений в международном масштабе. Кроме того, автор требует, чтобы наравне с русскими названиями допускались и интернациональные.

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

В заключение он высказывается за введение в 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

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

Далее, автор переходит к недостаткам терминологии, намечает методы создания новых слов и организации этой работы и приводит ряд своих новых терминов из области энергетики. К недостаткам терминологии автор относит отсутствие ее систематичности, т. е. отсутствие как обобщающих понятий (например для выражений „включать“, „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—корток), или неудобны по структуре, не давая возможности образовывать новые прилагательные и производные слова (например, слова: напряжение, сопротивление и т. п.), являясь несклоняемыми словами. Автор рекомендует считать склоняемыми такие слова, как например, „шоссе“ „реле“, которые по форме подобны склоняемому слову „аллея“, а также слова, оканчивающиеся на „о“ (например депо, метро).

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

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

ационализация технической терминологии потребует длительной и умелой работы и борьбы

с людской косностью. Работу должны вести группы инженерно-технических работников, сосредоточенные 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, демферная 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 (многозначные), 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 высказывается за организацию особой „терминконсультации“ с участием специалистов-техников и языковедов.

## ТЕХНИКА 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

результате проработки комиссиями НКТ СССР инженерно-технического совета Главэнерго проектов изменений и дополнений действующих правил безопасности и правил устройства и содержания для электротехнических сооружений сильного тока низкого и высокого напряжения<sup>1)</sup> и постановлением ЦЭС и Наркомтрудом СССР<sup>2)</sup> утверждена новая редакция этих правил<sup>3)</sup>

Электричество\* № 5, 1932, стр. 298—299.

Обязательное 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 комментируемых 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 V, все остальные устройства относятся к устройствам высокого напряжения. Для аккумуляторов определяющим напряжением является напряжение в начале разряда.

**Примечание.** В установках с напряжением 380/220 V 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 V, с заземленной нейтралью“.

В отношении установок 380/220 V 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 V с заземленной нейтралью в условиях эксплуатации является далеко небезопасной. Данные электротравматизма объективно указывают, что в ряде случаев система 380/220 V с изолированной нейтралью дает большую гарантию безопасности. Однако высказанные соображения безопасности требуют опытной проверки. И в этом смысле заслуживает особого 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 V (как изолированной, так и заземленной нейтралью). Эта работа, которая будет проводиться в течение года<sup>4)</sup> научно-исследовательскими институтами труда и ВЭИ, даст объективное заключение о преимуществах в отношении безопасности при эксплуатации той или другой системы. Выставленное же в „Правилах“ требование об отнесении системы 380/220 V 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 проводе должны быть выполнены посредством сваривания, свинчивания или склепывания.

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 про-

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

§ 36. Ширина свободного прохода между расположенными 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 батарей должны быть в аккумуляторном помещении предусмотрены лифтовые мостики.

Батареи должны быть так расположены, чтобы при обслуживании была устранена возможность одновременного прикосновения к точкам, между которыми имеется напряжение более 250 V. Батареи, напряжение которых отношению к земле достигает 1 000 V и более, следует делить на выключаемые группы с напряжением не более 250 V.

Действующие правила совершенно не дают указания о том, какой должна быть ширина свободного прохода между расположенными друг против друга рядами элементов батарей. В практике эксплуатации это приводило к несчастным случаям, а в проектировании—к разнобою. Тогда и в отношении однородного 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, расположенными на высоте не менее 2,5 м, и противоположной стеной должно быть не менее 1 м, а между неогражденными токоведущими частями, расположенными 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 со стороны прохода дверями, сетками или решетками.

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

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

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

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



возможной стеной, если такое размещение не препятствует нормальному обслуживанию установки (оперирование трен-стерами, замена оборудования и т. п.) при удовлетворении минимальным расстоянием до заземленных частей установки, согласно § 135 настоящих „Правил“.

Как видно, этот параграф был подвергнут существенной переработке. Четкость приводимых в 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 применить сравнительно более простые и надежные.

§ 45, п. „в“. Вне электромашинных помещений распределительные щиты, недоступные с задней стороны, должны быть защищены посредством запирающихся или привинченных решеток, деревянных щитов и т. п. таким образом, чтобы находящиеся под напряжением части не могли ни каким образом попадать посторонние предметы.

Пункт уточнен в смысле конкретизации способов ограждения распределительных щитов. В условиях эксплуатации вследствие легкого доступа к щиту неквалифицированного персонала часто происходят короткие замыкания по той причине, что за щитом обнаруживаются склады инструментов, гвоздей, проволоки, мокрой спецодежды и т. д.; в одном случае была обнаружена кошка...

§ 46, п. „б“. В распределительных устройствах, предназначенных для токов различного рода и напряжения, для каждого рода токов и напряжения должны быть предусмотрены соответствующие обозначенные панели или же должны быть приняты меры к легкому распознаванию частей, относящихся к токам различного рода и напряжения.

Исправлены опечатки предыдущих изданий.

§ 45, п. „а“. На выключателях высокого напряжения должны быть ясно обозначены положения выключения и включения. Надписи выключателей должны быть заземлены.

Масляные выключатели должны устанавливаться таким образом, чтобы между ними и обслуживающим персоналом находилась защитная стенка, предохраняющая обслуживающего персонала от пламени и горящего масла. Впускowych моторных выключателей в качестве защитной служит передняя стенка ящика.

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

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

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

§ 47. Масляные выключатели для напряжения 110 kV и выше устройства взрывных камер и защитных стенок не требуют.

§ 48. В случае применения бронированных устройств взрывных камер и защитных стенок не требуется.

§ 49. Защищенные в закрытые кожухи выключатели высокого напряжения, предназначенные для выключения цепи под нагрузкой, должны при напряжении свыше 600 V снабжаться разрывными контактами, позволяющими отсоединять от напряжения общие контакты выключателей.

