

1932

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

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 5

МАРТ
ВЫПУСК I



МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

**ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1932 год
на журналы**

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Год издания 52-й

Двухнедельный орган электроэнергетических учреждений и организаций ВЭО, Энергоцентр ВСХ СССР и ВЭИ

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

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Генеральный план электрификации СССР. Электроэнергетика капиталистических стран. Социалистическая реконструкция и проблемы экономики электрохозяйства СССР. Теоретические проблемы электротехники. Единая высоковольтная сеть Союза. Электромашиностроение. Электрификация промышленности, сельского хозяйства, транспорта. Электротехнические кадры. Вопросы рационализации, стандартизации и нормализации электрохозяйства.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН на инженеров, техников и электриков.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на 12 мес.—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. **Льготная**—при коллективной подписке (не менее 10 экз.): на 12 мес.—15 р., на 6 мес.—7 р. 50 к., на 3 мес.—3 р. 75 к.

Каждый рабочий, техник, инженер, занятый в электрохозяйстве СССР, обязан стоять на высоте современных технических знаний

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ „СВЕТОТЕХНИКА“

Орган Всесоюзного электротехнического объединения и Всесоюзной ассоциации светотехнических лабораторий

ЗАДАЧИ: подвергать широкому обсуждению вопросы теорет. и прикладн. светотехники, способствовать развитию светотехнической промышленности, вести популяризацию знаний в области светотехники и рационализации светового хозяйства СССР.

ОТДЕЛЫ: Научно-технические статьи. Светотехническая промышленность и световое хозяйство. Нормы и стандарты. Хроника. Рефераты. Светотехника в массы. Библиография. Журнал рассчитан на инженеров, студентов, квалифицированных монтеров и мастеров.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: На год—8 р., на 6 мес.—4 р. Цена отдельного номера—1 р.

Подписка принимается во всех отделениях и магазинах Книгоцентра,
всюду на почте и письмоносцами

ЭЛЕКТРИЧСТВО

5

МАРТ
1932

Орган Всесоюзного электротехнического об'единения (ВЭО), Всесоюзного об'единения энергетического хозяйства (Энергоцентр), Секции технической реконструкции и электрификации Института техники и технической политики Коммунистической академии ЦИК СССР и Всесоюзного энергетического комитета (ВЭК)

Адрес редакции:

МОСКВА, Ильинка, Ильинский пер., д. 2, 1-й этаж. Телеф. 72-46 и 1-57-19

Содержание

	Стр.	Стр.	
Передовая—Научно-исследовательскую работу в электропромышленности на высшую ступень	257	Г. Швец—О типе трансформаторов на 380 kV	278
М. Грановская—Теоретический фронт технической политики в области электрификации	259	А. Буйлов—К исследованию высоковольтных выключателей на разрыв тока короткого замыкания	282
Г. С. Садовников и И. Ф. Романов—Перспективы электрификации ЧАССР	262	Ф. Вейтков и А. С. Грамматников—За изменение правил безопасности и устройства	298
Т. Горбунов—Уральский электромашиностроительный комбинат	267	Ф. Фридлонд—Бронированная высоковольтн. аппаратура	300
В. Карапетов—О перенапряжениях в каскаде трансформаторов	271	Библиография	304
		Из книги и журналов	304

Научно-исследовательскую работу в электропромышленности на высшую ступень!

XVII конференция ВКП(б) со всей силой подчеркнула важность создания во второй пятилетке новой шай энергетической базы, основанной на широчайшей электрификации промышленности и транспорта и постепенном внедрении электроэнергии в сельское хозяйство. Такое развертывание электрификации становится возможным благодаря громадным успехам, достигнутым нашим социалистическим хозяйством в первую пятилетку. Машиностроение и в частности электромашиностроение проделали исключительный по темпам путь развития, увеличив выпускаемую продукцию в несколько раз, а главное, организовав и наладив ряд новых производств, догнав в ряде случаев европейские и даже американские показатели.

Рост электрификации и в дальнейшем будет неразрывно связан с могучим развитием советского машиностроения, которому в завершении технической реконструкции принадлежит ведущая роль.

Однако если сопоставить стоящие перед нашей электропромышленностью задачи, в особен-

ности в связи с началом постройки во второй пятилетке первых звеньев единой высоковольтной сети и электрификации железных дорог на протяжении 30 тыс. км, то имеющиеся успехи нужно признать далеко недостаточными.

Так например производство мощных трансформаторов ограничивается на сегодня цифрами в 20 тыс. kW в одной единице против 60—100 тыс. kW, потребных к концу пятилетия. Напряжение трансформаторов, выпускаемых заводами ВЭО, не превышает 115 kV, а уже к концу 1932 г. нам нужны трансформаторы на 220 kV и к концу пятилетки—380 kV. Масляные выключатели выпускаются на 1 млн. kW разрывной мощности при напряжениях в 115 kV, а уже сегодня Могэс нуждается в маслянике на разрывную мощность в 1,5—2 млн. kW при напряжениях в 115 kV. В еще большей степени это относится к различным аппаратам защиты (разные типы) и автоматизации управления, производство которых пока еще вообще не развернуто. Весьма сильно отстает производство изоляторов и изоляционных материалов, без которых невозможен переход на 220—380 kV.

Без успешного разрешения этих технических задач в ближайшие 2–3 года мы не сможем приступить к построению единой высоковольтной сети, не сможем развернуть широчайшую электрификацию нашего хозяйства.

Каковы же должны быть пути овладения техникой в этой области?

Мы должны прежде всего поднять качество освоения заграничной технической помощи как по линии лучшего использования информационного материала, так и по линии повышения эффективности работы иностранных специалистов.

Эта заграничная техническая помощь обеспечивает нам в известной части освоение новых для нас производств. Передовой технический опыт капиталистических стран должен быть использован и критически переработан нами полностью.

Однако эта помощь ни в коем случае не может гарантировать нам получение всех тех технических показателей, которые необходимы для разрешения вопросов электрификации во второй пятилетке. Думать иначе—это значит проявлять техническую и политическую близорукость и смаэывать задачу скорейшего освобождения от иностранной зависимости.

Нужно решительно бороться с имеющейся еще в рядах некоторой части специалистов нашей электропромышленности правоопортунистической установкой на ограничение наших научно-исследовательских работ исключительно задачами использования технических достижений заграницы.

Несмотря на большую еще отсталость наших показателей в экономике и технике от ряда передовых капиталистических стран, мы ставим уже в порядок дня технической реконструкции такие вопросы, которые за границей еще и не решались.

Можно, например, указать на единую высоковольтную сеть с ее проблемами сверхвысокого напряжения и постоянного тока, на электрификацию 30 тыс. км железных дорог и другие задачи огромного масштаба, возможные лишь в условиях планового социалистического хозяйства.

САСШ обходится масляными выключателями разрывной мощностью на 2,5 млн. кВт, а нам нужно к концу пятилетки 4–5 млн. кВт. В капиталистических странах автоматизация станций и электрических систем вообще не может быть осуществлена в развернутом виде, у нас стоит задача уже в пределах второй пятилетки осуществить широкую автоматизацию и т. д.

Сказанного достаточно, чтобы понять, что уже сейчас в 1932 г. надо по-большевистски реализовать во всем комплексе научно-исследовательских вопросов решительный переход от некритического повторения образцов капиталистической техники, от формального перенесения путей и методов буржуазных исследователей и их школ в нашу практику, к нашим социалистическим единственно-научным методам исследовательской работы.

Мы обязаны во всей широте продумать вопрос перестройки научно-исследовательской работы на основе метода материалистической диалектики, который один только может гарантировать нам об'ективный и действительно научный характер наших исследований.

Взять хотя бы проблему мощных выключателей. Мы знаем, что за границей она решается в разных странах, у разных капиталистических фирм по-разному. Если фирма Вестингауз создает дейонный выключатель, то фирма ДЖИИ сейчас же выдвигает в противовес из-за конкурентных соображений выключатель с камерой масляного дутья. Если фирма Сименс в Германии создает выключатель с расширением пара, то конкурентная фирма АЕГ опять в противовес выдвигает идею выключателя со сжатым газом и т. д.

Сложнейшие явления разрыва дуги электрического тока с их глубокой физической природой изучаются под углом зрения рыночных требований, конкуренции и кармана хозяина. То же мы имеем с проблемами высоковольтного трансформатора мощного электромашиностроения и т. д. Связанный патентными ограничениями и сложными взаимоотношениями на капиталистической бирже, буржуазный ученый-исследователь, если и хочет, то не может дать решения данной проблемы в ее целом, решения, являющегося результатом действительного изучения и синтеза всех особенностей данной проблемы.

Не связанные конкуренцией, вопросами патентов и правом частной собственности, наши научно-исследовательские институты, тем не менее, в значительной мере тащут пока еще на себе груз прошлого: параллелизм, замкнутость, большую роль личных симпатий или антипатий специалистов к данной проблеме, обязательное воспроизведение „в лабораторном масштабе“ новых конструкций или патентов иностранных фирм без попыток поднять изучаемые проблемы на теоретическую высоту, подвергнуть их критическому анализу и исследованию на основе марксистско-ленинской материалистической диалектики.

Стоит посмотреть, как у нас организована научно-исследовательская работа, чтобы убедиться в правильности сказанного.

Научно-исследовательской работой в электропромышленности у нас занимается ряд институтов и лабораторий: ВЭИ, НИИЭЭ, ЛЭФИ, ЛЭМИ, лаборатории при заводах и т. п. Все эти институты и лаборатории находятся в разных об'единениях (ВЭО, Энергогенератор НКТП и т. п.). Единственным связующим звеном между ними является НИС НКТП, который раз в год собирает и увязывает планы этих институтов. Никакого оперативного руководства и согласования в повседневной работе нет. Наоборот, наблюдаются элементы параллелизма (например, над постоянным током высокого напряжения работают все институты и все начинают сначала), финансирование производится из разных мест, тематика полчина на зачастую ведомственным интересам. Особенно этот разнобой становится нетерпимым теперь, когда мы переходим к плановой подготовке электрооборудования для единой высоковольтной сети. Необходимо оперативное планиро-

вание этих работ из одного центра, увязка с заводскими лабораториями и крупными лабораториями электросетями (Могэс, Электроток и т. д.). Необходимо поднять на огромную высоту работу заводских лабораторий.

А между тем в разрезе единой высоковольтной сети перед нашими научно-исследовательскими организациями стоят задачи исключительного масштаба и сложности. Научно-исследовательская и теоретическая работа должна опережать практику социалистического строительства, давая ей „силу ориентировки, ясность перспективы, уверенность в работе, веру в победу нашего дела“ (Сталин).

Прежде всего должен быть дан социальный заказ нашим институтам разрешить в пределах второго пятилетия проблемы передачи энергии на дальние расстояния постоянным током. Об огромном технико-экономическом значении этой проблемы уже много говорилось и много писалось. Пора поставить как неотложную задачу проектирование и конструирование источников постоянного тока высокого напряжения и большой мощности в наших лабораториях. Сюда, на этот фронт техники, должны быть брошены лучшие научные силы и средства (постройка мощной лаборатории постоянного тока, финансирование и пр.).

Наряду с этой задачей с такой же четкостью должна быть поставлена перед нашими лабораториями задача создания высоковольтной аппаратуры, в том числе и трансформаторов, на 380 кВ, которые нам понадобятся уже через год-два, в первую очередь, в связи с проблемой Урало-Кузбасса и Енисея. Здесь с особой остротой встает вопрос о создании нового типа мощного выключателя на 4—5 млн. кВА, какого еще не существует во всем мире.

Далее идут задачи по созданию реле разного рода, приборов для автомати-

зации и регулирования напряжения, измерительной аппаратуры, статических и вращающихся конденсаторов в реактивной мощности, токоограничивающей аппаратуры, изоляторов, линейных и станционных на 380 кВ и т. п.

Все эти вопросы мы не можем ни отложить, ни обойти, мы их обязаны поставить уже сегодня. Мы должны обеспечить условия их разрешения в кратчайший срок и с наименьшими затратами, мы должны использовать все преимущества единого планового хозяйства, должны добиться полного осуществления в наших институтах шести исторических указаний т. Сталина, в особенности проведения ход расчета, ликвидации обезлички и мелкобуржуазной уравниловки (в ВЭИ, например, до сих пор есть случаи, когда техник получает меньше монтера, а научный работник с большим стажем—меньше стеклодува), а также быстрой реализации достижений институтов и лабораторий в промышленности.

Не малая задача выпадает на долю Института техники и технической политики Комакадемии, призванного осуществлять методологическое руководство над отраслевыми институтами. Институт техники должен помочь отраслевым институтам овладеть диалектическим методом в работе, организовав помимо повседневного руководства также и ряд докладов на эту тему.

Задача подъема научно-исследовательской работы в промышленности на высшую ступень, задача по-новому работать и по-новому руководить в научной области выдвигается с железной необходимостью в порядок дня великим планом работ второй пятилетки. Нет сомнений, что наши институты и лаборатории под руководством партии эту перестройку выполнят и поставленные исторические задачи разрешат.

Теоретический фронт технической политики в области электрификации

М. Грановская

Институт техники и технической политики

Лозунг т. Сталина—„Техника в период реконструкции решает все“ подчеркивает ту мысль, что на данном этапе классовая борьба на фронте техники приобретает решающее значение. XVII конференция ВКП(б) четко определила задачи технической реконструкции во 2-й пятилетке, а также роль советского машиностроения и электрификации в разрешении этих задач. Ведущая роль советского машиностроения в завершении технической реконструкции тесным образом связана с созданием новейшей энергетической базы, основанной на широчайшей электрификации промышленности и транспорта и постепенном внедрении электроэнергии в сельское хозяйство. При этом создание новейшей энергетической базы является „важнейшим элементом технической реконструкции народного хозяйства“ (см. резолюцию XVII конференции ВКП(б)). Между тем теоретическая борьба за чистоту генеральной линии партии на участке энергетики и электрификации стоит на весьма низком уровне и далеко отстала от широких хозяйственных практических задач, которые стоят перед нами.

Показателем этой отсталости является прежде всего то, что богатейшее ленинское наследство в области общей теории электрификации еще совершенно не разработано и не дан должный отпор многочисленным извращениям и ревизиям ленинской концепции электрификации.

Наша экспериментальная научно-исследовательская работа развивается в стороне от практики строительства. Крупнейший Всесоюзный электрический экспериментальный институт (ВЭИ) не участвует активно в строительстве мощных электротехнических комбинатов, которые конструируются на основе иногда не критически воспринятой иностранной техники. Тот же ВЭИ, Теплотехнический институт и др. плетутся в хвосте уже проводящихся на практике работ по электрификации транспорта, сельского хозяйства, быта и по теплофикации. Специальная литература—БСЭ, „Техническая энциклопедия“ и специальные журналы засорены буржуазными установками и трактуют вопросы электрификации в стиле надклассовой науки.

То же самое можно сказать об учебниках, учебных программах и планах наших электрических вузов.

Задачи пропаганды электрификации, которым Ленин придавал огромное значение, выполняются пока все еще в весьма слабой степени. Марксистской популярной книжки по электрификации мы, как правило, не имеем. Вместо этого мы часто встречаем вредную, подкрашенную под советский стиль халтуру¹.

¹ См., например, популярную книжку проф. Александрова, „Сткуда добывается электричество“, ГНТИ, 1930 г., где автор пишет: „При социалистическом строев, который уже введен в СССР и скоро будет введен в

В своих замечаниях к тезисам по аграрному вопросу французской компартии т. Ленин указывал на необходимость интернациональной пропаганды электрификации. Однако в этом отношении у нас также ничего не сделано.

Ленин о борьбе за электрификацию

Часто понятие электрификации весьма неправильно трактуется лишь как строительство электрических станций. Между тем Ленин много раз подчеркивал, что под электрификацией надо понимать создание нового типа крупной машинной промышленности, способной "реорганизовать и земледелие". Электрифицировать страну значит "перевести хозяйство страны, в том числе и земледелие, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства". Основной идеей ленинской теории электрификации, неоднократно подчеркнутой в решениях съезда, конференций ЦК нашей партии, является идея о том, что электрификация есть техническая база социалистического общества и что стало быть, борьба за электрификацию есть классовая борьба.

В капиталистических условиях электрификация усиливает гнет над рабочими и крестьянами. Планомерно проведенная электрификация дала бы огромный подъем производительных сил и благосостояния трудящихся, особенно крестьянства. Однако планомерная электрификация безусловно не может быть проведена в пользу рабочих и крестьян "без свержения власти буржуазии, без завоевания власти пролетариатом".¹

После свержения власти буржуазии Ленин считал невозможным окончательное закрепление победы пролетариата без широкого проведения электрификации. "Если не электрификация—все равно неизбежен возврат к капитализму".²

Правые оппортунисты выхолащивают политическое существо электрификации, отрывают техническую революцию от социалистической. Наравне с узким техницизмом специалистов-обывателей оппортунисты считают, что в технике, в электрификации нет ничего партийного. Бухарин в своей теории исторического материализма считал, что техническая революция будет четвертой и последней фазой революции, причем она настанет после того, как создастся "новая устойчивая оболочка производственных отношений".³ что социалистические отношения сложатся помимо и без реконструкции технической основы социалистического хозяйства.

Вопрос о социалистической реконструкции тесно связан с проблемой подготовки пролетарских технических кадров. В своем докладе XVI Партсъезду, т. Каганович, останавливалась на проблеме технических кадров, отмечал, что "вся партия видела ярко выраженную классовую сущность проблемы кадров, а правые не поняли этой проблемы". Тов. Рыков на апрельском пленуме 1928 г. говорил, что вопрос о технических кадрах "может решить и так и этак, не затрагивая классов".

Борьба с вредительством и кулачеством достаточно ярко доказала всю несостоятельность установок правых и всю остроту классовой борьбы вокруг задач технической реконструкции страны. Эта борьба, как было еще указано XI Партсъезду в 1922 г., будет неизбежно существовать дотех пор, пока "не закончена хотя бы в основе электрификация промышленности и земледелия, пока не подрезаны этим все корни мелкого хозяйства и господства рынка".⁴

Как при жизни, так и после смерти Ленина партия последовательно и неуклонно проводила линию на всемерную социалистическую электрификацию, видя в ней одну из своих классовых командных высот в борьбе как с контрреволюцион-

других странах, наука и техника станут доступными широким массам рабочих и крестьян..." (стр. 6-7), теперь электричество в условиях коммунистического строя стало достоянием не избранных, а всего человечества" (стр. 140). "...однажды Вл. Ильин обмолвился весьма остроумной формулой, которую отдал наше разрешение: "Коммунизм равен советской власти плюс электрификация..." (стр. 141).

¹ Т. Ленин. Доклад VIII Съезду советов.

² Т. Ленин. Заметки о тезисах по аграрному вопросу французской компартии.

³ Т. Ленин. Сборник, стр. 874.

⁴ Т. Харин. Теория диалектического материализма.

⁵ Стенографический отчет XI Съезда партии, стр. 487.

ным вредительством, так и агентурой буржуазии в партии—правым и "левым" уклонами и примиренчеством к ним. Остановимся более подробно на некоторых моментах этой борьбы.

Борьба с вредительством

Как известно, руководящую роль во вредительской организации играли энергетики—Рамзин, Ларичев и др., и это не случайно и не только в силу их персональных качеств. Вредительство в энергетике является узловым фактором, поскольку, поражая энергетику, вредители поражали и тормозили все социалистическое хозяйство.

По линии энергетики мы имеем две характерные фигуры буржуазных идеологов—Гриневецкого и Рамзина, причем второй воспринял, развил и активно проводил идеи первого; верховная политическая цель восстановления буржуазного строя диктовала им борьбу против тех форм техники, которые подрывали изолированность частного хозяйства. Поэтому Гриневецкий, которого т. Кржижановский аттестовал апологетом крупной капиталистической промышленности¹, обсуждая "последованные перспективы русской промышленности"² при условии возвращения "злородной" буржуазной власти, не принимал лозунга широкой электрификации страны. Рамзин же и в Гоэлро и на VIII Съезде электротехников также боролся против решающей роли электрификации, мотивируя это тем, что "широкая механизация производственных процессов не имеет под собой твердой экономической базы, ибо механическое оборудование будет обходиться так дорого, что во многих случаях не будет оправдываться сокращением дешевого мускульного труда".³ Поэтому он отрицал механизацию рубки и пилки дров, получение древесного угля в печах, а не кустарным способом, брикетирование малоценных топлив, химическую перегонку сланцев, удешевление торфа при механической добыче его, газификацию, электрификацию железнодорожного транспорта, построение крупных районных станций (формам мелких электростанций, несомненно, принадлежит большое будущее... мелкая электрификация приобретает, может быть, даже доминирующее значение").⁴

Рамзин отрицал также сколько-нибудь значительную роль в будущем русском топливном балансе местных топлив—торфа и бурого угля, за исключением, правда, дров, утверждая, что "дрова являются не суррогатом топлива, а одним из наиболее выгодных видов топлива для России, которому принадлежит наибольшая роль в промышленной жизни".⁵

Рамзин, как видим, развивал реакционнейшую техническую концепцию.

Видя причины промышленной слабости России в продолжающемся топливном дефиците и доказывая, что "электрификация не есть средство непосредственного воздействия на топливный баланс", Рамзин предлагал выход к преодолению топливных затруднений в ряде организационных и научных мер в области теплотехники, в направлении, главным образом, рационализации использования топлива на единицу продукции. Таким образом Рамзин противопоставлял теплотехнику электрификации.

Рамзин, уже будучи признанным "вождем" промпартии, в 1930 г. на топливной конференции в Госплане развивал в области топливной политики весьма близкую к вышеприведенной аргументации. Исходя из той же основной экономической предпосылки — "экономии" в капитальных вложениях — он делал выводы против роста применения местного топлива, против облагораживания и химической переработки местных топлив, против газификации и т. д. Преемственность совершенно ясна. Только в отношении теплофикации Рамзин в 1930 г. изменил свою тактику, "забывая" или высмеивая ее, опасаясь, что последняя действительно окажется весьма важным для укрепления социалистического хозяйства хозяйственным мероприятием.

В последний период своего существования вредительство, как известно, перекинулось на планирование, поскольку здесь

¹ На VIII Съезде электротехников 1921 г.

² См. его книгу под аналогичным названием, изд., 1923 г.

³ См. выступления на VIII Всероссийском электротехническом съезде в октябре 1921 г., стр. 38.

⁴ См. выступления на VIII Всероссийском электротехническом съезде в октябре 1921 г., стр. 38.

⁵ Там же, 39.

его работы могла бы быть наиболее разрушительной. Основными руководящими идеями вредительства было бы торможение темпов, омертвление капиталов, слишком дорогие сооружения, непропорциональность и некомплектность оборудования, торможение мер по усилению обороноспособности страны, торможение технического процесса. Основной же целью вредителей была реставрация капитализма. Вся их чистая наука, вся их практическая, техническая деятельность в государственных учреждениях, заводах и станциях, вузах и научно-исследовательских институтах была пропитана классовой борьбой с пролетариатом, классовой ненавистью.

Правый и „левый“ оппортунизм часто пользовался аргументами вредителей, как и обратно, — вредители прикрывались политической платформой оппортунистов. Объективно политика правых и „левых“ вела к усилению капиталистических элементов и тем самым лила воду на мельницу вредителей. Этот участок истории борьбы на фронте техники и электрификации еще никем не разработан, поэтому мы можем здесь сделать лишь первые наметки и осветить лишь отрывочные участки этой борьбы.

Борьба с уклонами в области электрификации

Позиция правых и „левых“ уклонистов, как и примиренческого болота в вопросах электрификации, отражала общеполитические и экономические взгляды той или иной партийной оппозиции.

В отношении техники для правых характерны: 1) отрыв в технической революции от социальной, 2) узкий техницизм и некритическое использование достижений иностранной техники, 3) противопоставление рационализации и реконструкции, отражающее общую постановку вопроса о замедлении темпов.

Для „левых“ характерно нежелание использовать годные для нас технические достижения капиталистических стран, стремление некритически перепрыгнуть через необходимые стадии в технической реконструкции.

Общим для всей партийной оппозиции в ее борьбе против генеральной линии партии был упор на недостаточность развития технического уровня СССР, и отсюда — невозможность коллективизации крестьянства и построения социализма в одном СССР. В то время как партия, признавая несомненный факт технико-экономической отсталости СССР, устанавливала пути изжития этой отсталости социалистическими моментами: ускорением темпа социалистической индустриализации, коллективизацией крестьянского хозяйства и пр., правые и „левые“ искали выход по капиталистической дорожке на пути усиления капиталистического влияния извне: расширение импорта и уступок кулаку (правые) или обострения отношения с основной массой крестьянства („левые“).

Рассмотрим, как общая позиция оппортунистов отражалась на подходе к электрификации по следующим вопросам: 1) отношение к плану Гоэлро и к электрификации как основному направлению в технической политике партии, 2) электрификация сельского хозяйства и быта и 3) теплофикация.

Отношение правых и „левых“ в плану Гоэлро прекрасно характеризовал т. Сталин в своем письме к Ленину в марте 1921 г. „Помните, — пишет он, — прошлогодний „план“ Троцкого (его тезисы хозяйственного возрождения России на основе массового применения к обломкам довоенной промышленности труда неквалифицированной крестьянско-рабочей массы (трудармии)... „Или еще: „обывательский реализм“ (на самом деле маниловщина) Рыкова, все еще „критикующего Гоэлро и по уши погрязшего в рутине“.

Как видим, принципы правых и „левых“ недалеко ушли от рамзиновских: та же ставка на неквалифицированный труд, против механизации и электрификации, та же неприязнь к глубоким техническим преобразованиям. С маниловщиной, рутиной по отношению к плану Гоэлро пришлось бороться прежде всего Ленину, как творцу этого плана. „Непонимание дела получается чудовищное, — писал он в статье об едином хозяйственном плане, — слышатся речи: сначала восстановим хоть частью старое, прежде чем строить новое: электрификация похожа на электрификацию, почему не газификация...“

Насмешки над фантастичностью плана, вопросы насчет газификации обнаруживают самомнение невежества“.

С вопросом о роли Гоэлро тесно связан также общий вопрос об электрификации, как об основном направлении в технической политике в СССР. В этом отношении определенную правую позицию занимал т. Бессонов, который вкупе с т. Шатуновским на докладе в Комакадемии в марте 1929 г. выступал против электрификации как ведущего направления в деле качественного перевооружения крупной промышленности и всего социалистического хозяйства, аргументируя цитатами из Маркса, относящимися к моменту перехода ремесленного и мануфактурного периода к машинному¹.

Представителями „левого“ направления в этом вопросе являются наши „ультратеплофикаторы“, ревизионисты Ленина по-иному. Они обзывают лозунг электрификации устаревшим и выдвигают „наиболее совершенный этап на пути разрешения энергетических проблем“ — этап энерготехники и строительства. Под этим понимается построение массы мелких теплоэлектроцентралей, главным образом, на природном топливе вблизи потребителей электрической и тепловой энергии, причем отрицается необходимость мощных высоковольтных линий передач². Товарищи, выдвигающие эти установки, сами не замечают того, что они весьма близко подходят к позициям Рамзина, еще 12 лет назад выставлявшего примат теплотехники.

Вопрос об электрификации как об основном направлении нашей технической политики является не академическим, но весьма актуальным современным вопросом. Он имеет огромное практическое и методологическое значение в ряде принципиальных и конкретных вопросов о размещении промышленности и сельского хозяйства, в построении отдельных промышленных комбинатов и пр.

Как известно, тот же т. Бессонов³ занимал определенную правую позицию в вопросах технической реконструкции транспорта и выставлял на первый план задачи рационализации существующего железнодорожного хозяйства. Даже после решения июньского пленума об электрификации и транспорта, как о ведущем направлении в реконструкции железной дороги т. Ляуре⁴ и др. выступали против электрификации как нецелесообразного метода реконструкции, о невозможности проведения решения ЦК и пр.

В области теории и практики электрификации сельского хозяйства особенно долго руководящую роль играли правые — Слободкин, Есин и др. Их толкование увязки кооперативного плана Ленина с планом электрификации сводилось к тем же формам, в каких осуществляется электрификация сельского хозяйства за границей, т. е. к потреблению электричества индивидуальными крупными крестьянскими хозяйствами или к обединению этих хозяйств в товарищество лишь для совместного использования электрических машин.

„Левые“ же противопоставляли ленинский план кооперации — плану электрификации, считая их несовместимыми.

XV Съезд партии в резолюции о работе в деревне принял по этому поводу специальное постановление: „Грубейшей ошибкой оппозиции являются ее попытки противопоставления плана электрификации кооперативному плану Ленина. Эти попытки изобличают полное непонимание оппозицией этого несомненного факта, что план электрификации и кооперативный план являются неразрывными частями общего плана Ленина о строительстве социализма в нашей стране“.

Дальнейшие проявления „левизны“ идут по линии противопоставления тракторизации и электрификации. В этом смысле и был задан т. Сталину вопрос на XVI Партсъезде относительно необходимости немедленно приступить к ликвидации трактора, поскольку мы будто бы уже вполне подошли к реконструкции сельского хозяйства на основе электрификации. Тов. Сталин в своем заключительном слове по отчету ЦК правильно назвал изложенное в записке чепухой и фантастикой. „Если бы мы действительно в плотную подошли к электрификации сельского хозяйства, — сказал он, — то мы имели

¹ См. изложение дискуссии в журн. „Проблемы экономики“, № 3, 1929.

² См. вышедшую в 1931 г. книгу инж. Якуба „Теплофикация и теплоцентрали“ и рецензию Грановской в № 1 журнала „Электрификация сельского хозяйства“, 1932.

³ Бессонов, см. его статью в журн. „Проблемы экономики“, № 3, 1930.

⁴ Ляуре, см. газету „Гудок“, а также статьи ряда товарищей в „Правде“. в конце октября 1931 г. о теоретических задачах на транспорте.

бы уже теперь районов 10—15 с электрифицированным сельскохозяйственным производством. Но вы знаете хорошо, что ничего подобного у нас пока нет.

Что касается электрификации быта, то этот вопрос у нас вообще еще очень слабо проработан. Однако работа июньского пленума ЦК 1931 г. показала наличие двух уклонов и в этом пункте общей проблемы о социалистической реконструкции городского хозяйства и быта. Правооппортунистические установки идут против роста коллективных форм быта и отсюда против установки на преимущественную электрификацию обобществленных форм его¹. Июньский пленум отметил также необходимость борьбы и с „левыми“ загибами, проявляющимися в требовании принудительной ликвидации индивидуальных кухонь и в искусственном насаждении бытовых коммун.

Тов. Каганович в своем докладе на том же июньском пленуме ЦК указал на два имеющихся уклона в вопросах теплофикации: правых, борющихся вместе с Рамзином против теплофикации, и „левых“, не учитывающих реальных возможностей, противопоставляющих электрификацию — теплофикации в духе вышеизложенной реакционной концепции инж. Якуба, желающих подчинить, по выражению т. Кагановича, „всю энергетику интересам отопления“.

Теплофикация как фактор реконструкции энергетического хозяйства, подымающая к. п. д. станции с 20 до 60—70% и выше, приносящая огромную экономию в оборудовании и вообще в капитальных вложениях на строительство, имеет огромное народнохозяйственное значение, и с этой точки зрения правый уклон и здесь, как и вобще на данном этапе, является наиболее опасным.

Беспощадная борьба с правым оппортунизмом как с главной опасностью и „левым“ оппортунизмом и примиренчеством к ним — обязательное условие успешного выполнения боль-

шевистскими темпами задач технической реконструкции страны на базе электрификации.

Основные задачи теоретического фронта

Для развития теоретической работы в области электрификации и поднятия ее до такого уровня, чтобы она давала правильную ориентировку в практике — необходимо прежде всего собрать марксистские теоретические кадры и выработать общий план работы. Эти кадры пока еще весьма слабы как численно, так и по своей марксистско-ленинской подготовке и, кроме того, распылены. Правда, 1931 г. в этом отношении является переломным. Создана довольно большая группа энергетиков в Экономическом институте красной профессуры, техники и технической политики с секцией электрификации, выросло число коммунистов среди научных работников отраслевых научно-исследовательских институтов.

Центром методологической и теоретической работы в области техники должен стать созданный постановлением ЦК ВКП(б) от 15 марта 1931 г. Институт техники и технической политики. В 1931 г. секция техреконструкции и электрификации института дала некоторое количество своих теоретических работ, собрала вокруг себя около 100 чел. партийного инженерного актива, начала работу по методологическому руководству и контролю над работой печати („Электричество“ и „Электрические станции“) и научно-исследовательских институтов (ВЭИ, НИИЭЭ), провела общественное обсуждение ряда актуальных проблем в области электрификации, организовала курсы для подготовки лекторов, организовала преподавание конкретной экономики в ряде вузов и пр.

Однако секция ввиду недостаточности ее постоянных кадров далеко еще не является действительным методологическим центром всей теоретической работы в своей области. Для выполнения этой задачи необходима более крепкая консолидация всех имеющихся кадров, численный рост большая работа по повышению их методологического уровня.

МАТЕРИАЛЫ К ГЕНПЛАНУ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Перспективы электрификации Чувашской АССР во второй пятилетке*

Г. С. Садовников, И. Ф. Романов
ЧАССР

„Быстрый рост социалистического хозяйства в период второй пятилетки в национальных республиках и областях обуславливает изживание экономической и культурной отсталости национальностей, унаследованной от царского колониально-капиталистического режима.“

(Из резолюции XVII конференции ВКП(б).)

В первой пятилетке Чувашская АССР достигла крупных успехов. Осуществляется социалистическая реконструкция сельского хозяйства на основе развития крупного совхозного строительства и колективизации. К концу 1931 г. колективизация сельского хозяйства охватила около 45%, и в 1932/33 г. намечается в основном охватить коллективными формами все сельское население республики.