Исправления, внесенные в настоящий параграф, затрагивают наши правила безопасности на первом месте среди всех стран. Впервые введено понятие „взрывная камера“. Предусмотрены все возможные случаи, при которых применение взрывных камер не требуется: 110 kV — устройства, бронированные устройства, с расчетной мощности токов короткого замыкания менее 100 MVA. При применении реакто-

ров — искусственному 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 маслоотводов для уменьшения эффекта пожара в условиях взрыва мощных масляных выключателей; этот вопрос еще не закончен проработкой. Если конструкция маслоотборных 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 надзора 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 пересмотре правил.

Бывший пункт „б“ (нынешний „д“) требовал устройства разъемных устройств 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 защитного предохранителя на расстоянии не свыше 1 м от места ответвления, но при условии, что провод не находится вблизи легко воспламеняющихся предметов.

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

§ 72. Реостаты и сопротивляющие, 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 V.

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

§ 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 аккумуляторными газами, а равно и содержащихся в воздухе паров кислот, необходимо устройство естественной или принудительной непрерывно 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 явится 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 сырых поме-

щениях; то же относится и к помещениям с едкими парами. В неизбежных случаях должны быть приняты особые меры защиты независимо от применяемого напряжения. В связи с этим первая часть пункта исключена.

§ 192. При применении электрических машин, трансформаторов и реостатов, а также выключателей, предохранительных 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 устраняют опасность взрыва.

§ 194. Для освещения допускаются лишь источники света герметически закрытые, они должны быть вместе с патронами 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 ток

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 взрывоопасных 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 рассчитано на давление в случае взрыва внутри аппарата. Налаживается также производство взрывобезопасной осветительной арматуры (Завод „Электросвет“), удовлетворяющей требованиям 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 его установление взрывоопасности 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 объединения 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 пользуются общим резервом.

Электрическая система должна быть рассматриваема как единый хозяйственный организм. Именно с этой стороны она представляет для нас наибольший интерес. Благодаря объединению станций и совместной их работе, достигается наилучшее использование их оборудования, наиболее экономичная выработка энергии и обеспечивается большая надежность

энергоснабжения. Отдельные стороны работы станций подпадают 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 безаварийной 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 ремонта, как правило, не было. К тому же необходимо отметить, что вопрос этот не так просто решается, как кажется с первого взгляда. Разбивка агрегатов на очереди для постановки их в ремонт и выбор для них наиболее подходящего с точки зрения системы времени для ремонта решается индивидуально для каждой отдельной системы, в зависимости от структуры станций и потребителей и пр.

Вопрос о плановом ремонте агрегатов системы должен быть увязан с планированием работы системы вообще и плановым регулированием графика нагрузки в особенности. В условиях нашего планового хозяйства мы в состоянии добиться существенного регулирования графика нагрузки, т. е. потребовать от абонентов электрических станций до такой степени, чтобы кривая нагрузки представляла собой линию, не

скую к прямой. Но в том случае, если в системе годовой расход потребления энергии все же дает достаточный сезонный провал, во время которого может уложиться весь ремонт, то последний получает одно решение. При этом отпадает необходимость иметь в системе специальный резерв для ремонта агрегатов. Диаметрально противоположным случаем является система, имеющая годовой график в виде прямой, вследствие чего необходимо иметь полный ремонтный запас для возможности выведения в ремонт агрегатов. Между этими двумя крайними случаями располагается ряд промежуточных реальных систем, требующих комбинированного плана ремонта, который частью укладывается во время сезонного провала, частью за счет специальных резервных агрегатов. На основе произведенных исследований и расчетов автор оцениваемой работы дает ряд формул для подсчета необходимого количества ремонтных агрегатов в зависимости от специфики ремонта и характера годового графика системы, отмечает автор, выражающийся 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 осталось. Политика партии и правительства на развитии комбинированного производства энергии и в первую очередь на развитии производства электрической и тепловой энергии и развитии теплофикации привела к изменению структуры наших электрических систем, которые из чисто конденсационных превратились в электроэнергетические системы, состоящие из ряда конденсационных и теплофикационных станций. В том же направлении действует принятый курс на развитие строительства, в результате чего уже в самом недалеком будущем в ряде наших систем, исконно бывших чисто теплофикационными, окажется значительный процент гидравлической мощности. При планировании 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 пара, конденсационные 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 сезонной 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, противодавленческие 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 их мощность для выведения в ремонт конденсационных агрегатов. Точно так же для этого может быть использована сезонная мощность гидростанции.

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 сжатой 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

## Х Р О Н И К А

### Ленинградский электрофизический институт (ЛЭФИ)

#### Опытная линия на 500 kV ЛЭФИ

При рассмотрении вопроса о создании единой высоковольтной сети Союза выяснилось, что передача мощностей порядка тысяч киловатт на расстояния, измеряемые тысячами километров, возможна лишь при переходе к напряжению 110 kV и выше.

Отсутствие эксплуатационных и недостаточность экспериментальных данных о таких линиях вызвали необходимость создания экспериментальной линии для изучения вопроса изменения столь высоких напряжений в обстановке, близкой к нормальным линейным условиям (корона, изоляция линии, защитного троса, заземление, конструкция проводов и т.д. 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 (прохождение по парковой полосе, частое пересечение улиц и дорог) пролет линии принят равным 300 м. Расположение проводов по ряду сообразно принято горизонтальное с расстоянием между проводами до 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 500 kV равным 9 м, для 500 kV—10 м.

При определении высоты опор и нагрузок на них учитывались особенности проводов различной конструкции. Наибольшие нагрузки на опоры определялись из предположения подвески пустотелого медного провода диаметром 50 мм сечением 600 мм<sup>2</sup>. При принятой длине гирлянды в 5 м высота промежуточной опоры (до оси траверсы) определена в 15 м, высота анкерной—19,5 м.