Одновременно развивается промышленность, перерабатывающая сельскохозяйственное сырье. Республика имеет вновь построенные промышленные предприятия крупных масштабов: Козловский дер. вообрабатывающий комбинат (строительных деталей и стандартных домов), Шоркининский силикатный завод, Шумерлинский деревообрабатывающий комбинат (там же завод „Дубитель“), Бурнарская фосфоритовая мельница, которые технически высоко вооружены. На очередь поставлено сооружение ряда крупных предприятий: химических, перерабатывающих фосфоритовую руду и сланец, вискозной фабрики, Алатырского деревообрабатывающего комбината, Чебоксарского завода каторостроения, Шумерлинской бумажной фабрики и ряда мелких и крупных производств строительных материалов.

Но одновременно с этим необходимо отметить, что колоссальные сырьевые ресурсы республики и возможности для развития всех производительных сил ее пока остаются далеко не использованными. Разрешение проблем энергетики и электрификации республики является важнейшим элементом в

осуществлении строительства поставленных на очередь промышленных предприятий и дальнейшего форсированного развития социалистического хозяйства в целом.

Энерговооруженность населения Чувашской АССР быстро растет, но все же на данной стадии развития энергохозяйства республики — она далеко еще отстает от среднего коэффициента энерговооруженности населения по Союзу. В первый год текущей пятилетки Чувашская республика имела 25 промышленных и коммунальных силовых установок общей мощностью в 1 255 kW. В последний год пятилетки республика должна иметь 30 силовых установок общей мощностью в 9 362 kW. За 4 года текущей пятилетки будет достигнуто увеличение мощности примерно в 7,5 раза. Выработка электроэнергии должна дать увеличение с 3,0 до 37,5 млн. kWh, т. е. в 12,5 раза. Рост общей мощности силовых установок характеризуется укрупнением отдельных силовых ячеек и большим коэффициентом использования мощности. В первые годы пятилетки средняя мощность составляла около 50 kW, в конце пятилетки составит около 312 kW, и соответственно продолжительность использования установленной мощности станции около 2 400 и 4 100 час.

Местные энергетические ресурсы Чувашской АССР заключаются в древесном топливе — дровах, отходах лесного хозяйства и лесной промышленности, торфе, горючем сланце и водных силах. В разрезе второго пятилетия запасы энергоресурсов в переходе на механическую мощность могут дать: ежегодные запасы дров и отходов в количестве около 300 тыс. t, — 35 тыс. kW; общие запасы воздушносухого торфа в количестве 5 млн t — 32 тыс. kW (амортизационный срок 25 лет); запасы горючего сланца, пока выведенные на основании геод

¹ См. аналогичные идеи в ст. Леви в сборнике „Проблемы генплана электрификации СССР“ под ред. Ломова, Соцэгиз, 1931.

* В порядке постановки

Р. д.

гического строения месторождения и частичных поисково-разведочных работ, в количестве 1,2 млрд. т, если считать в том числе промышленный запас его только в размере 50%— 860 тыс. kW, р. Волга—350—400 тыс. kW и р. Сура 70—100 тыс. kW.

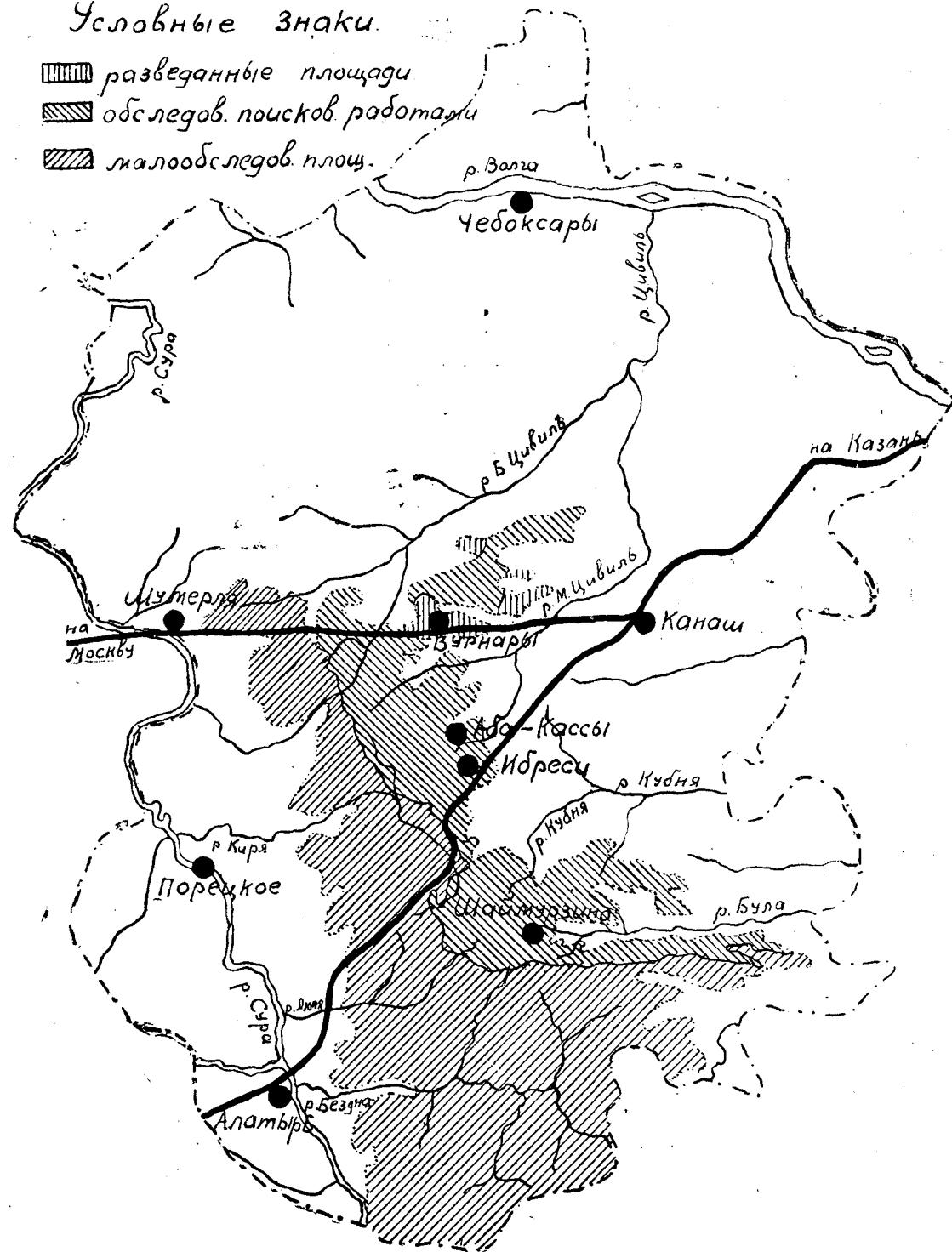
электроэнергии для производственных и бытовых целей на тех участках территории республики, куда не может быть подана эта энергия от централей: на разбросанных территориально деревообрабатывающих заводах, на предприятиях по

Схематическая карта Чувашской АССР

Росфорито-сланцевые месторождения
по данным геолога Илларионова //1930://

Условные знаки.

- разведанные площади
- обследов. поисков. работы
- малообследов. плош.



Отсюда видно, что древесное топливо и торф в Чувашской республике не могут явиться энергобазой для крупных мощностей. В ближайшем будущем эти ресурсы являются только источниками тепловой энергии с одновременным получением

переработке сельскохозяйственного сырья, в сельском хозяйстве и городском быту. Мощными являются ресурсы сланцев и водных сил, на которых и будет базироваться энергоснабжение Чувашской АССР во втором пятилетии.

Горючий сланец Чувашской АССР

На территории Чувашской АССР горючий сланец залегает под фосфоритами. Месторождение является продолжением в северо-западном направлении средневолжских месторождений, составляя мощную часть кашпирских и ундорских сланцев. Горючий сланец Чувашской АССР мало изучен. Нужно отметить, что наша научно-техническая мысль весьма медленно разрешает проблему использования горючего сланца, хотя запасы его по Союзу исчисляются десятками миллиардов тонн.

В Союзе впервые приступлено к добыче сланцев в Средневолжском крае и в Ленинградской области, где этот вопрос заострился в силу дефицитности других видов местного топлива и растущей потребности народного хозяйства в энергии. На тех же основаниях вопрос об использовании сланца как топлива встал и встал в Нижегородском крае и Чувашской АССР.

По данным геолога И. К. Илларионова полоса чувашского месторождения начинается на участке между ст. ст. Вурнары и Шумерля, Московско-Казанской ж. д. В этой части ширина полосы составляет 30–35 км и тянется в юго-восточном направлении к Ульяновской губ. Полоса эта на территории Чувашской АССР тянется, постепенно расширяясь в указанном направлении, на расстоянии 80–90 км, имея в ширину (ближе к границе) 40–45 км. Схематически распространение месторождения представляется в следующем виде (см. карту 1).

По экономическим и географическим условиям района залегания сланца чувашское месторождение имеет все предпосылки для быстрейшего освоения его. Район месторождения уже в этом пятилетии выступает как промышленный участок. Шумерлинский деревообрабатывающий комбинат, завод „Дубитель“, намеченный к постройке Шумерлинская бумажная фабрика, Вурнарский фосфоритовый завод и т. д., которые имеют силовые установки значительной мощности. Второе пятилетие для этого района является отрезком времени для завершения уже начатого строительства крупной индустрии на лесе и ископаемых, потребляющих большого количества топлива и механической силы. Кроме того, месторождение опирается на железнодорожные магистрали (старую и новую) Московско-Казанской дороги, которая является крупным потребителем топлива, и, во-вторых, транспортным средством.

Запасы горючего сланца и фосфоритов на основании геолого-разведочных работ, проведенных по 1930 г., геолог И. К. Илларионов исчисляет по категориям в следующих размерах:

Таблица 1

Группы	Горючий сланец		Фосфорит	
	Всего км ²	Запас млн. т	Всего км ²	Запас млн. т
1. Площади и запасы, выявленные на основании разведочных работ	47,3	18,00	48,3	34,00
2. Площади и запасы, выявленные на основании поисковых и поисково-разведочных работ	435,0	296,6	435,0	223,75
3. Площади и запасы, выявленные на основании геологического строения и смежнопоисково-разведочных работ	1 234,0	925,0	1 975,0	987,0
	1 716,3	1 239,6	2 458,3	1 244,75

По 1930 г. разведочными работами была охвачена лишь северная оконечность месторождения—Вурнарский район и поисковыми работами—северо-восточная часть месторождения.

В 1931 г. разведочными работами была охвачена юго-восточная часть месторождения в двух районах на расстоянии: 1) Ибреси-Буйинский в 40–50 км к югу-востоку от Вурнар

и 2) Норваш-Шигалинский тоже в 40–50 км к востоку от Ибреси-Буйинска. Камеральная обработка материалов разведки пока не закончена, но по предварительным данным последние два района имеют несравненно более мощные слои залегания сланца, чем в вурнарской части месторождения (1,5 м в среднем против 0,35–0,40 м в Вурнарском районе).

Характеристика сланца чувашского месторождения

Горючий сланец чувашского месторождения встречается трех видов, отличающихся друг от друга как по физической структуре, так и процентным отношениям содержащихся в них органической массы и баласта, отсюда и по содержанию тепловых единиц, именно:

1. Тонкослоистый плитняк, довольно устойчивый на сжатие, сохраняющий формы кусков при высыхании и перевозках и имеющий относительно высокую теплопроизводительность.

2. Крупнослоистый сланец, пока мало изученный, но по первоначальным пробам менее устойчивый в сохранении первоначальных форм кусков (кусков пласти в породе) при высыхании, чем тонкослоистый плитняк, а также, видимо имеющий меньшую теплопроизводительность.

3. Ракушечник, легко рассыпающийся при высыхании и заключающий в себе неразложившиеся еще раковинки морских животных. Ракушечник имеет высокий процент содержания баласта, главным образом золы, и незначительную теплопроизводительность.

В ходе геолого-разведочных работ и из существующих эксплоатационных штолен Фосфориттреста были взяты в 1930 и 1931 гг. пробы сланца Вурнарского района на определение химического состава и содержания в нем количества тепловых единиц. Лабораторные анализы ленинградского „Электротротока“ и других лабораторий показывают теплопроизводительность сланца в пределах: плитняка Q_n^p — 1 765 — 3 265 са Q_n^p — 2 475 — 3 945 са и ракушечника около 1 000 — 1 500 1 са.

В августе месяце 1931 г. производился опыт по сжиганию сланца-плитняка Вурнарского района на IV Ленинградской электростанции. Анализ взятых проб перед сжиганием с подаваемых в бункера вагонеток показал следующий химический состав сланца-плитняка:

Воды (в рабочем топливе)	W ^p	14,44%
Золы без CO ₂ карбонатовой A ^p		44,70%
Минеральной углекислоты CO ₂ ^p		4,30%
Углерода	C ^p	26,18%
Водорода	H ^p	3,04%
Азота	N ^p	0,60%
Кислорода	O ^p	2,88%
Серы летучей	S ^p	3,86%
Серы общей	S ^p ОБЩ.	5,64%

В данном случае органическая масса сланца-плитняка растворена в баласте ($B = A + W + S$), составляющем 67,30%. Главная масса баласта—зола, что является обычным для сланца.

Обращает на себя внимание содержание в сланце в значительном проценте серы и небольшое—минеральной углекислоты. Летучая сера составляет 0,7% от общей.

Как обычно и для сланцев других месторождений, сланец-плитняк чувашского месторождения имеет высокое отношение $H/C = 0,11 \left(\frac{3,04}{26,18} \right)$ и большой выход летучих (на сухую массу по Муку около 35%). Эти показатели свидетельствуют что в сланце-плитняке летучие составляют большую часть горючей массы.

О температуре плавления золы имеется мало данных, при этом несколько расходящихся в цифрах для разных проб. Лаборатория „Электротротока“ показывает температуру плавления золы 1 100—1 120°C, лаборатория опытного бассейна—1 240°C, а температуру размягчения золы—1 190°C. Удельный вес сланца около 1,5.

¹ Подробнее в брошюре Г. С. Садовникова „Чувашский энергогимический комбинат“, изд. Госплана ЧАССР, 1931.

Теплопроизводительность сланца средних проб определена:

$Q_H^p = 2598 \text{ cal}$ и $Q_B^p = 3330 \text{ cal}$.

Приведенные показатели, полученные в связи с опытом по сжиганию сланца, являются средними и характеризующими сланец-плитняк Вурнарского района чувашского месторождения.

Они могут быть использованы при проектировании районной электростанции на сланцах и положены в основу проектирования мелких промышленных и других теплосиловых установок на сланце Вурнарского района.

Эти показатели свидетельствуют о том, что сланец-плитняк как топливо занимает равное положение по качествам среди "местных" низкокалорийных топлив—древесных отбросов, торфа и других. Также в настоящее время не вызывает сомнений и вопрос о сжигании сланца в топках теплосиловых установок.

В топках теплосиловых установок малой и средней мощности легкое сжигание сланца может быть осуществлено на механических решетках типа Каблица. Благодаря работам теплотехнического сектора Союзсланца в настоящее время выработан стандартный тип советских устройств для этих мощностей, обеспечивающий экономичность установки в смысле первоначальных затрат и издержек по эксплуатации и равно эксплоатационную надежность. Чувашская республика ставит задачей в ближайшее время освоить сланец как топливо в теплосиловых установках малой и средней мощности сначала на опытных установках и в ближайшие годы в промышленных и агро-индустриальных комбинатах, где потребуется производство технологического пара.

При проектировании крупных мощностей научно-техническая мысль останавливается на топках для сжигания сланца в виле пыли с подсушкой и помолом в агрегатах "Рема". В этом направлении в 1932 г. будут проводиться экспериментальные работы по сжиганию сланца чувашского месторождения.

ния на существующих установках районных электростанций. Для этой цели закладывается штольня около ст. Буинск, Московско-Казанской ж. д. Правительство Чувашской республики ставит задачей проведение всех экспериментальных работ по сжиганию сланца в первой половине текущего года с тем, чтобы во второй половине его приступить к проектированию на сланцах крупной районной электростанции (ГЭЦ) в комбинированном с химической промышленностью (Чувашского энергохимического комбината).