Проектированные выступающие над траверсой шпильки и уголки позволяют в широких пределах (до 10 м) производить подвеску двух защитных тросов над про-

При проектировании было предположено изготовлять 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 м<sup>3</sup> и 26,8 м<sup>3</sup>. 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 помощью гирлянд, состоящих из 20 изоляторов типа „Gollaph“ 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 шпиля осуществляется путем укладки петли на штыревых изоляторах.

Провода, а также тросы вводятся в здание лаборатории через специальные проходные изоляторы.

Питание линии осуществляется от каскада трансформаторов мощностью 300 kVA при линейном напряжении до 578 kV.

#### Сооружение и монтаж опытной 500-kV 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 фундаментах 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 развозки 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.

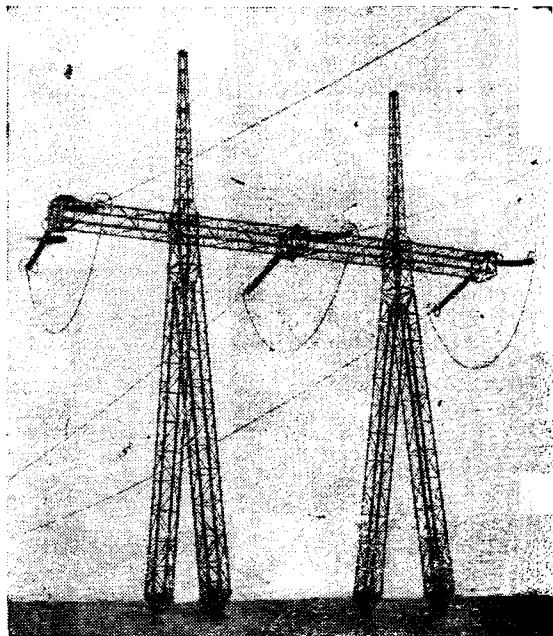


Рис. 1

Первый пролет (переход через улицу) осуществляется при помощи металлических балочек, покрытых цилиндрическими жужухами 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 ВАНИИС, 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 в месте 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 вузвы, электростанции, проектно-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:

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, проводные, элементы, аккумуляторы и т. п.).
7. Измерительная техника.
8. Осветительная техника.
9. Рентгенотехника, электрометрические приборы, электрические фильтры и т. п.
10. Связь (проводная, радиотехника).

Вопросы вакуумной техники распределяются по секциям соответственно областям ее применения.

Технико-экономические вопросы рассматриваются в каждой 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. Чернышев — председатель, проф. Л. И. Сиротинский, инж. В. Г. Прелков и

## 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 (ртутных выпрямителей) с управляющими сетками для целей электропередачи.

5. Разработать типы ионных аппаратов (ртутных выпрямителей) с широким регулированием напряжения в пределах к электротехнической и другим отраслям промышленности.

6. Разработать типы ионных аппаратов для разных целей коммутации и автоматизации, для вентиляльных двигателей, регулирования напряжений, выключения и т. д.

7. Разработать аппаратуру для контрольной работы ионных аппаратов.

8. Изыскать меры повышения мощности генераторов в одной единице. 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 газобразной, жидкой и твердой изоляции. Исследовать пути изоляции высоковольтных трансформаторов (сжатый воздух, сжатое масло, окисная изоляция и т. д.) и использо-

не выводы этой работы на других видах электрического оборудования.

Решить вопрос о дешевом кабеле на все напряжения до 400 kV для переменного и постоянного токов, провести в частности вопрос о возможности применения негнесской изоляции.

Ввиду с освоением современных выключателей на напряжение 220 kV и разрывную мощность порядка 2-3 MVA провести изучение методов гашения дуги в различных условиях, дать теоретическую и экспериментальную базу для проектирования рациональных типов выключающих аппаратов.

Возвратить систематическое наблюдение за высоковольтными установками через систему контрольных станций, необходимых приборами: катодными осциллограммами, клидонографами, магнитными регистраторами авт. процессов и пр. с тем, чтобы на основе детального технико-экономического анализа аварий и широко поставленного метеорологических наблюдений разработать эффективные меры борьбы с авариями и меры их предупреждения. Разработать принципиально и технически систему управления сложными и высоковольтными объединениями, исходя из требования максимальной автоматизации и применения телеуправления.

Произвести принципиальную и экспериментальную технико-экономическую целесообразности и технической возможности применения повышенной частоты для целей электрификации.

Завершить теоретическое изучение вопросов устойчивости систем практическим анализом условий параллельной работы действующих сложных систем на основе автоматической записи явлений колебаний, явлений автоматической синхронизации и создать устойчиво работающие сложные объединения.

Произвести полное экспериментальное исследование короткого замыкания на действительно работающих установках и дать теоретическое обоснование правильных методов расчета влияния сверхтоков на различные части электрических установок.

Создать законченную систему мер, защищающих установок от действия проводов сильного тока, дать указания защитных приборов и установить пределы допустимых сближений систем сильного и слабого токов.

На основе критического анализа работы существующих мер защиты от токов короткого замыкания и учитывая накопленный опыт этих приборов создать с помощью научно-исследовательских институтов законченную селективную систему защитных мер токов короткого замыкания.

На основе изучения явлений перенапряжений и выяснения характеристик стандартного оборудования установить оптимальную систему изоляции различных частей установок.

Установить рациональные параметры генераторов, предназначенных для работы в сложных электрических системах.

## II. В области электромашиностроения

### Коллекторные машины

Машины постоянного тока. Агрегаты Ильгнера; проектирование работ агрегатов в прокатных установках для получения их эксплуатационных характеристик и для разработки приводов, предельных мощностей; изучение коммутации в борьбе 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 фазных компенсаторов.

Коллекторные машины специальных типов. Разработка генераторов и двигателей для специальных видов гребных винтов, авиации, ветросиловых установок, винные машины.

### Синхронные машины

Усовершенствование крупных синхронных генераторов в отношении повышения предельных мощностей, улучшение использования активных и конструктивных материалов, улучшение вентиляции и улучшение изоляции.

Установление методов защиты синхронных генераторов от коротких замыканий и перенапряжений.

Произвести сравнительное изучение синхронных и асинхронных компенсаторов в отношении их характеристик и наличия в работе.

Разработать вопрос о внедрении в промышленность двигателей малой и средней мощностей.

## Асинхронные машины

1. Разработка новых типов асинхронных машин (усиленная вентиляция для повышения нормального использования активных материалов, новые типы изоляции — оксидная, ацетицеллюлозная, 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 втуловых 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, угольдобыча, горно-рудная, 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  $\cos \varphi$ , обратив особое внимание на синхронный двигатель высокой перегрузочной способности.

10. Разработать управляемые ртутные преобразователи для применения в вентильном бесколлекторном и безреостатном электродвигателями с широкой регулировкой и реверсированием (прокатные станы, под'емники, 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.



14. Установить наиболее пригодные для условий Советского Союза системы электробусного транспорта.

15. Применение автоблокировки переменного тока и новейших типов централизации для усиления пропускной способности паровых и электрических железных дорог; применение автопостов, автоконтроля, каб-сигналов и специальных сигнализаций и централизации их на пересечениях железнодорожных путей с целью обеспечения безопасности движения.

16. Разработать серии аппаратов зажигания, стартеров и намо освещения для автотракторного парка Союза.

17. Разработать вопросы установления типов электродвигателей и аппаратуры для магистральных электровозов переменного тока нормальной частоты.

18. Разработать схемы рекуперации для магистральных электровозов, пригородных и метрополитенных поездов.

19. Разработать схемы работы тепловозов на электрификации переменного трехфазного тока.

## Энергетический музей академии наук СССР им. Кржижановского

В целях содействия строительству Энергетического музея президиум ЛОВЭК постановил организовать в Ленинграде Комитет содействия из представителей правительственных, партийных и общественных организаций.

Одновременно с этим президиум ЛОВЭК выделил для работы по музею члена президиума т. Плоткина и ввел в состав президиума ЛОВЭК представителя Энергетического музея.

Массовому сектору президиума ЛОВЭК предложил:

- а) провести на предприятиях разъяснительную кампанию о целях и задачах музея;
- б) ввести в план работ энергоячеек раздел о помощи строительству Энергомوزهя;
- в) выделить на предприятиях из состава энергоячеек посты по подбору материалов для музея.

Для проектирования экспозиций при музее создан проектный сектор, в состав которого входят следующие проектные группы:

- 1) По физическим основам энергетики;
- 2) По энергоресурсам:
  - а) по топливу,
  - б) по воде и ветру.
- 3) По производству энергии.
- 4) По передаче и распределению энергии.
- 5) По потреблению энергии.
- 6) По гелиотехнике.
- 7) По новым источникам энергии.

Для руководства проектными группами привлечены крупнейшие специалисты Ленинграда.

В июле-августе текущего года проектные группы должны дать эскизный проект Энергетического музея первой очереди.

Для решения методологических вопросов и утверждения проектировок проектных групп при музее создано постоянное методическое совещание, в состав которого вошли дирекция и руководители секторов Энергетического института Академии наук, руководители проектных групп, работники музея и представители общественности.

Январский пленум Ученого совета Энергетического института Академии наук постановил приспособить большой зал Энергетического музея (длина зала 40 м, ширина 22 м, наибольшая высота 25,5 м) для устройства в нем массовых лек-

ций, докладов и демонстраций научно-технических фильмов.

В связи с этим приступлено к проработке вопросов, связанных с улучшением акустики зала, радиофикации и устройств в нем мощных оптических проекционных систем.

К разработке этих вопросов привлечены акад. А. А. Чиньшев (ЛЭФИ), проф. Андреев (ЛЭФИ), акад. Вавилов (Омский институт), проф. Циклинский и Бюро ИТС Отского завода им. ОГПУ.

В конце марта с. г. в Энергетическом музее начнется регулярное чтение докладов и лекций по вопросам энергетики.

Помимо этого в текущем году при музее будут организованы краткосрочные курсы по отдельным вопросам энергетики для рабочих и для ИТР-электриков.

В Энергетическом музее оборудован и в ближайшем будущем будет открыт для обозрения светотехнический отдел.

Этот отдел имеет следующие экспозиции:

- 1) Обязательные правила по освещению промпредприятий.
- 2) Несчастные случаи и освещение.
- 3) Освещение и видение.
- 4) Действие блескости на глаз.
- 5) Освещение, производительность и экономика труда.
- 6) Электрические источники света.
- 7) Светильники и их характеристики.
- 8) Эксплуатация освещения.
- 9) Образцы осветительных установок.
- 10) Светотехническая промышленность в первой и пятилетках.

Среди экспонатов особый интерес представляет действующая установка, показывающая применение фотоэлементов в включении аварийного освещения.

Светотехнический отдел оборудован под непосредственным руководством инж. А. А. Труханова.

В Энергетическом музее приступлено к организации дела, посвященного тепловому контролю теплосилового узла, для ознакомления широких масс с аппаратами теплового контроля и значением его в борьбе за экономии топлива.

Уже получены экспонаты от завода "Теплоприбор", где дается поступление экспонатов от завода "Пирометр" и других заводов ВОТИ. Предприняты шаги к получению экспонатов от иностранных фирм.

Инж. А. Лурм

## ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ И НЕИЗДАННЫХ РАБОТ

### О взрывобезопасной конструкции шахтных гибких кабелей

Инж. М. Озерн

Харьковский угольный

Одним из важнейших элементов подземного электрооборудования шахт является врубный кабель с его резиновой изоляцией, электрически связывающий источник электроэнергии с рабочей машиной, поскольку от него зависит безопасность шахтеров и бесперебойность работы всех механизмов. Главная опасность при эксплуатации в шахтах гибких кабе-



Рис. 1. Кабель с обмоткой спазгатом

лей заключается в возможности воспламенения газов и пыли при возникновении открытой дуги, электрического удара при прикосновении к поврежденному кабелю и возникновении пожара при обвалах породы и перегрузках ток.