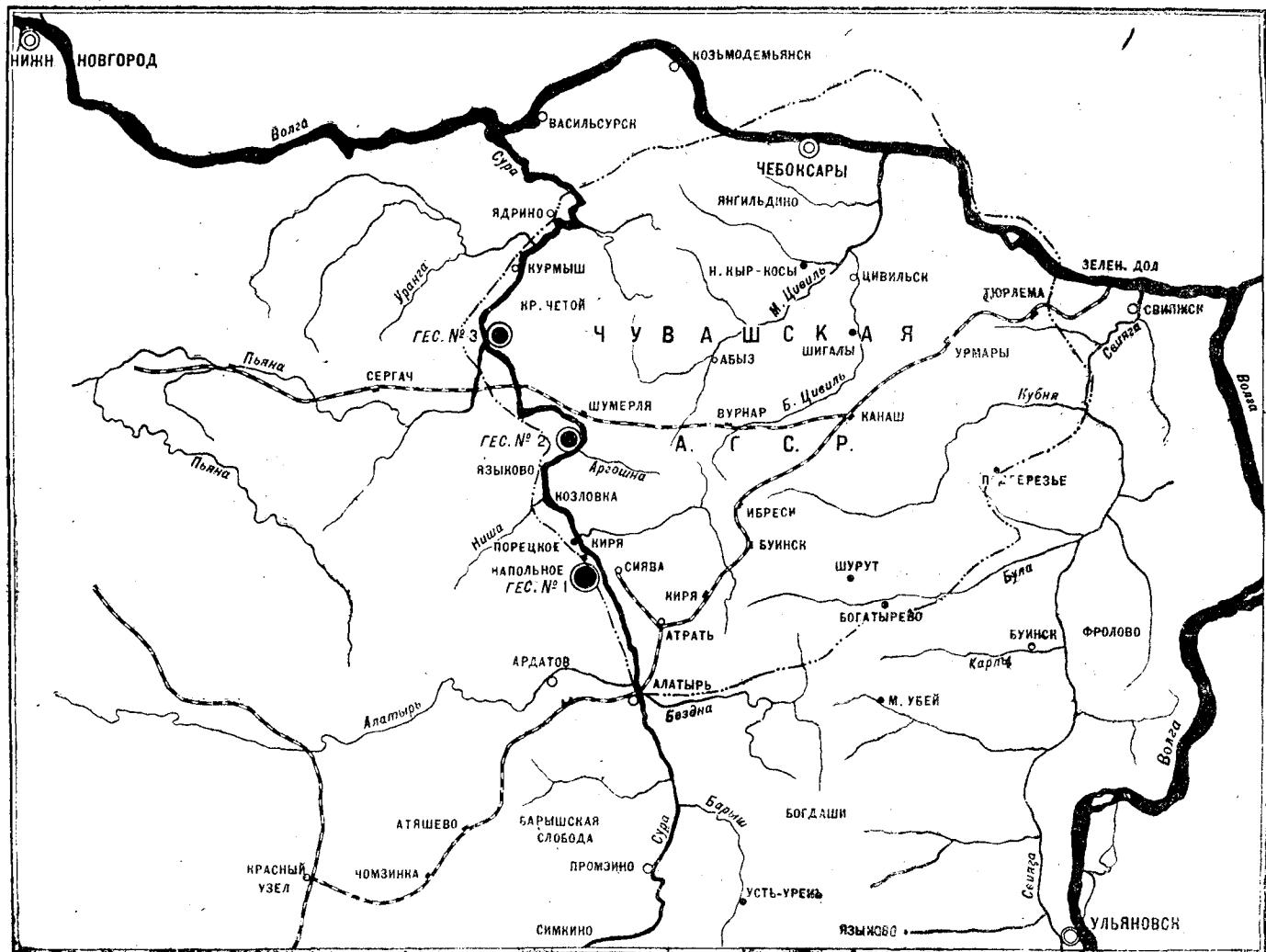
Водные силы

Территория Чувашской АССР прорезывается р. Волгой и ее притоками: Сурой и Цивилем (см. карту 2—реки Чувашской АССР).

Характеристика р. Волги с энергетической точки зрения в связи с проблемой Большой Волги выходит за пределы данной статьи; к тому же она в достаточной степени освещена в печати, и потому мы на ней останавливаться не будем и лишь отметим, что проблема Большой Волги включает в себе Чебоксарскую гидроэлектростанцию мощностью 350—400 тыс. кВт.

Приток Волги р. Цивиль имеет площадь бассейна 4 709 км² при протяженности 125 км. Средний сток воды составляет: при низком горизонте 2,11 м³/sec, при среднем—13,20 м³/sec и при высшем—2 136 м³/sec.

Годовой расход воды определяется в следующих размерах: июнь—октябрь—49,5 млн. м³, ноябрь—март—33,8 млн. м³ и апрель—май—74,9 млн. м³. Огюда мы видим, что р. Цивиль по мощности не является серьезной энергобазой. Как в настоящее время, так и в будущем она будет использована существующими мелкими гидросиловыми установками и для водохозяйственных целей.



Весьма солидную мощность имеет приток Волги р. Сура. В течение 1930—1931 гг. правительство Чувашской республики через "Спецстройпроект" производило гидротехнические изыскания р. Суры, ставя проблему использования ее в целях энергетики и судоходства на нижнем и среднем течениях.

Река Сура со своими многочисленными притоками протекает в пределах пяти крупных административных единиц: Чувашской АССР, Средневолжского края, Нижегородского края и частично Нижневолжского края и Мордовской автономной области.

По данным изыскания длина реки от истоков до устья составляет около 900 км, а вместе с притоками—4 600 км; площадь бассейна равна 64 000 км². Водоносность р. Суры в створе около с. Порецкого, в водосборе—75% полного, характеризуется средним многолетним годовым стоком 7,5 млрд. м³, что соответствует среднему многолетнему расходу около 240 м³/sec; максимальный годовой сток—12 · 10⁹ м³/sec и минимальный—5 · 10⁸ м³/sec.

Приведенные цифры характеризуют р. Суру как довольно значительную и мощную реку, занимающую заметное место среди крупных рек европейской части СССР.

Энергетические ресурсы р. Суры в пределах Чувашской АССР характеризуются возможностью получения мощности 70—100 тыс. кВт.

Краткая характеристика перспектив энергостроительства

Крупные запасы энергоресурсов на территории Чувашской АССР позволяют ставить на очередь с возможностью ближайшего осуществления ряд проблем энергостроительства: Чебоксарской гидроэлектростанции на Волге, энергохимического комбината в Присурском районе на сланцах, Сурской гидроэлектростанции и широкое развитие теплофикации на местном топливе в промышленных центрах и агрогородокомбинатах. В настоящее время эти объекты в достаточной степени уже исследованы, и к строительству их можно приступить в первые же годы второго пятилетия.

Ниже дается краткий очерк построения этих электростанций и значения их в развитии социалистической экономики страны.

Чебоксарская гидроэлектростанция

Богатства Сибири и создание Урало-Кузнецкого комбината, с одной стороны, и крупная промышленность центральных районов Союза (Московской области и Нижегородского края)—с другой, конкретно поставили вопрос о создании непосредственной связи и междурайонного взаимного экономического обслуживания этих друг от друга отдаленных частей Советского союза. Чебоксарская гидроэлектростанция будет находиться вблизи пути намеченной к постройке железнодорожной линии Шаймарданы—Нижний-Новгород, создающей магистраль Москва—Нижний-Новгород—Свердловск. Находясь на этом пути промышленного и сельскохозяйственного продуктообмена, Чебоксарская гидроэлектростанция создаст базу для индустриализации края Чувашской республики и Марийской области как на местных сырьевых ресурсах, так и на сырье этого продуктообмена между Сибирию и центральными промышленными районами. При этом вырисовывается проблема кооперирования Урало-Кузнецкого комбината с проблемой Чебоксарской гидроэлектростанции на основе дешевой электроэнергии последней.

Кроме того, Чебоксарская гидроэлектростанция будет находиться в центре промышленных районов Нижегородского края, расположенных по р. Волге. Промышленность этой части края в настоящее время питается энергией от сетей НИГРЭС 1 в Нижегородском районе и от самостоятельных силовых установок в автономиях. С сооружением Чебоксарской гидроэлектростанции основная нагрузка от промышленности перейдет к ней и лишь "пики" и "полупики" будут покрываться от НИГРЭС 1 и других районных тепловых электростанций, намечаемых в сфере действия гидроэлектростанции, а также от промышленных и других силовых установок, которые останутся и после сооружения гидроэлектростанции (теплофикационные) и будут присоединены к сетям последней.

Энергохимический комбинат

Энергохимический комбинат проектируется в юго-восточной части Чувашской АССР между ветками (старой и новой) Московско-Казанской ж. д.

Московско-Казанская ж. д. является вторым путем межрайонной связи центральных промышленных районов (Московской области и Нижегородского края) с Сибирию. Энергохимиче-

ский комбинат будет занимать то же положение в продуктообмене между этими участками Союза, какую будет занимать Чебоксарская гидроэлектростанция. С другой стороны, постройка энергохимического комбината в Чувашской АССР предполагает освоение значительных сырьевых ресурсов этой республики (фосфоритовых и сланцевых ископаемых), представляющих серьезную базу для развертывания промышленности по основной химии: фосфатотуковой, сланцевохимической, вискозной, а также промышленности строительных материалов на базе использования сланцевой золы. Кроме того, этот район богат лесами, задачи индустриализации которых—механизация лесозаготовок и развертывание промышленности по лесодеревообработке—тесно увязываются с задачами осуществления строительства энергохимического комбината.

Особенность чувашского месторождения, именно попутное залегание горючего сланца с фосфоритами, способствует разрешению проблемы организации крупного производства энергохимпромышленности. Во-первых, на месте разрешается вопрос о сырьевом базе, и, во-вторых, благодаря совместному залеганию ископаемых удешевляются организация рудничного хозяйства и добыча руды. На этой основе проблема промышленного использования фосфоритовых и сланцевых ископаемых Чувашской АССР проработана в форме комбинированного производства химии и энергетики с ведущей отраслью—энергетикой.

Состав комбината намечается в следующем виде: 1) районная электростанция (ТЭЦ), 2) фосфоритовая группа: производство фосфоритовой муки, суперфосфата, преципитата, аммофоса, сульфатаммония и серной кислоты, 3) вискоза, 4) искусственные смолы, 5) электролиз соли, 6) сланцевохимическая группа и 7) силикаты.

Такое комбинирование энергохимпромышленности даст большие выгоды с точки зрения энергетики, уменьшая первоначальные затраты и издержки по эксплуатации. Районная электростанция в составе энергохимкомбината будет иметь все преимущества теплоэлектроцентрали.

Полная мощность районной электростанции в составе энергохимического комбината намечается в 140 тыс. кВт, из которых мощность 3 · 24 000 кВт намечается теплофикационной.

Сурская гидроэлектростанция

Все основные условия, определяющие целесообразность использования гидроэлектрической энергии—низкая стоимость энергии, бедность района бассейна естественными дешевыми и удобными для использования топливными ресурсами, потребности в электроэнергии в связи с хозяйственным и культурным развитием окружающих районов и др.—имеются налицо в ярко выраженному виде в бассейне р. Суры. В этом залог того, что использование энергии р. Суры найдет свое место в энергетическом хозяйстве страны.

По данным автора проекта инж. П. А. Ляпичева использование р. Суры в целях энергетики и судоходства по основной схеме проектируется путем устройства на р. Суре у села Напольного большого водохранилища емкостью приблизительно 4,5 млрд. м³ напором 19 м, существенным образом регулирующим сток реки. Кроме основных сооружений при водохранилище (плотина шлюз-ГЭС) при этом производятся работы в связи с подтоплениями и на нижеследующем участке р. Суры для дальнейшего улучшения судоходных условий (землечерпание, корчеподъем, спрямление и пр.).

Проектом ГЭС у села Напольного намечается получить мощность 42 000 кВт при 3 агрегатах или 56 000 кВт при 4 агрегатах.

Кроме того, намечается два низконапорных сооружения в нижней части течения р. Суры с гидростанциями мощностью по 12 000 кВт (одна плотина у устья р. Алгашки и другая близ устья р. Пьяна), но осуществление последней требует увязки с проблемой Чебоксарской гидроэлектростанции.

Как отмечалось выше, проблема р. Суры ставится и в целях судоходства. Бассейн р. Суры характеризуется наличием огромных лесных массивов, по преимуществу высокосортных пород леса, значительным количеством товарной продукции сельского хозяйства, довольно развитой промышленностью, связанной с использованием лесных богатств, огромными залежами сланцевых и фосфоритовых ископаемых, на базе которых проектируется мощный энергохимический комбинат. Эти экономические предпосылки вместе с необеспеченностью бассейна дешевыми путями сообщения и перевозки массовых грузов особенно выпукло говорят за осуществление проблемы Сурстрова в ближайшем будущем как единственного водного пути для всего Присурья. Масштаб работы для транспортных целей характеризуется улучшением судоходных условий огромного участка р. Суры от устья до Промзино длиной около 400 км с достижением глубин 1,6—2,5 м.

Общая стоимость всех работ и сооружений определяется в 30—35 млн. руб. Онося 60% на энергетику и 40% на транспорт, получим стоимость одного установленного киловатта 400—500 руб. и стоимость одного километра водного пути около 30 000 руб. Общая сумма годовых эксплуатационных расходов (включая убытки от затоплений и пр.) выражается в 3—4 млн. руб., что дает себе стоимость киловатт-часа около 1—1,5 коп. и стоимость 1 км/км перевозок в части составляющей от устройства и содержания пути 0,1—0,2 коп.

Промышленные и коммунальные теплоэлектроцентрали

Строительство социалистических городов и крупных промышленных предприятий, потребляющих технологический пар потребует централизованного снабжения тепловой энергией.

В разрезе второго пятилетия намечаются следующие крупные рабочие центры:

1. При Чебоксарской гидроэлектростанции, где рабочий поселок, видимо, сольется со старой частью города. Город Чебоксары в ближайшее время должен превратиться в крупный город, и безусловно, потребует целесообразного разрешения вопроса теплоснабжения именно от централи.

2. При Козловском деревообрабатывающем комбинате, где теплофикация будет проводиться от существующей теплоцентрали путем расширения последней.

3. При Шумерлинской группе предприятий—бумажной фабрике, деревообрабатывающем комбинате и заводе "Дубитель". Рабочий поселок всех этих предприятий строится на одной площадке, что создает благоприятные условия для теплофикации. Здесь также теплофикация будет проводиться от существующей теплоэлектроцентрали путем расширения последней.

4. При намечаемом деревообрабатывающем комбинате в Алатыре, при строительстве которого необходимо будет учесть и потребности в тепле рабочего поселка.

5. При намечаемом Чувашском энергохимическом комбинате, где теплофикацию намечается осуществить от централи химкомбината.

Кроме того, на территории Чувашской АССР намечается организовать 4 агро-индустриальных комбината с ведущей картофелеобрабатывающей промышленностью, именно: Бурнарский, Урмарский, Канашский и Батыревский. Характер производства агро-индустриальных комбинатов потребует подачи технологического пара.

Мощность теплоэлектроцентралей приведена в таблице 2¹:

Общая мощность энергопентралей и вопросы кооперирования их

Безусловно, энергопромышленность Чувашской АССР будет сконцентрирована и представит единую мощность в системе энергетики.

В БОРЬБЕ ЗА НОВЫЙ УРАЛ

Уральский электромашиностроительный комбинат

Т. П. Горбунов
ВЭО

Для того чтобы оценить огромное хозяйствственно-политическое и технико-экономическое значение Уральского электромашиностроительного комбината, необходимо подробно изучить все научно-технические проблемы, характеризующие идею комбината.

В настоящей статье мы ставим целью ознакомить читателя лишь с основными технико-экономическими соображениями, на которых построен проект комбината.

Уральский комбинат должен явиться одним из основных конкретных этапов технического перевооружения нашей электропромышленности, этого важного звена социалистической реконструкции народного хозяйства. Смелая идея и оригинальный замысел комбината, превращенные теперь в обоснованную проблему, представляют исключительно народно-хозяйственный интерес. Строительство комбината в системе УКК ставит по-новому вопрос о географическом размещении нашей электропромышленности.

Несмотря на то, что наша электропромышленность имеет громадные достижения в своем развитии и превысила дооцен-

Наименование	Существующая мощность в kW	Проектируемая мощность в kW
Чебоксарская	—	25 000
Козловская	1 400	3 000
Алатырская	—	3 000
Шумерлинская	3 800	7 000
При агро-индустриальных комбинатах	—	4 000
	5 200	42 000

хозяйства Нижегородского края. Общая мощность энергопентралей составит:

Чебоксарская гидроэлектростанция	400 000
Энергохимический комбинат	140 000
Сурская гидроэлектростанция	70 000
Промышленные и коммунальные теплоэлектроцентрали	42 000
	652 000

Энергопентралы республики, сконцентрированные между собой и включенные в систему энергохозяйства Нижегородского края, представляют комбинат теплоэлектроцентралей с гидроустановками. Водные силы на территории Чувашской АССР и Нижегородского края в целом как северные реки имеют минимум кривой расхода воды в зимние месяцы (январь, февраль), а теплоэлектроцентрали, наоборот, имея в значительном проценте отопительную нагрузку, имеют максимум кривой расхода в зимние месяцы. Теплоэлектроцентрали, работая по вынужденному электрическому графику и отдавая в сеть максимум электроэнергии в зимние месяцы и минимум, или даже находясь в горячем резерве, в летние месяцы, будут помогать гидроустановкам.

Такое комбинирование гидроустановок с теплоэлектроцентралями является необходимой и рациональной мерой для того, чтобы возможно в полной мере использовать гидроустановки и тем самым снизить стоимость гидравлического киловатт-часа.

Таким образом осуществление проблемы строительства Чебоксарской гидроэлектростанции и Сурстроя заставляет форсировать строительство теплоэлектроцентралей в целях обеспечения гидроустановок тепловым резервом.