Опасность эта вызывается повреждениями кабеля во время его волочения по почве, обвалами, зажатиями, порезами кабеля инструментом или острыми гранями породы, повреждениями от рабочих машин и повреждениями при падении с рывом.

Условие безопасности и производительности работ достигается как защитой кабеля от внешней среды, когда предупреждается всякая возможность повреждения кабеля, так и защитой внешней среды от кабеля, когда устраняется возможность искробразования электрических ударов при соприкосновении с поврежденной оболочкой кабеля.

Для защиты кабеля от внешней среды проще всего было бы применять бронированную конструкцию. Однако значительное уменьшение гибкости кабеля при увеличении его веса заставляет изготавливать оболочку кабеля из специальных резиновых смесей, с высоким содержанием каучука, который, например, по нормам ВДЕ должен быть не ниже 60%.

Для усиления оболочки кабелей на многих шахтах для са прибегают к дополнительной обмотке их спазгатом и



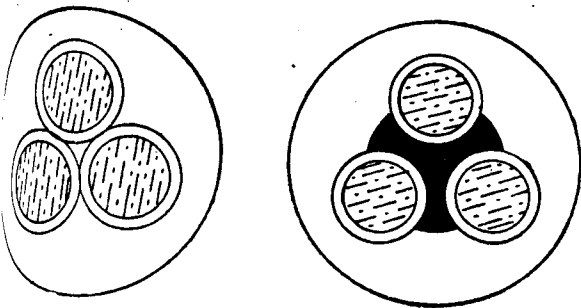


Рис. 1. Гибкий кабель системы Бивера с резиновым сердечником

а за границей кабели даже пытались заключать в специальные кожаные чехлы. Обмотка шпагатом выполняется теперь в Англии, причем такая операция производится еще вулканизации, после которой наружная обмотка, пропитанная противогнилостным составом, оказывается сваренной обмотку кабеля (рис. 1).

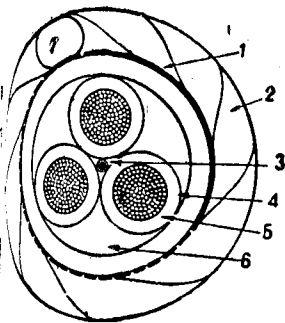


Рис. 2. Гибкий кабель системы Фишер: 1—помогательная цепь из медной ленты, 2—канат, 3—медные проводники и резиновый канат, 4—лента, 5—вулканизированная резина, 6—битумен

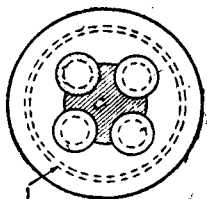


Рис. 4. Гибкий кабель системы Гловер с оплеткой „Феррфлекс“. 1—оплетка „Феррфлекс“

Наилучшей в смысле прочности гибкого кабеля оказалась конструкция Бивера (рис. 2) со специальным резиновым скрученным сердечником, на который навиваются скрученные жилы. Сердечник играет роль пружинящей подушки, а давление жил распределяется на большую площадь. Срок службы таких кабелей оказывается в 4—6 раз больше, чем при обычных конструкциях, а кроме того, уменьшает число межфазовых коротких замыканий, да и вообще повреждений.

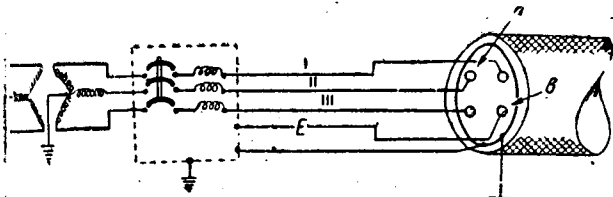


Рис. 3. Защита от электрических ударов при коротком замыкании кабеля на землю путем заземления нейтрали трансформатора

Для защиты внешней среды от кабеля применяются конструкции, среди которых одной из первых является конструкция Аткинсона с вспомогательными жилами, включенными в цепь специального реле, причем последнее отключает кабель при чрезмерном растяжении рабочей жилы. Другая подобная же конструкция по патенту Фишера приведена на рис. 3.



Рис. 6. Кабель „Мэкинтош“

Защита рабочих в забое от электрического удара осуществляется заземляющей жилой в кабеле, присоединенной к корпусу машины и общей сети шахтного заземления.

Автоматическая защита непрерывности заземления впервые была введена в Англии в виде системы Вильямс-

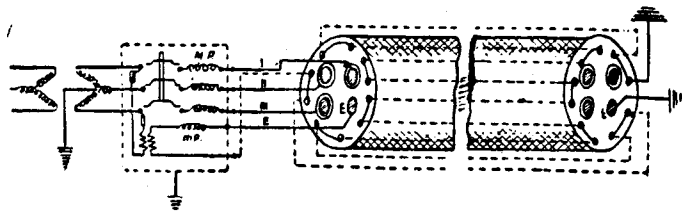


Рис. 7. Принцип Оллсопа экранирования гибкого кабеля

Роули, а позднее появились экранированные кабели с concentric 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).

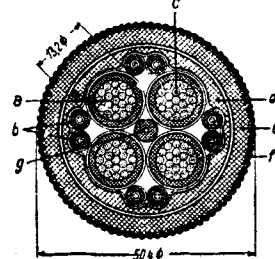


Рис. 8. Шланговый кабель системы Сименс-Шуккерт с автоматическим отключением от сети: а—рабочие жилы, б—вспомогательные жилы, с—заземляющая жила, d—общая резиновая оболочка, e—верхняя резиновая оболочка, f—пеньковая оплетка, g—холостая жила

Следует упомянуть еще о кабеле „Мэкинтош“, в котором вокруг токоведущей жилы имеется заземляющая неизоллированная жила, соприкасающаяся с заземленными оболочками (рис. 6 и 6а). Для наружной оболочки применяется специальный состав „мэконит“, самый принцип изобретен Оллсопом (рис. 7).

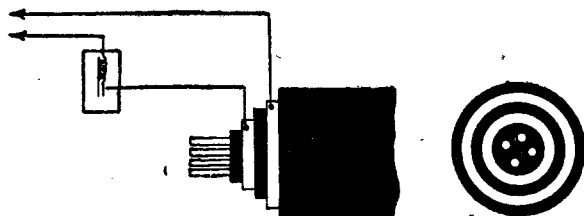


Рис. 9. Кабель системы Мейнарда

В Германии недавно построен врубовой 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 V.

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 Мейнарда (рис. 9), вполне оправдавший себя на практике в смысле защиты от электрического удара и от искрообразования, состоит из двух concentric гибких металлических изолированных оболочек, окружающих рабочие и заземляющую жилы. Наружная металлическая оболочка кабеля заземлена, а внутренняя находится под небольшим напряжением (около 6V), так как она

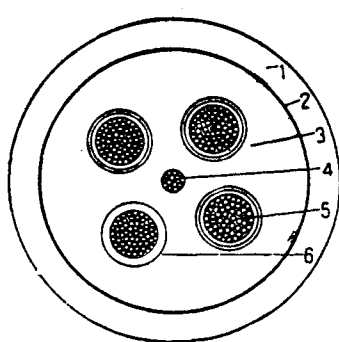


Рис. 10. Кабель с защитной оболочкой из 2 слоев изоляции с миткалевой прокладкой:

1—наружная резиновая оболочка, 2—прорезиненная лента, 3—внутренняя резиновая оболочка, 4—вспомогательная жила, 5—рабочий жила с двойной изоляцией, 6—заземляющая жила

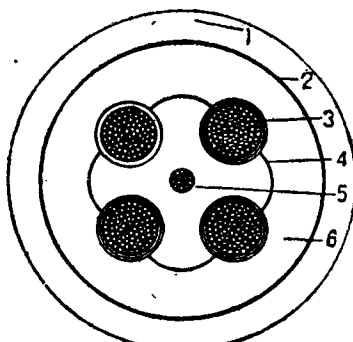


Рис. 11. Кабель с резиновым профилированным сердечником и панцирем:

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 понижительного 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.

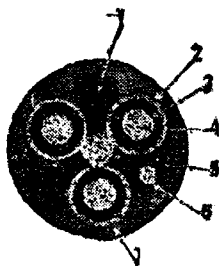


Рис. 12

Всесоюзный научно-исследовательский угольный институт разработал проект стандарта на гибкие кабели для шахт, в котором предусматриваются два основных типа кабеля. В одном типе (рис. 10) защитная оболочка состоит из двух слоев изоляции с проложенной между ними миткалевой лентой, вследствие чего увеличивается механическая прочность, гибкость и эластичность кабеля. Для второго типа (рис. 11) кабеля применен резиновый профилированный сердечник, на который навиваются скручиваемые жилы, а также панцирь 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—Нидербач (Sernt-Niderbach) в Швейцарии, VDI № 12, 1932, стр. 301.

Для снабжения электроэнергией города Н. 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. Sernt при падении 230 м и аккумулированные воды р. Niderenbach при падении 1 090 м.

Для вод р. Sernt установлены две двойные водоструйные турбины, каждая по 7 500 л. с., а для использования аккумуляторного бассейна р. Niderenbach—две водоструйные турбины по 11 450 л. с.

Напорная система р. Sernt представляет собой штольню длиной 4 000 м, диаметром в свету—2 м, проложенную на 870 м ниже поверхности горы.

Пропускная способность штольни—6 м³/сек. Изнутри штольня выложена камнем; на участках, где имелась опасность прорыва подземных вод, сделана кольцевая защита и цементная облицовка. Электросварные напорные трубы диаметром в свету от 1 600 до 1 240 мм имеют толщину стенок 10 мм.

Напорный бассейн р. Niderenbach вместимостью 3·10⁶ м³ образован главной стеной длиной 250 м и высотой 15 м из бетона. Расположен он на высоте 1 623 м над уровнем моря. Вода из него устремляется к турбинам по напорной штольне длиной 3 900 м, диаметром 1,8 м в свету, при расходе 2 м³/сек и по наружному напорному трубопроводу 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 1 до 29 мм. К этому трубопроводу присоединен временно еще из двух трубопроводов длиной 600 м из цельнотянутых стальных труб диаметром 500 мм в свету и толщиной стенок от 21 до 25 мм.

Инж. Э. Рейхман

## 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 полах. 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 4/3 сек, что, как это проверено, равно или меньше времени, требуемого для установки наклонного винта и кантовки металла.

Как видно из диаграммы (рис. 1), скорость реверсирования обычно больше скорости, требуемой для подготовки металла. Скорость прокатки при синхронном двигателе абсолютно постоянна. Скорость на рассматриваемом прокатном стане 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 два раза дешевле оборудования постоянного тока. Низкая стоимость синхронного двигателя объясняется простотой мотора и аппаратуры управления и малой площадью, требующейся для его установки. Синхронный двигатель требует приблизительно на 14 м² 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. почти

<sup>1)</sup> S. P. Bordaen, „El. World“, April 1932.

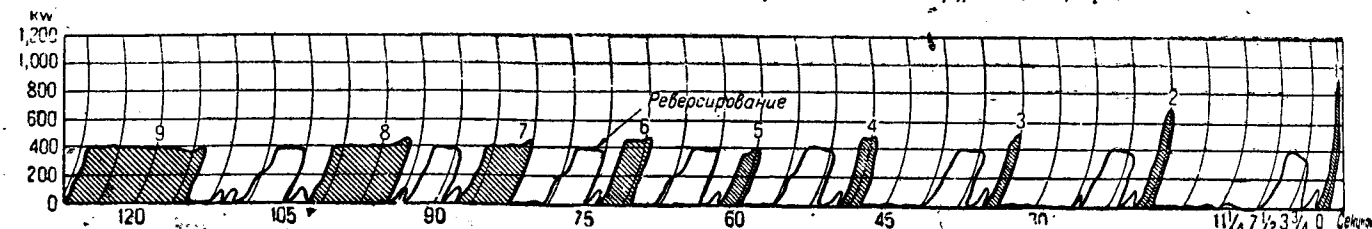


Рис. 1

1—сов. ф. синхронного двигателя—опережение; 2—к. п. д. синхронного двигателя; 3—к. п. д. индукционного двигателя; 4—к. п. д. двигателя постоянного тока (видимая часть генератора); 5—сов. ф. индукционного двигателя—отставание.