¹ По материалам Госплана Чувашской АССР.

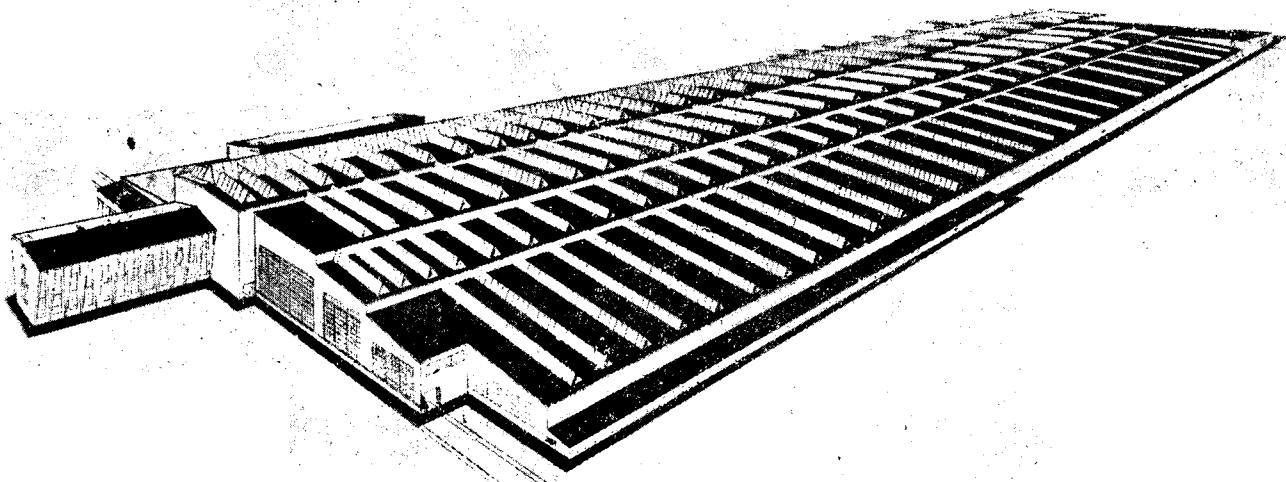


Рис. 1. Трубогенераторный сверхмощный завод Уралмашстрой BCHX

Идея комбината по заданию правления ВЭО прорабатывалась более года. В работе принимали участие около 700 специалистов Союза и ряд заграничных консультантов. Все, что есть передового во всех отраслях мировой техники, использовано применительно к условиям нашего планового социалистического хозяйства в проекте комбината.

Комбинат является не только самым мощным электро-техническим предприятием Союза, но и самым крупным и передовым производством энергетического оборудования в мире.

Запроектированный с учетом последних достижений европейской и американской электропромышленности комбинат пойдет неизмеримо дальше этих достижений. Мощные научно-исследовательские лаборатории, широкая производственная база, огромные габариты зданий и оборудования открывают широчайшие возможности производства машин любых мощностей.

По производственному профилю комбинат определился как поставщик всего энергетического оборудования от турбогенератора до кабеля. Своей номенклатурой производства комбинат сможет оборудовать строительство станций любой мощности, а вместе с Уралмашстроям (расположенным рядом), и любой металлургический завод. Но однако, несмотря на это, комбинат не будет страдать универсализмом: в нем нет ни светотехники, ни электрохимии, ни бытового оборудования и т. д. Он имеет целевое назначение комбината-поставщика комплектов основного энергетического ответственного обу-

рдования, комбината с электротехнической основой и машинным уклоном.

Принятая форма комбината, а не отдельных заводов, основана на целом ряде технико-экономических и производственных предпосылок. Прежде всего современные электротехнические предприятия должны быть подкреплены научно-исследовательскими лабораториями. Современные же научно-исследовательские лаборатории требуют мощного оборудования, большого количества научных работников и крупной производственно-

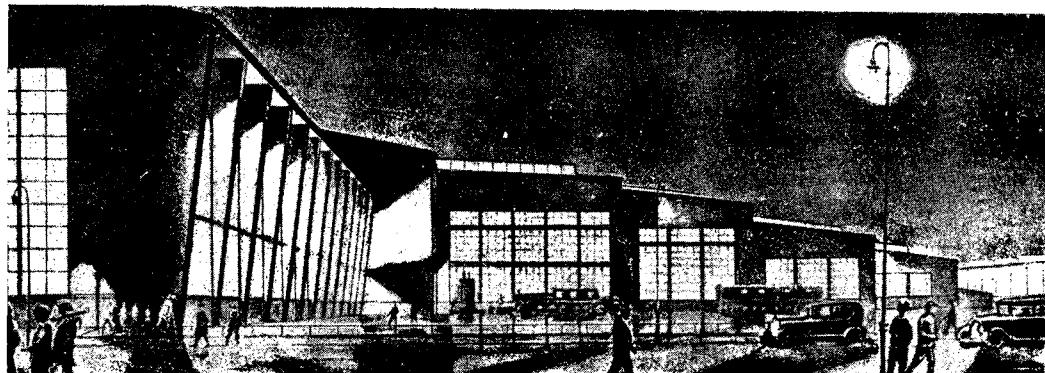


Рис. 2. Трубогенераторный завод, вид с торцевой стороны

технической базы, что даже очень крупным отдельным предприятиям не под силу.

В комбинате эта перспектива обеспечивается исключительно удачно. На единой производственно-технической базе организуются большие научно-исследовательские лаборатории, использующие творческую инициативу работников производства.

Далее форма комбината позволяет организовать централизованные и специализированные цеха по производству не только полуфабрикатов, но и готовых изделий. Намечаемые объемы производства обеспечивают правильную их техническую организацию, механизацию и автоматизацию производства, постановку быстроходных станков и т. д., все это упростит управление предприятием и даст максимальную эффективность производства.

Однако самым существенным фактором эффективности намечаемого строительства явится снижение себестоимости (при сохранении существующих цен на сырье), которое достигает в среднем 25%, или около 200 млн. руб. в год, причем по отдельным заводам снижение еще более значительно. Таким образом при намеченном объеме производства за 2 года нормальной работы комбината окупятся все затраты на промстройство.

Кроме того, по произведенным подсчетам выяснилось, что строительство отдельных заводов вне комбината обошлось бы дороже примерно на 20% только по затратам на здания и

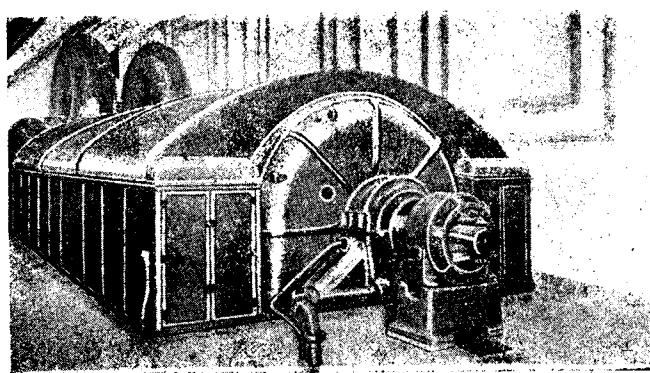


Рис. 3. Трубогенератор мощностью 1600 л. с. 10 кВ фирмы „Дженерал Электрик“.

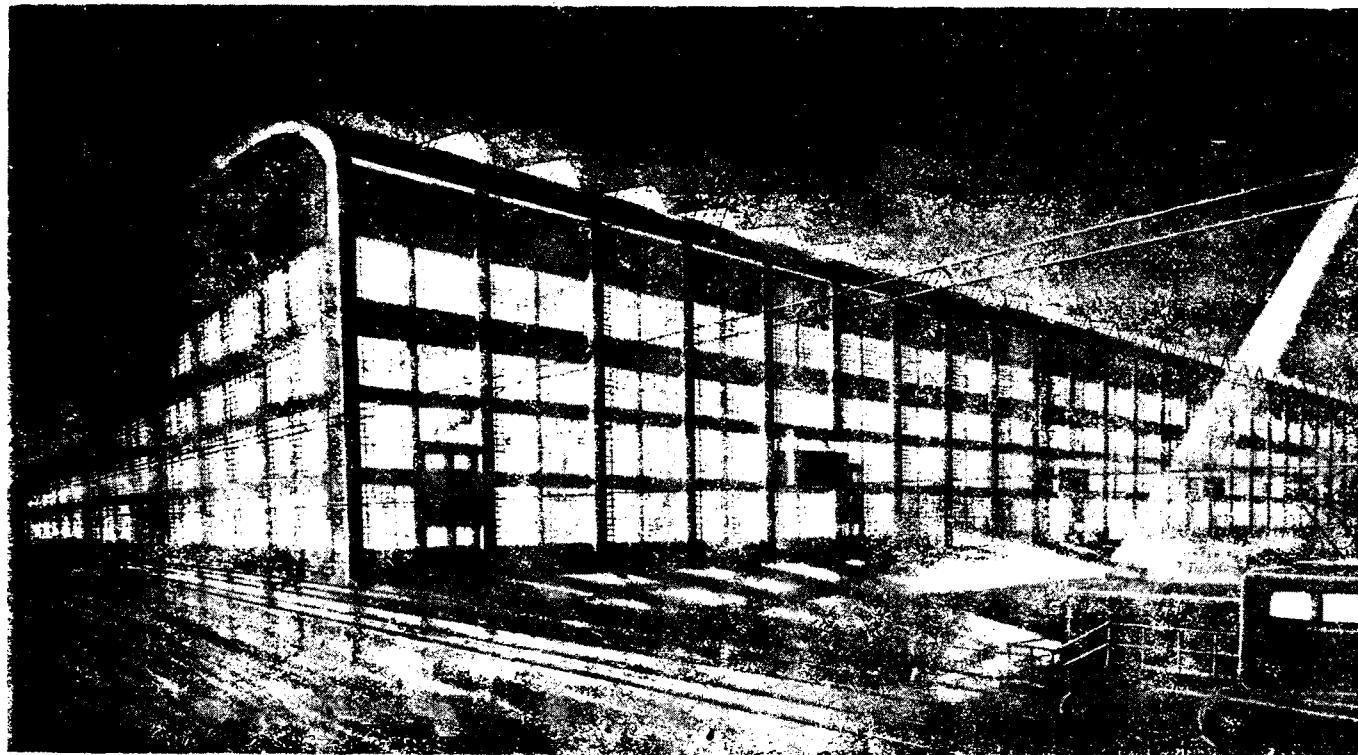


Рис. 4. Машиностроительный завод

оборудование, не считая дополнительных затрат по ТЭЦ, транспорту и т. д.

Характерны и показатели отдачи на один рубль основного капитала (выпуск на один рубль основного капитала) по комбинату. Они значительно превышают план ВЭО и отдельных заводов (см. табл. 1).

При этом следует подчеркнуть, что при создании комбината не будет потери в темпах и средствах, что возможно при распылении сил и средств на строительство отдельных заводов на многих участках.

Оборудование на списочного рабочего в комбинате в 2,4 раза превышает современные показатели ВЭО, а выпуск на одного

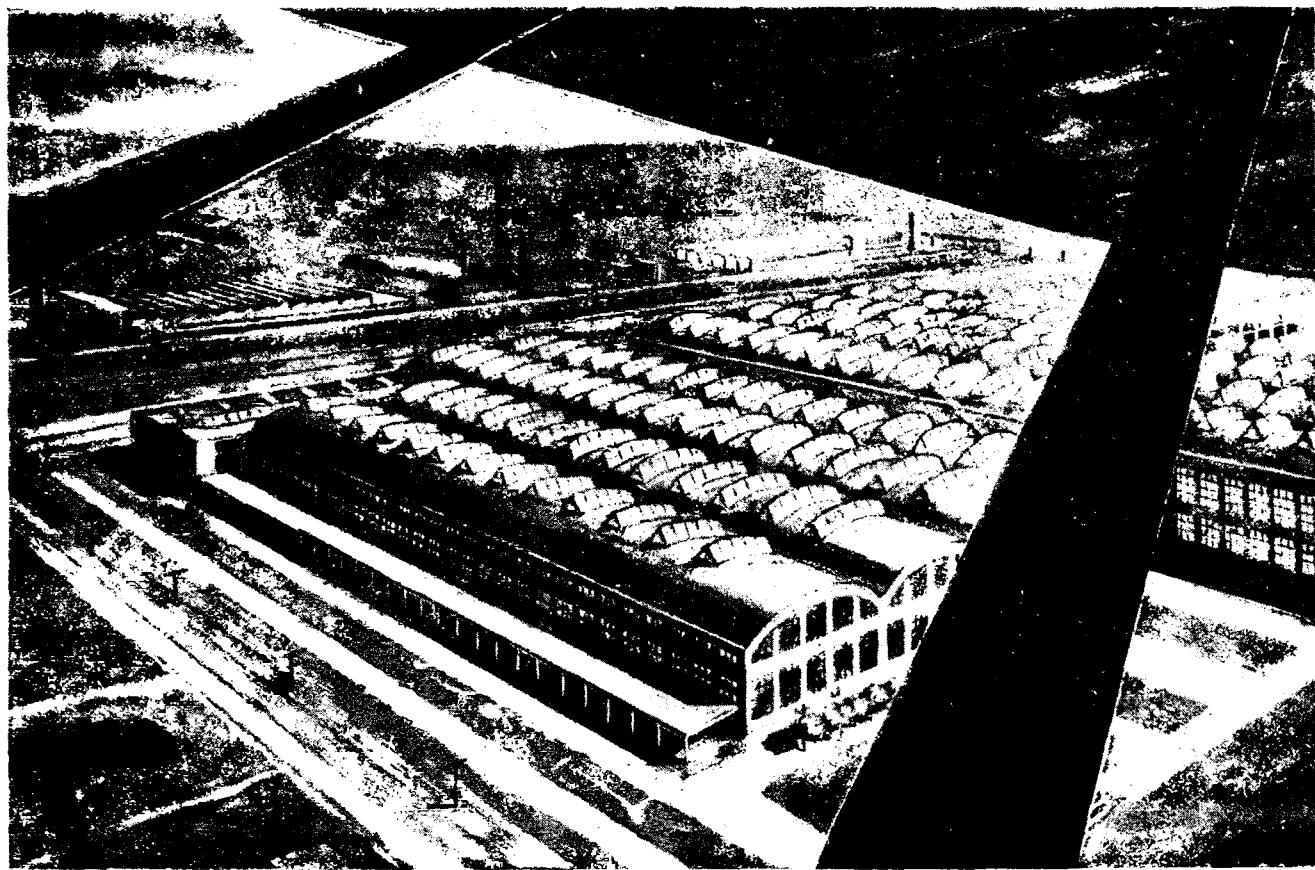


Рис. 6. Трансформаторный завод

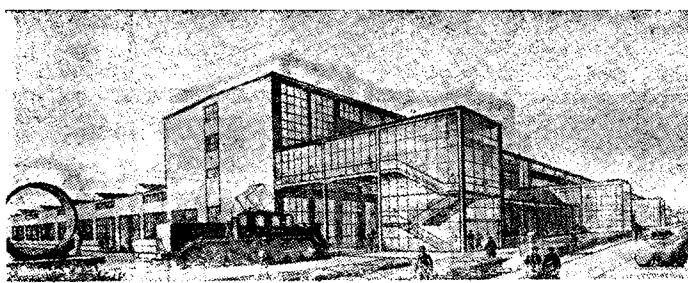


Рис. 6. Аппаратный завод, высоковольтный отдел

Таблица 1

Заводы	По плану ВЭО	УЭМК
Турбогенераторный	1,86	3,35
Машиностроительный	2,50	6,30
Трансформаторный	7,50	9,00
Кабельный	8,50	20,00
Аппаратный	9,0	12,0

списочного рабочего в 2 раза. Потребление электроэнергии комбинатом превышает в 6 раз потребление всеми заводами ВЭО в 1931 г. и значение живой рабочей силы в издержках производства значительно понижается.

точная изоляция статора, сварные конструкции и т. д. (рис. 3). Станочное, крановое оборудование и габариты зданий завода позволяют значительно увеличить мощности в одном агрегате. При незначительных увеличениях отдельных частей можно будет выпускать агрегаты мощностью до 400 тыс. кВт в одной единице. Себестоимость турбины в комбинате определилась в 6 р. 79 к. за 1 кВт (на Ленинградском металлическом заводе им. Сталина—20 р. 08 к.), а всего агрегата 12 р. 90 к. (ДЖИИ САСИШ около 14 руб.).

Электромашиностроительный завод состоит из двух отделов: крупного машиностроения и отдела нормальных машин. В первой части завода будут изготавливаться гидрогенераторы как с горизонтальным, так и с вертикальным валом до предельных мощностей 100—120 тыс. кВт (при современном выпуске максимум 74 тыс. кВт), прокатные моторы и агрегаты к ним Ильгера и Леопарда, крановые моторы переменного и постоянного токов, а также различные моторы для специальных отраслей промышленности. Отдел нормальных машин будет изготавливать моторы постоянного тока от 6,3 до 100 кВт. Общая производственная программа завода намечается в 7 267 тыс. кВт на сумму 350 млн. руб. (рис. 4).