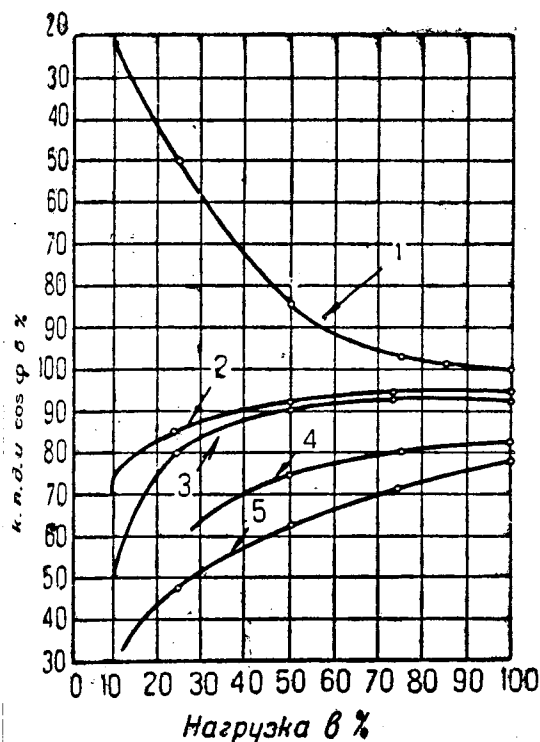


Рис. 2

При частичной нагрузке и холостом ходе стана к. п. д. двигателя заметно выше. Индукционный двигатель с фазным ротором дает несколько лучший к. п. д. при холостом ходе, чем синхронный двигатель, но при работе последний имеет меньшие потери. Коэффициент полезного действия синхронного двигателя (включая вентиляцию) составляет 95,5% при полной нагрузке, при холостом ходе стана. Сравнительно с реверсивным двигателем постоянного тока синхронный двигатель имеет значительные преимущества благодаря более высокому к. п. д. является результатом потерь на преобразование переменного тока в постоянный в мотор-генераторе. Экономия в энергии рассматриваемой установки 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 номинальной мощности, равной единице или опережающей, остальное время, во время реверсирования, при отстающем коэффициенте мощности приблизительно в 25%. При работе двигателям графиком загрузки стана время работы с опережающим коэффициентом мощности больше. Сравнительно высокие потери при отстающем коэффициенте мощности во время реверсирования компенсируются отстающим током других машин завода.

При оборудовании синхронным двигателем энергия для пиков во время прохода металла и реверсирования не подается из силовой сети, в то время как при работе с постоянным током и мотор-генераторном агрегате с машинами пик в значительной степени сглаживаются. В рассматриваемой установке этот фактор не имеет значения, так как питающая завод, достаточно велика, чтобы выдержать большие пики. Пики нагрузки, конечно, не отражаются на оплате, «максимума спроса», так как они мгновенны, а оплата спроса 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 небольшое. Управление с воздушными контакторами довольно просто, и требует только смазывания контактов во избежание загрязнения.

Синхронный двигатель должен работать и в рассматриваемой установке, работает с надежностью, совершенно одинаковой с другими моторными приводами других типов. Осмотр деталей двигателя должен показать, что возможность поломки мотора, которая вызвала бы остановку стана, мала. Как видно из рис. 3, имеются некоторые конструктивные особенности, благодаря которым улучшается теплоотвод, увеличивается стойкость против усилий при реверсировании и сводится к минимуму маховик, но в общем коренных отклонений от стандартной конструкции 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 короткозамкнутой 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.