Огромные мощности в отдельных единицах и большие размеры машины потребуют применения в этом производстве новейших конструктивно-производственных тенденций, максимального внедрения сварных конструкций, уменьшения механической обработки, повышения прочности деталей, применения к сварке сортовых материалов, перехода на непрерывную изоляцию и сокращения цикла производства.

Завод, так же как и турбогенераторный, разбивается на специализированные пролеты, где организуется прямая поточная система производств на началах серийности.

Трансформаторный завод запроектирован на

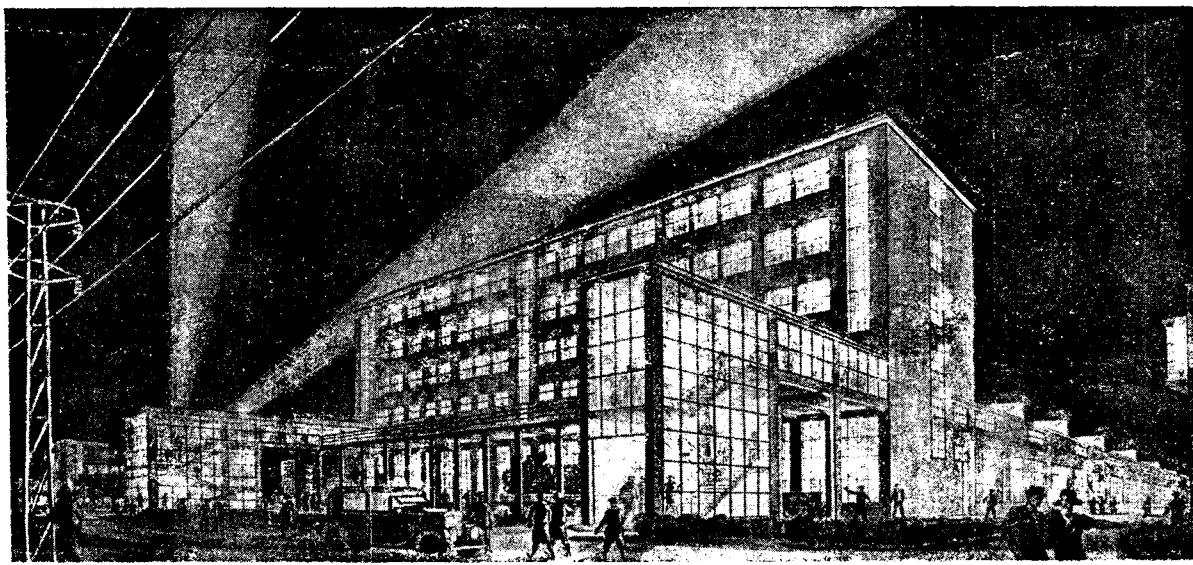


Рис. 7. Аппаратный завод, низковольтный отдел

Форма комбината значительно упрощает задачу подготовки кадров, в особенности научных работников, которые будут квалифицироваться не на узком производстве, а на законченном производственном цикле.

Комбинат будет состоять из 5 заводов: турбогенераторного, машиностроительного, аппаратного, трансформаторного и кабельного с соответствующими заготовительными и обслуживающими цехами, общекомбинатскими устройствами и сооружениями.

Турбогенераторный завод рассчитан на выпуск турбоагрегатов мощностью в одной единице 50, 100, 160 тыс. кВт и выше. Общая производственная программа завода определяется в 2½ млн. кВт из суммы 125 млн. руб. Впервые в мировой практике запроектировано производство на одном заводе всего турбоагрегата в целом: турбина, генератор и водоподготовительные устройства. Производство организуется таким образом, что изготовление каждой части турбоагрегата закреплено за определенным пролетом. Это при небольшом количестве типов создает серийность производства (рис. 1 и 2).

Все новейшие способы американского производства будут использованы на турбогенераторном заводе: обмотка статора проводом с дельта-асбестовой изоляцией, непрерывная лен-

производство трансформаторов всех габаритов и разбивается на 2 отдела: отдел массового изготовления мелких трансформаторов и отдел мощных и сверхмощных трансформаторов до 40 000 кВт напряжением до 220 кВ₁ (рис. 5). По своему оборудованию завод сможет изготовить наиболее мощные трансформаторы и трансформаторы больших напряжений. В пределах до 1937 г. в трансформаторном заводе будет построен отдел средних трансформаторов с общей программой выпуска на 183 млн. кВт.

Аппаратный завод будет состоять также из двух отделов аппаратуры (стационарной) высокого напряжения и аппаратуры (промышленного и сельскохозяйственного назначения) низкого напряжения. (рис. 6 и 7).

Аппаратура высокого напряжения отнесена строительством за пределы 1937 г., а низкого напряжения крановую аппаратуру, пусковые приспособления, рубильники, автоматы и пр. начнут выпускать в 1934 г.

В связи с чрезвычайно быстрым прогрессом техники изготовления аппаратуры и с частой сменой типов и конструкций ее завод приспособлен к возможным и быстрым изменениям форм производства. Он организует свою работу почти исключительно на универсальных станках и запроектирован как завод

массового производства с широким применением конвейеров, транспортеров и т. д.

Кабельный завод. Этот завод будет строиться на массовый выпуск кабельных изделий для передачи энергии на расстояние, а также на изготовление обмоточных проводов и фасонной меди для заводов комбината. Стоимость продукции полного выпуска кабельного завода определяется в 604 млн. руб. Имея в своей программе кабели в 110 тыс. В, завод предусматривает возможность выпуска кабелей и в 220 тыс. В. Вместе с тем в проекте предусмотрена возможность перехода завода с медных проводов на алюминиевые провода. (рис. 8).

Общая программа комбината, принятая президиумом ВСНХ на 1937 г., определяется в 1 460 млн. руб.

Строительная стоимость комбината определяется в 712 млн. руб.; из них: промпредприятия—345 млн. руб., энергетика 90 млн. руб. и жилищно-бытовое и культурное строительство—277 млн. руб. Строительство комбината организуется очередями при условии достижения максимальной эффективности капиталовложения. Каждая очередь определяет законченный круг строительства зданий и сооружений, позволяющих развернуть определенный цикл производства. Так в 1932 г. начинается строительство машиностроительного завода и отдела низковольтной аппаратуры аппаратурного завода с таким расчетом, что в 1934 г. эти заводы выпускают уже готовую продукцию на 105 млн. руб. и постепенно достигают полной мощности: в 1935 г. 176 млн. руб., в 1936 г.—290 млн. руб., в 1937 г.—534 млн. руб.

В 1933 г. будет организовано строительство турбогенераторного и кабельного заводов с расчетом выпустить в 1935 г. продукцию с обоих заводов на 195 млн. руб., в 1936 г.—на 380 млн. руб. и в 1937 г.—на 745 млн. руб.

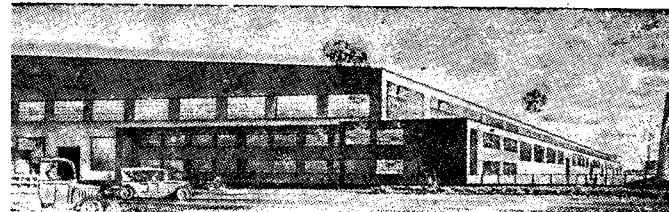


Рис. 8. Кабельный завод

В 1934 г. начнется строительство отдела мощных габаритных трансформаторного завода с началом выпуска готовой продукции в 1936 г. на 56 млн. руб. и в 1937 г.—на 146 млн. руб.

В соответствии с этим планом строительства заводов организуется и строительство вспомогательных и обслуживающих зданий всех комбинатских сооружений и города.

Для пуска комбината потребуется около 75 тыс. рабочих, инженерно-технического персонала и служащих.

Проблема строительства нового технически передового предприятия с огромной производственной программой в новом промышленном районе почти исключительно на местной сырьевой базе (93% потребного комбинату сырья—Уральского происхождения и только 7% привозится из-за предела Урала) и в центре потребления его продукции имеет исключительное народнохозяйственное значение. Особенно велико будет хозяйственнополитическое значение комбината в системе УКК. Он явится одним из ведущих передовых звеньев в УКК, несущим высокую техническую культуру, и будет мощным рычагом социалистического переустройства страны

ПРОБЛЕМА ТРАНСФОРМАЦИИ СВЕРХВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

О перенапряжениях в каскаде трансформаторов

В. Караваев
ВЭИ

Одной из серьезнейших проблем единой высоковольтной сети СССР является проблема получения сверхвысоких напряжений. Эта проблема, лежащая уже за пределами достижений современной капиталистической техники, разрешима только в условиях планово-социалистического хозяйства и предъявляет к нашей советской электротехнической мысли высокие требования. Удовлетворить эти требования можно будет лишь при условии привлечения к данной задаче внимания научно-исследовательских сил всей страны путем постановки широких дискуссий о проектах трансформирования токов на сверхвысокие напряжения.

Помещаемая ниже в порядке обсуждения статья молодого научного работника-коммуниста т. В. Караваева является в нашей литературе первой попыткой научного анализа весьма сложного и пока еще мало изученного комплекса электрических явлений, связанных с каскадным соединением высоковольтных силовых трансформаторов при сверхвысоких напряжениях (проект проф. Чернышева, предложенный на I Всесоюзной конференции по высоким напряжениям).

Мы приглашаем наши научно-исследовательские институты, их техническую общественность и работников производственной и эксплуатационной практики принять активное участие в обсуждении выдвигаемой проблемы не только путем помещения своих статей в „Электричестве“, но и путем обсуждения этих вопросов на местах.

От редакции

Задача создания источников напряжения порядка 400 кВ и выше, диктуемая широким размахом электрификации СССР, обязывает электротехнические научно-исследовательские институты немедленно начать работу в этом направлении. Социалистическое планирование требует выявления тех трудностей, которые лежат на пути разрешения данной проблемы.

Задача, которую мы должны разрешить, технически является более трудной, чем задача постройки 220-кВ трансформаторов. При создании источников сверхвысоких напряжений в одной единице (по единице на фазу) мы наталкиваемся на ряд затруднений производственного характера и транспорта.

Уже при перевозке 220 кВ трансформаторов прибегали к местным переделкам пути. Сборка же на месте по тем данным, которые имеются, вряд ли экономически приемлема и, кроме того, сопряжена с риском (см. доклад проф. Чернышева на заседании секции энергооборудования Госплана¹ и доклад инж. Трамбецкого на I Всесоюзной конференции по высокому напряжению²).

Несмотря на то, что трансформаторы потребуются единицами, для их производства необходимо дополнительное оборудование, необходима выработка специальных номеров изолирующих цилиндров, вводов и т. д. Изготовление подобных

трансформаторов возможно лишь после технического освоения производства 220-кВ трансформаторов.

Отсюда становится ясным значение вопросов перенапряжений, поскольку и с точки зрения транспорта, и с точки зрения рассеяния, а также условия механической прочности необходимо максимальное уменьшение изоляционных расстояний. Оставление больших запасов здесь недопустимо.

Экстраполируя данные, касающиеся 220-кВ сетей, нужно, например, для 400-кВ трансформатора считаться с возможностью падения волн порядка 3 000 кВ. Данных об импульсной крепости изоляции при таких напряжениях не имеется.

Все эти обстоятельства заставляют искать других путей, и один из них лежит по линии устройства „каскада“.

Каскад может быть составлен из технически уже освоенных трансформаторов соответствующих напряжений. Вопрос транспорта упрощается. Каскад обуславливает свободу маневрирования, и его ступени могут быть введены в эксплуатацию постепенно. Что касается реактанса рассеяния, то вопрос еще недостаточно изучен. Во всяком случае можно указать на следующее. Число витков и длина обмотки группы трансформаторов, включенных в каскад и в ранговом по мощности и напряжению трансформатора, выполненного в одной единице, величины одного порядка. Расстояние же между обмотками высокого и низкого напряжений у второго больше, что способствует и большему его рассеянию.

¹ Материалы Оргкомитета Госплана вып. VII, октябрь 1931.
² „Электричество“, № 12, 1931.

В отношении возможных перенапряжений система каскада все же является наименее исследованной и представляет опасность большую, чем трансформатор, выполненный в одной единице. Однако положительные стороны системы каскада дают возможность устранить все трудности и в отношении перенапряжений.

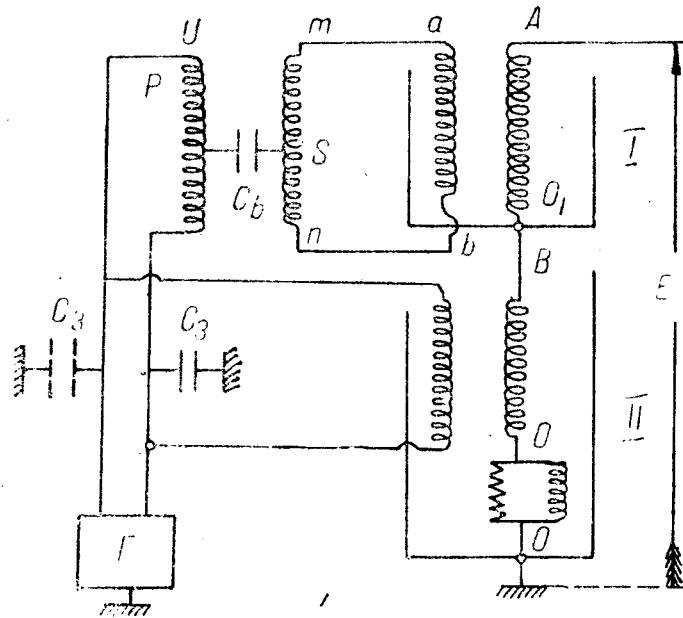


Рис. 1

может быть одного порядка со стоимостью трансформатора, выполненного в одной единице.

Если трансформаторы идентичны во всех отношениях, то в любой момент на каждый из них придется половина общего, переменного по времени напряжения каскада.

Предположим, что технически возможно изготовление совершенно одинаковых трансформаторов с одинаковыми во всех частях свойствами железа, затуханиями, диэлектрическими коэффициентами и пр. Предположим, что верхний (изолированный) трансформатор стоит достаточно высоко или что

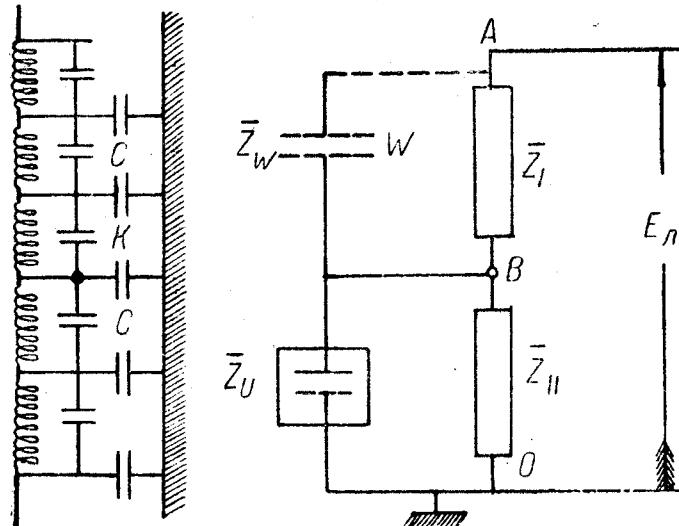


Рис. 2

Рис. 3

При современном уровне знаний вопроса о перенапряжениях и при коллективной работе научно-исследовательских институтов, поставленная нами задача может быть разрешена.

В настоящее время уже имеется проект каскадной установки, выдвинутый ГФТИ, и очерченный в упомянутом докладе проф. Чернышевым. По этому проекту намечена к постройке опытная установка мощностью порядка 6 000 kVA или выше напряжением 400 kV, включающая все 3 фазы (требующая, между прочим, для своего осуществления крупных затрат). Однако с точки зрения перенапряжений проект этот нельзя считать достаточно разработанным. Разработка этого вопроса и посвящена настоящая статья.

Предлагается каскад, в котором каждая фаза выполнена из двух одинаковых трансформаторов, соединенных последовательно (рис. 1). Прилагающий к линии трансформатор (будем называть его "верхним") питается через промежуточный трансформатор с коэффициентом трансформации 1:1. Нейтраль нижнего трансформатора заземлена или глухо, или через самоиндукцию, шунтированную водяным сопротивлением. Корпус верхнего трансформатора изолирован.

Укажем в начале на некоторые, доказанные экспериментально и теоретически, положения из теории перенапряжений в трансформаторах. Если между корпусом трансформатора (т. е. "бычно землей") и его вводом будет возбуждено быстро меняющееся напряжение, в частности периодического характера (например, от периодически падающей волны) то в трансформатор потечет такой ток, как если бы напряжение было приложено к некоторой сложной эквивалентной системе самоиндукции и емкостей (затуханием пренебрегаем) в простейшем виде изображено и на рис. 2.