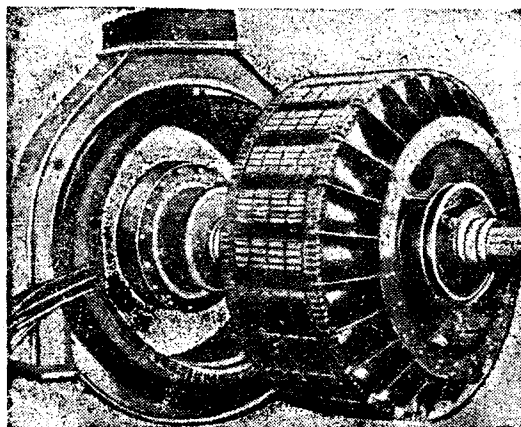


Рис. 3

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

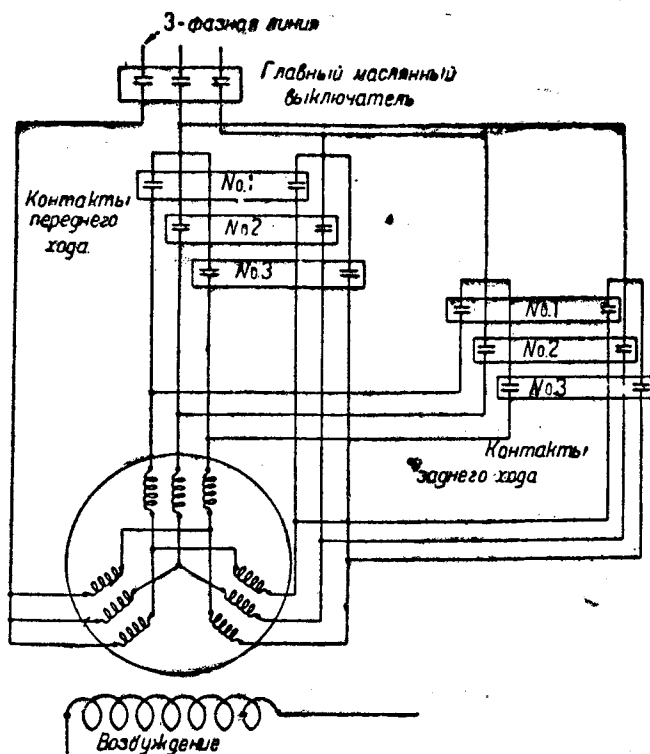


Рис. 4

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 2400 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 даст дефектной продукции. Для этих небольших реверсивных станов, к которым требуются двигатели мощностью около 1000 л. с. и менее, синхронный двигатель дает определенную экономию в первоначальных и эксплуатационных затратах. Описанная установка является также веским доказательством надежности современных синхронных двигателей и их способности развивать высокие вращающие моменты.

Образ. 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 kV с разрывной мощностью в 2,5 млн. kVA. Они являются наибольшими из всех до сих пор построенных выключателей; каждый бак имеет в диаметре 1 м, в высоту 6 м и вмещает в себя 1830 галлонов масла. Масляные выключатели запроектированы с системой съемных проходных изоляторов, 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

Е. J. Porter. переброска проводов линии передачи через каньоны при помощи пушки „El. W.“ № 12, 1932, стр. 530.

При монтаже линии передачи 11 kV Southern Sieras Power Co между Camp-Cillare (каньон Mill Creek) 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 бы 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, длин 380 мм с отверстием 16 мм, в которое вставлен болт длиной 460 мм с ушком с привязанным к нему отрезком стального троса диаметром 6,5 мм. Вес снаряда около 6,4 кг, концу троса прикреплялся манильский канат диаметром 4 мм длиной около 460 м. Канат складывался вблизи пушки в бутылочку изнутри. Дальность действия пушки была больше, это требовалось длиной наибольшего пролета. Угол возвышения пушки и количество взрывчатого вещества варьировались таким образом, что снаряд у цели падал почти вертикально. После небольшой практики попадание стрелявших было очень точное; в некоторых случаях канат попадал прямо на версус.

Инж. П. Требул

Влияние недлинных кабелей на блуждающие волны, № 11, 1932, стр. 268.

В Америке были произведены интересные исследования над опытной линией 5,6 км с целью выяснения затухающего действия, оказываемого присоединенными к ней кабелями: волны перенапряжения.

Было заснято 125 осциллограмм, которые дали обильнейшим место явлениям. Опыты проводились в разных условиях, как-то: с присоединением кабелей и без них, с защитой от грозных разрядов и без таковой и т. п. Из опытов волн две самые характерные определяются следующими данными:

Опытная волна № 1, крутой фронт, низкое напряжение  $U_{\max} = 92$ ,  $t_1' = 8$ ,  $t_2 = 50$ .

Опытная волна № 2, крутая волна, высокое напряжение  $U_{\max} = 225$ ,  $t_1 = 8$ ,  $t_2 = 15$ .

Здесь  $U_{\max}$  — наибольшее напряжение в киловольтах умноженное на 52 при цельной линии;  $t_1'$  — время в микросекундах, какое  $U_{\max}$  падает до 50% своего значения в том же месте измерения.

В результате опытов установлено, что изменение волн при прохождении 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 мкс до 12 мкс при кабеле длиной 150 м и на 24 мкс при кабеле 300 м.

Из заснятых осциллограмм видно также уменьшение  $U_{\max}$  оно снижается на 16% при кабеле длиной 150 м и на 24% при кабеле в 300 м. Разница зависит от формы вершины бегающей волны; если вершина достаточно пологая, то волна имеет достаточно времени, чтобы зарядиться почти до напряжения  $U_{\max}$  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 на образование волны от кабеля.

Уменьшение  $U_{\max}$  составляет 22% у волны № 1 и 20% у волны № 4.

Короткие кабели нельзя считать поэтому достаточно защитными средствами для снижения ударов перенапряжений, особенно если последние, как часто бывает, имеют высокую вершину.

Инж. Э. Рейдман

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1933 ГОД

на научно-технический журнал

# „Электрические станции“

4 ГОД ИЗДАНИЯ

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО

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.

Подписка принимается во всех почтовых отделениях, у подписочцев и во всех отделениях и магазинах Книгоцентра  
Розничная продажа производится во всех киосках Союзпечати

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1933 ГОД

на научно-технический журнал

# „ТЕПЛО и СИЛА“

4 ГОД ИЗДАНИЯ

орган Главэнерго

10 НОМЕРОВ В ГОД

**ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:**

Вопросы проектирования станций высокого давления и теплоэлектроцентралей. Тепловые схемы станций. Советские конструкции турбин высокого давления, высоких температур и большой мощности. Теплофикационные 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 низкосортных местных топлив. Топливоподача. Топливоприготовление. Золо- и шлакоудаление. Золо- и сероудаление. Стандартизация топочного оборудования. Водно-воздухоподогреватели. Аккумуляторы. Советские конструкции и стандартизация водоочистителей, деаэраторов, фильтров, испарителей, умягчителей 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 эксплуатационным опытом. Вопросы подготовки кадров. Аварии тепловых 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.

Подписка принимается во всех почтовых отделениях, у подписочцев, во всех 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 II-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 высоковольтной промышленности. **Журнал рассчитан** на квалифицированных электромонтеров, студентов, младший и средний техперсонал.

Подписная цена: на год 7 р. 20 к., на 6 мес. 3 р. 60 к. Отдельный номер — 72 к.

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 г. НА ЖУРНАЛ

**„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“****Год издания 54-й**

Орган союзных электро-энергетических 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 электропромышленности и электрохозяйства.

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

Подписка принимается во всех магазинах и отделениях Книгоцентра, у письмоносцев и на ПОЧТЕ. Розничная продажа производится во всех киосках Союздечати