На этой схеме L —распределенная самоиндукция, K —распределенная "емкость вдоль обмотки" (емкость между витками и катушками), C —распределенная емкость относительно земли. При некоторых частотах приложенного периодического напряжения E возможен резонанс тока, когда при конечном значении амплитуды E втекающий в трансформатор ток равен нулю, и наоборот, для конечного тока необходимо бесконечно-большое напряжение. При частотах выше резонансной трансформатор ведет себя как емкость и при низших частотах—как самоиндукция.

Каскад должен быть составлен из обычных, уже технически освоенных трансформаторов. Каждый из них выдержит перенапряжение, соответствующее перенапряжению обычного трансформатора. При наличии каскада из двух ступеней перенапряжение должно распределяться поровну между двумя трансформаторами. Только в этом случае стоимость каскада

относительно небольшая дополнительная емкость его кожуха на землю, шунтирующая высоковольтную обмотку нижнего трансформатора (рис. 1)¹ компенсируется приключением равной емкости параллельно высоковольтной обмотке верхнего трансформатора. Все же трансформаторы, включенные в каскад, не будут в нашем смысле одинаковыми благодаря следующему обстоятельству. Обмотка низкого напряжения верхнего трансформатора имеет большую дополнительную емкость относительно земли через промежуточный трансформатор 1:1. Эта емкость (обозначим ее через U) порядка емкости самой обмотки высокого напряжения относительно обмотки низкого напряжения каждого из главных трансформаторов. Далее, ввиду большей емкости первичных обмоток относительно кожуха, можно считать, что емкость U приключена непосредственно к кожуху верхнего трансформатора, и следовательно, шунтирует высоковольтную обмотку нижнего трансформатора (рис. 1). Влиянием емкостей сети низкого напряжения C_3 и генератора G относительно земли можно пренебречь, так как по сравнению с емкостью U эти емкости велики².

Таким образом приходим к схеме, изображенной на рис. 3 (нейтраль каскада глухо заземлена). Под Z_U будем подразумевать импеданс $(-i \frac{1}{\omega U})$ емкости U . Через Z_I и Z_{II} обозначены "импедансы при высоких частотах" соответствующих трансформаторов.

Под импедансом трансформатора мы понимаем здесь следующее. Пренебрегая затуханием, эквивалентную схему трансформатора можно себе представить составленной только из самоиндукций и емкостей. Поэтому, если обозначить приложенное к трансформатору напряжение вектором \bar{E} , а втекающий ток вектором \bar{I} , то угол между этими векторами будет равен 90°. Отношение $\frac{\bar{E}}{\bar{I}}$ есть чисто мнимая величина $\bar{Z} = jz = j\psi(\omega)$, являющаяся функцией частоты. Величину Z называем "импедансом при высоких частотах". Полный, выраженный векторно импеданс участка BO .

$$Z_{BO} = \frac{\bar{Z}_{II} \bar{Z}_U}{\bar{Z}_U + \bar{Z}_{II}}$$

¹ Будем считать, что обмотка верхнего трансформатора присоединена к его корпусу свищим концом ∂_1 , а конец ∂_1 обмотки нижнего трансформатора (т. е. нейтраль каскада) глухо присоединен к заземленному корпусу.

² Заметим, что если нейтраль генератора заземлена, то не только один подвешен к нему щиток, но также и другой практически заземлен, так как волновое сопротивление генератора порядка лишь сотен омов.

разнится от импеданса $Z_{AB} = Z_I$ участка AB даже в случае, когда $Z_I = Z_{II}$.

Следовательно, импедансом Z_{BO} и Z_{AB} будут соответствовать разные частоты резонансов тока.

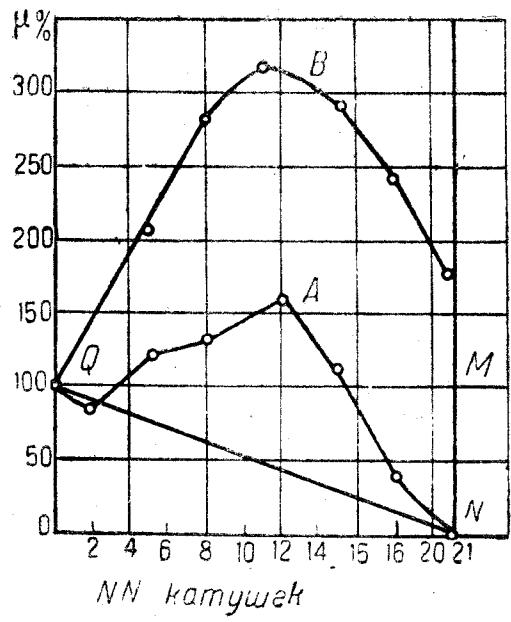


Рис. 4

Поэтому, когда при некоторой частоте один из них сделается равным бесконечности, другой останется конечным и на один из трансформаторов упадет все напряжение E_A линии. Кроме того, будет существовать такая область частот,

ограничено лишь собственным их затуханием. О порядке этих перенапряжений можно судить по тем, которые возникают внутри обмотки одиночного трансформатора в одной единице при падении периодической волны с частотой собственного колебания трансформатора. В этом случае согласно литературным данным в процентном отношении к амплитуде волны перенапряжение в обмотке может достичь пятикратных значений от условий стационарного режима.

На рис. 4 даны для иллюстрации кривые, снятые в лаборатории ВЭИ на трансформаторе 38 кВ. По оси ординат отложены амплитуды напряжения относительно земли в процентах от амплитуды падающей периодически затухающей волны, а по оси абсцисс — номера катушек. Кривая A — нейтраль заземлена, первичная обмотка разомкнута, период колебания падающей волны 45 мс. Кривая B — нейтраль изолирована, первичная обмотка закорочена, период — 60 мс. Прямые QM и QN соответствуют распределению напряжений для стационарного режима.

Возвращаемся к каскаду. При всех промежуточных резонансных частотах на какой-либо из трансформаторов будет накладываться напряжение, также большее $1/2 E_A$. Сама же амплитуда периодических волн, например для 400-кВ линии может достичь $11/2$ МВ. В случае резонанса напряжений по аналогии с приведенными выше данными мы можем ожидать до 5—7 МВ на каждом трансформаторе.

При апериодической волне на верхний трансформатор в момент прохождения фронта упадет около полного напряжения волны (входная емкость верхнего трансформатора мала в сравнении с емкостью U), а затем эта величина напряжения будет накладываться попеременно на оба трансформатора, уменьшаясь с каждым последующим размахом.

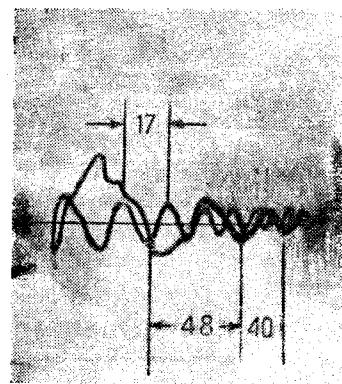
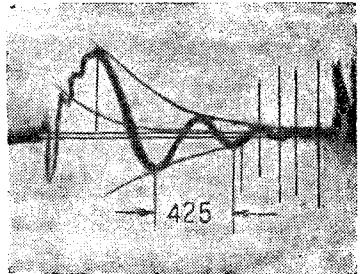


Рис. 5

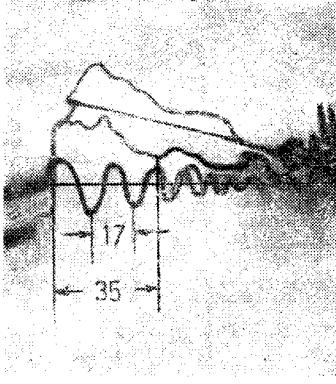


Рис. 6

в которой AB представляет собой самоиндукцию ($Z_{AB} > 0$), а BO — емкость ($Z_{BO} < 0$). В этой области будет такая частота, при которой произойдет резонанс напряжений, и напряжение, накладывающееся на каждый трансформатор, будет

1. Если исходить из схемы рис. 2, то

$$Z = \psi(\omega) = \lambda \frac{\tanh \left[\sqrt{\frac{1}{\omega^2 - \frac{K}{C} - \frac{1}{LC}}} \right]}{l \omega},$$

причем $L = \frac{L_s}{l}$, $C = \frac{C_s}{l}$, $K = K_s \cdot l$; здесь l — длина обмотки, L_s — самоиндукция, C_s — емкость ее относительно корпуса, K_s — приблизительная емкость верхнего слоя витков относительно нижнего. Величина $\lambda = +1$ при $\omega^2 > \frac{1}{KL}$ и $\lambda = -1$ при $\omega^2 < \frac{1}{KL}$; для радиальных нужно принять их арифметические значения.

Из формулы видно, что при $\omega^2 = \frac{1}{KL}$ величина Z меняет знак, переходя через бесконечность ($\tanh \infty = 1$), что соответствует резонансу тока. Вывод формулы громоздок для данной статьи и будет приведен в другой работе.

Чтобы равенство напряжений на трансформаторах было всегда обеспечено, во избежание резонанса напряжений схема замещения участка AB должна быть такой же, как и схема замещения участка BO . Комплекс $Z_{BO} = j \cdot \varphi_I(\omega)$ должен равняться комплексу $Z_{AB} = j \cdot \varphi_{II}(\omega)$ при всех значениях ω . Если же функции φ_I и φ_{II} не тождественны, то существует частота, при которой они имеют разный знак и одинаковое абсолютное значение. Одна из них будет в этот момент характеризовать емкость, другая — самоиндукцию, суммарный же импеданс будет равен нулю. Это и есть случай резонанса напряжений.

При некоторых двух отличающихся друг от друга частотах какая-нибудь из двух функций φ превратится в бесконечность, и при этих частотах напряжение упадет целиком на один из трансформаторов (резонанс тока). Только при идентичности звеньев каскада их импедансы одновременно переходят через бесконечность, а также через границу между самоиндукцией и емкостью.

В докладе проф. Чернышева указывается, что для равномерного распределения напряжений можно приключить к трансформаторам искусственные емкости. О емкости промежуточного трансформатора в докладе не упоминается.

Предположим, что мы применили подобный метод для компенсации емкости U , приключив параллельно верхнему трансформатору емкость W , равную емкости U (рис. 3). Функция φ_I все же не будет идентичной функции φ_{II} . Произойдет это вследствие наличия взаимоиндукции между обмотками промежуточного трансформатора и между обмотками верхнего трансформатора.

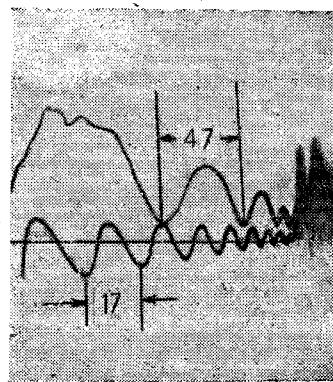


Рис. 8

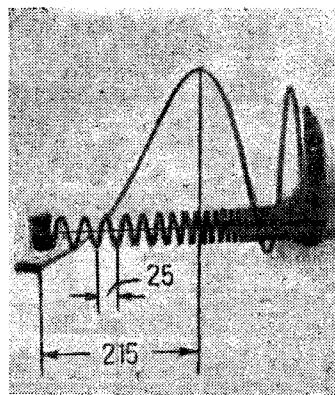


Рис. 9

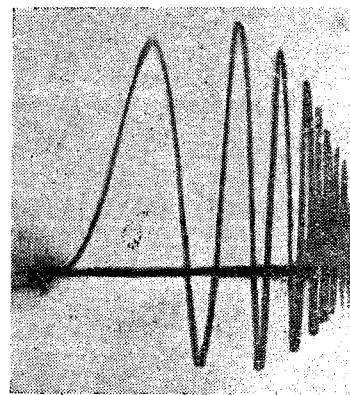


Рис. 10

Опытные и теоретические данные показывают, что частота собственных колебаний трансформатора, его точки резонансов и все свойства при высоких частотах сильно меняются в зависимости от того, является ли обмотка низкого напряжения разомкнутой, замкнутой на тот или иной приемник, или закороченной.

Приведем данные, полученные в лаборатории ВЭИ на 30-кВ трансформаторе. Рис. 5, 6, 7, 8 представляют осциллограммы напряжения относительно земли, снятые катодным осциллографом на средней части высоковольтной обмотки при падении апериодической волны, длиной 20 км. Цифры на осциллограммах указывают микросекунды. Остальные данные сведены в таблицу.

Таблица 1

Рису- нки	Нейтраль	Обмотка низкого на- пряжения	Основ- ная гар- моника (микро- секунды)	Примечание
5	Заземлена	Разомкнута	~ 45	Соседние перио- ды не равны друг другу вслед- ствие интерфе- ренции высших гармоник ¹
6	Заземлена	Закорочена	35	
7	Изоли- рована	Разомкнута	425	Снято при двух развертках вре- мени. Выделяет- ся высшая гар- моника порядка одиннадцатой
8	Изоли- рована	Закорочена	47	

На рис. 6 снята и сама падающая волна. Для иллюстрации приведен также пример падения периодической резонансной волны. На рис. 9 дан вид такой волны, в данном случае с периодом колебания 425 μ s. На рис. 10 представлена соответствующая этой волне запись колебания напряжения, снятого на 42-й по счету от линейного конца катушке (всего 55 катушек), причем нейтраль изолирована, обмотка низкого на-

пряжения разомкнута. Из осциллограммы видно, что амплитуда колебаний в начале процесса растет; это указывает на наличие резонанса.

На рис. 11, 12 и 13 снято распределение максимумов напряжений вдоль обмотки при падении периодических затухающих волн. По абсциссам отложены порядковые номера катушек (счет от линейного конца). По ординатам отложены

максимумы напряжений в процентах к амплитуде падающей волны, снятые измерительным разрядником. Кривые соответствуют следующим случаям.

Таблица 2

Ри- сунки	Кри- вая	Нейтраль	Обмотка низ- кого напря- жения	Период па- дающей вол- ны в микро- секундах
11	A B	Заземлена	Разомкнута Закорочена	42
12	A B	Изолирована	Разомкнута Закорочена	425
13	A B	Изолирована	Разомкнута Закорочена	5,2

Как видим, характер кривых резко меняется при замыкании и размыкании обмотки низкого напряжения, хотя падающая волна остается одной и той же.

На рис. 14 сняты резонансные кривые на 26-й катушке при незаземленной нейтрали. Ординаты те же, что и у предыдущих кривых, абсциссами служат частоты падающих волн. Кривая A — обмотка низкого напряжения — замкнута. Кривая B — разомкнута. Максимум последней кривой соответствует не основной гармонике, период которой равен 425 μ s (табл. 1 и 2), а одиннадцатой². Сравнивая кривые, мы видим, что достаточно замкнуть или разомкнуть обмотку низкого напряжения, чтобы сильно изменить характер резонансных кривых и положение максимума.

Данных относительно влияния замыкания первичной обмотки на распределение максимальных напряжений для трансформаторов порядка 220 кВ в литературе не имеется. Что же касается частоты собственного колебания, то при замыкании первичной обмотки наблюдались возрастания в пять раз и выше³.

Изменение свойств трансформатора вследствие изменения характера внешней цепи обмотки низкого напряжения можно упрощенно объяснить как изменение величины распределенной самоиндукции высоковольтной обмотки в теоретической схеме трансформатора (например изменение L в схеме рис. 2). При разомкнутой обмотке низкого напряжения в процессе колебания участвует вся самоиндукция рассеяния высоковольтной

¹ Положение максимумов резонансных кривых точнее определяет период собственных колебаний, чем осциллограммы, где может влиять интерференция высших гармоник. Однако возможна некоторая ошибка (согласно контрольным опытам $\pm 10\%$) от того, что абсциссы вычислялись по данным констант генерирующего контура, полученным не при высокой, а при низкой частоте.

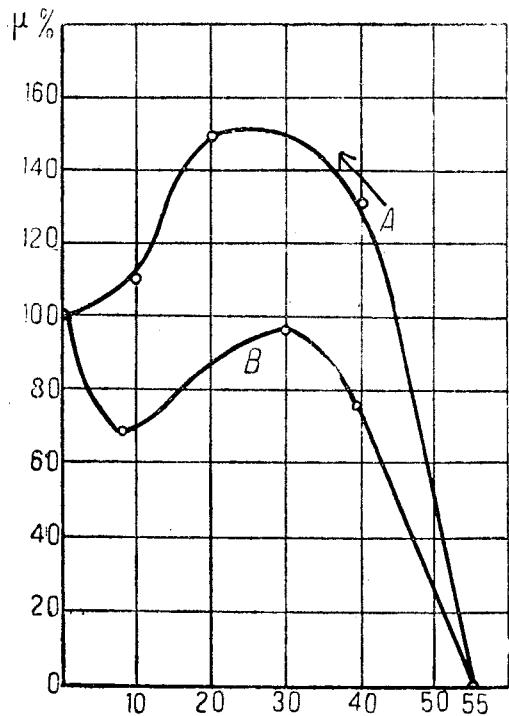
² Fallou, Sur tensions dans les transformateurs. Rev. Gen. de l'Electricite.

³ В трансформаторах частоты гармоник собственных (свободных) колебаний могут относиться не как целые числа.

обмотки, при замыкании же низковольтной обмотки часть поля рассеяния в той или иной степени уничтожается встречным полем этой обмотки. Если принять схему рис. 2, то частота основной гармоники определится формулой:

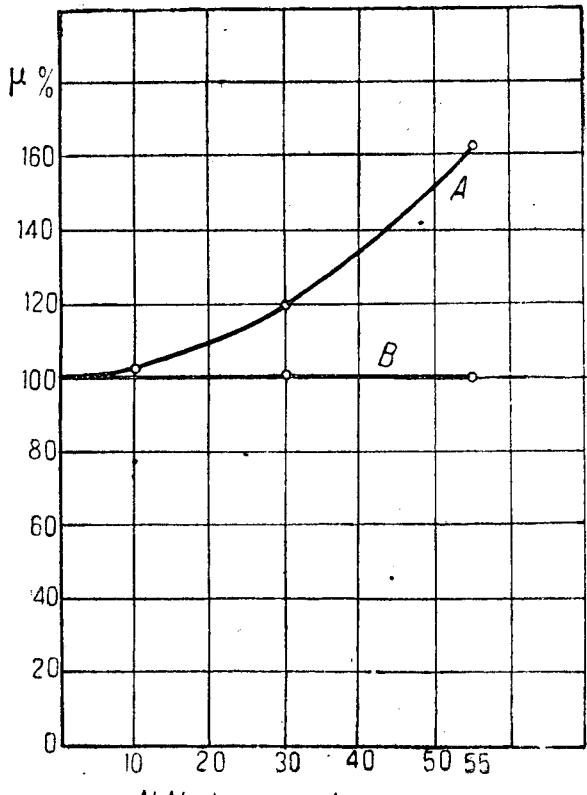
$$\omega_1 = \frac{m}{\sqrt{L_s C_s}} \quad 1,$$

где m — некоторый коэффициент.



НН катушек

Рис. 11

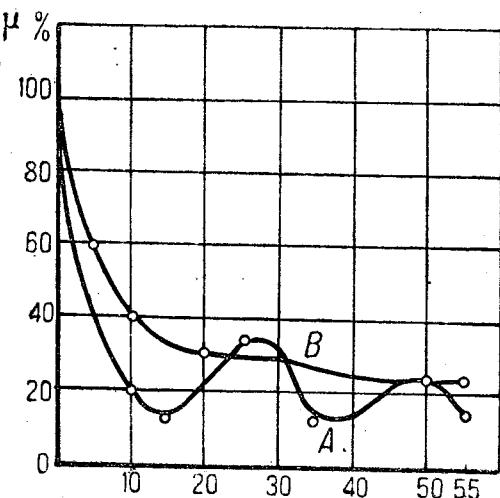


НН катушек

Рис. 12

¹ Точнее $\omega_1 = \frac{m}{\sqrt{L_s (C_s + aK_s)}}$, но aK_s мало в сравнении с C_s .

При замыкании и размыкании концов низковольтной обмотки емкость C_s остается неизменной и L_s меняется пропорционально квадрату изменения ω_1 . Следовательно, согласно табл. 1, например, при заземленной нейтрали, самоиндукция изменяется в $(45:35)^2 = 1,66$ раза.

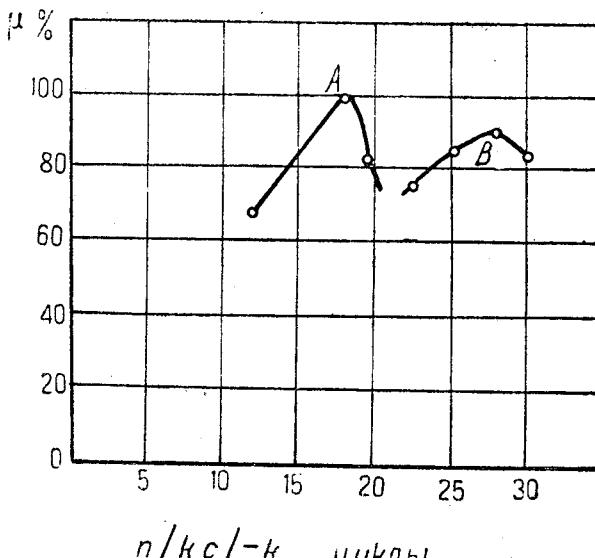


НН катушек

Рис. 13

Обмотку низкого напряжения верхнего трансформатора каскада, как увидим ниже, можно рассматривать как разомкнутую, нижнюю — как закороченную. Поэтому самоиндукции при высокой частоте сильно разнятся, даже если оба трансформатора одинаковы. По сравнению с тем, что мы наблюдали в отношении величины L_s , здесь различие много больше, так как последняя не включает действия главного потока ¹.

В каскаде же у верхнего трансформатора этот поток существует, у нижнего в той или иной степени отсутствует, что увеличивает неравенство между самоиндукциями. Наличие двух главных потоков — неблагоприятный фактор в отношении перенапряжений; небольшие отличия в размагничающих по-



н/к с/к циклы

Рис. 14

лях низковольтных обмоток вызывают уничтожение равновесия между магнитными энергиями включенных трансформаторов в момент перенапряжений.

Рассмотрим подробней внешние цепи первичных обмоток.

¹ Это вытекает из математического анализа и ясно физически; на колебаниях внутри обмотки главный поток не влияет, так как, будучи по всей длине одинаковым, он не вызывает перетекания энергии из одних частей обмотки в другие.

Первичная обмотка нижнего трансформатора может быть замкнута или на генератор или на сеть низкого напряжения. Генератор можно рассматривать как чисто волновое сопротивление величиной 700—1 000 Ω ¹. Сеть представляет собой волновое сопротивление величиной порядка 400 Ω или, если много параллельных цепей, еще меньшего порядка. Что же касается низковольтной обмотки верхнего трансформатора, то она замкнута на самоиндукцию рассеяния промежуточного трансформатора.

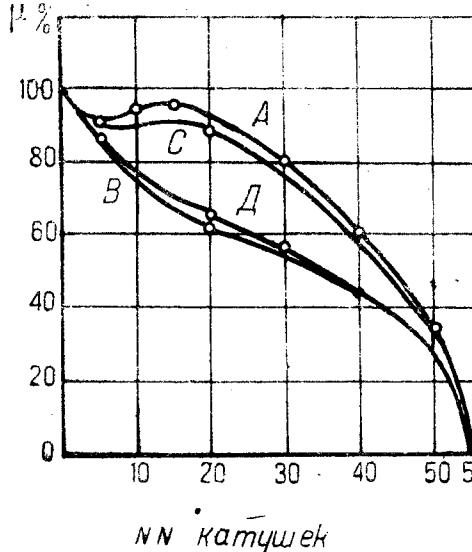


Рис. 15

Эта самоиндукция при высокой частоте может быть порядка десятых генри. Опыты с трансформатором 38/6 кВ показали, что при заземленной нейтрали замыкание первичной обмотки на сопротивление порядка 500 Ω равносильно замыканию накоротко, а замыкание на самоиндукцию порядка десятков миллинанси почти равносильно разомкнутому состоянию. Приводим некоторые данные.

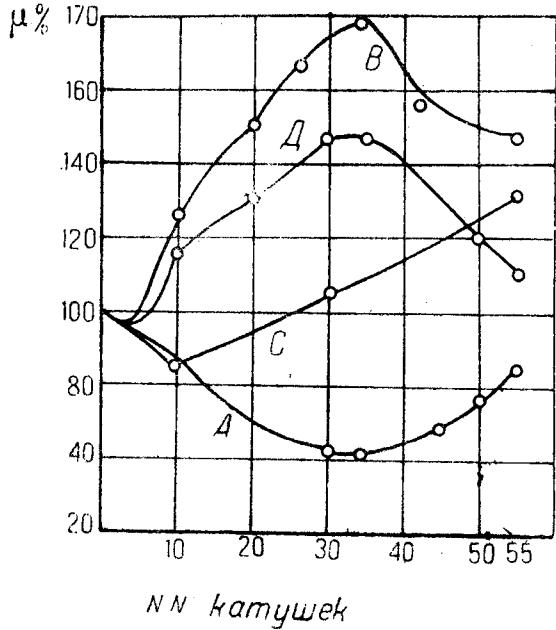


Рис. 16

На рис. 15 даны кривые распределения по обмотке максимальных напряжений. На рисунке нейтраль заземлена. Кривая A — первичная обмотка—разомкнута, кривая B — закорочена, кривая C — замкнута на самоиндукцию в 21,4 мН, кривая D — замкнута на безиндукционное сопротивление в 500 Ω . Как видно¹ кривая C почти совпадает с кривой A, а кривая D совпадает с кривой B.

¹ Boehne, Tr. of AIEE, октябрь 1930

Трансформаторы, включенные в наш каскад, имеют обмотки, присоединенные концом к корпусу, следовательно, они ведут себя как трансформаторы с заземленной нейтралью.

Для полноты на рис. 16 даны также кривые для изолированной нейтрали; причем кривая A — первичная обмотка — разомкнута, кривая B — закорочена, кривая C — замкнута на самоиндукцию в 111 мН, кривая D — на сопротивление в 500 Ω .

Кривые рис. 15 и 16 соответствуют падению волны круглого фронта, длиной в 20 км (~60 μ S).

Таким образом обмотка низкого напряжения верхнего трансформатора приближается к разомкнутому состоянию, нижнего — к состоянию замыкания накоротко. В то время как в нижнем трансформаторе главный поток почти уничтожен, в верхнем трансформаторе он достигает полной величины.

Несмотря на равенство емкости U и W , участки AB и BO будут по отношению к высоким частотам весьма сильно различаться друг от друга. Никаким приключением емкостей нельзя компенсировать это неравенство. Теоретически его можно компенсировать лишь приключением схем, по своей сложности аналогичных самой эквивалентной схеме трансформатора.

Приключение емкостей не предотвратит возникновения неравномерности распределения напряжения и резонанса напряжений не только по указанной выше причине. Для простоты мы приняли, что промежуточный трансформатор играет роль емкости, и при том неизменной емкости. В действительности это не так. Достаточно рассмотреть, например, ток, текущий через емкость C_B , которую имеет некоторый средний виток S относительно обмотки Pq (рис. 1). Этот ток, прежде чем пройти через емкость C_B , течет через самоиндукции mS и nS . Лишь в двух случаях промежуточный трансформатор можно рассматривать как емкость: при весьма высоких частотах, когда самоиндукции не пропускают тока и он течет только по емкостям, а при низких частотах, когда ток распространяется по обмотке, как по обкладке конденсатора. При высокой частоте емкость U выражается формулой „входной емкости“:

$$U = \sqrt{C_u \cdot K_u}.$$

При низкой же частоте емкость U равна $C_u \cdot l_u$, где l_u — длина обмотки. Отношение

$$\frac{C_u \cdot l_u}{\sqrt{C_u \cdot K_u}} = l_u \sqrt{\frac{C_u}{K_u}} = z_u$$

для обмотки данного типа должно быть порядка $20 + 40$.

Это уменьшение емкости при высоких частотах обусловливается тем, что токи высокой частоты не проходят через самоиндукции витков. Вследствие этого самоиндукции можно считать как бы разомкнутыми, получается схема „цепочки емкостей“, которой и соответствует вышеупомянутая формула входной емкости.

По отношению к обмоткам высокого напряжения эта формула не вызывает возражений, так как установлено, что при частотах фронтов и быстро колеблющихся периодических волн токи не проходят через витки. Однако опыт показывает, что это явление присуще и обмоткам с меньшим „числом витков на единицу длины“, т. е. обмоткам, к типу которых относится обмотка mn (рис. 1).

В лаборатории ВЭИ был проделан следующий эксперимент. На трансформатор 38/6 кВ бросались волны, которые срезались искровым разрядником на зажимах высоковольтной обмотки трансформатора. Нейтрали обеих обмоток были заземлены. Оказалось, что на противоположном нейтральном конце первичной обмотки разрядник замерял напряжение относительно земли, равное приблизительно $1/5$ от амплитуды среза волны. Такую же часть ($1/5$) составляло расстояние проводов обмотки низкого напряжения до сердечника от расстояния высоковольтной обмотки до сердечника, и следовательно, в таком же отношении находились емкости обмоток относительно земли.

Влияние магнитной индукции со стороны обмотки высокого напряжения было исключено, так как в проводах обмотки ток не развивался благодаря кратковременности импульса (это также было проверено экспериментально). Таким образом при заземленном конце первичной обмотки другой ее конец принимал потенциал, обусловленный электростатической индукцией со стороны вторичной обмотки. Значит, выравнивающие токи не могли пройти через самоиндукции низковольтной обмотки, несмотря на ее относительно малое „число витков на сантиметр“.

¹ Оно больше, чем у обычных высоковольтных обмоток (где оно порядка $10 + 20$), благодаря меньшим значениям K .

Из изложенного видно, что приключением емкостей к схеме каскада нельзя скомпенсировать отрицательного влияния промежуточного трансформатора. Для высоких и низких частот требуются совершенно другие емкости.

При средних частотах промежуточный трансформатор вообще нельзя рассматривать как емкость. Его схемой будет сложная схема из самоиндукций и емкостей. Отсюда опять ясно, что различие между участками AB и BO (рис. 3) не сможет быть уничтожено добавлением емкостей.

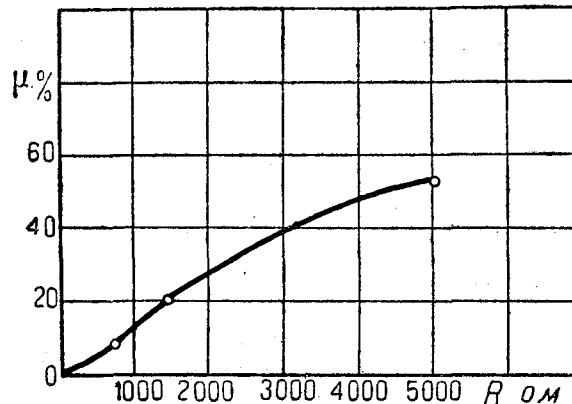


Рис. 17

Теперь рассмотрим тот случай, когда нейтраль каскада не заземлена глухо. Кожух нижнего трансформатора согласно чертежам, приложенным к докладу проф. Чернышева 1, заземлен, поэтому устройство, присоединяющее нейтраль к земле, должно быть включено между кожухом и этой нейтралью. Известно, что отземление или приземление нейтрали изменяет частоту собственного колебания трансформатора в 5—10 раз (сравни, например, осциллограмму рис. 7 и 5) 2.

Изменяются и характеристики распределения напряжения по обмотке и другие характеристики. При незаземленной нейтрали напряжение ее поднимается до 200% от амплитуды падающей волны. Однако и при неглухом заземлении через сопротивление напряжение нейтрали начинает возрастать уже при сопротивлении порядка 500 Ω , и следовательно, начинает изменяться собственная частота трансформатора.

На рис. 17 дана кривая напряжения нейтрали в процентах от амплитуды волны (волна апериодическая, длиной 20 km) в зависимости от величины заземляющего сопротивления (снято для однофазного трансформатора 86/6 kV, обмотка низкого напряжения закорочена).

Для случая падения волны по трем проводам ординаты надо устроить. Сопротивление, шунтирующее заземляющую самоиндукцию (последнюю при наличии шунта можно считать не влияющей на процесс перенапряжений), должно быть в несколько раз выше 50-периодного реактанса самой самоиндукции, иначе токи короткого замыкания разрушат сопротивление (конструирование сопротивлений на полный ток короткого замыкания, как и указывается проф. Чернышевым, не приемлемо). Таким образом сопротивление может быть порядка 1 000—3 000 Ω (реактанс самоиндукции часто должен быть порядка реактанса прямой последовательности цепи). При подобных значениях сопротивлений совокупность обмотки нижнего трансформатора и заземляющего устройства (т. е. участок BO —рис. 1) представляет собой иную схему по сравнению с тем, чем является обмотка верхнего трансформатора, нейтраль которой приключена прямо к кожуху, т. е. к участку AO . Как и в предыдущих случаях, нельзя добиться тождественности приключением емкостей, возможна сильная неравномерность в распределении напряжений и схема одного участка способна при некоторых частотах образовать резонансный контур со схемой другого участка. Так как по отношению к емкости обмотки нижнего трансформатора относительно корпуса заземляющее сопротивление включено параллельно, то благодаря большой его величине оказываемое им демпфирующее действие не будет значительным.

Предлагаемый способ заземления нейтрали нельзя признать удачным также и по следующей причине. Если у обычного трансформатора с неглухо заземленной нейтралью напряжение нейтрали при коротком замыкании поднимается примерно до $1/n$ от фазного напряжения, то по отношению к нижнему

трансформатору нашего каскада при том же заземляющем устройстве подъем напряжения достигает $2/n$. Нейтраль относительно корпуса может при этом получить напряжение превышающее рабочее напряжение нижнего трансформатора. Малая же степень ограничения токов короткого замыкания не приносит существенной пользы.

Схема рис. 2 относительно еще слишком проста по сравнению с тем, что происходит в реальном трансформаторе. Стремясь к большему приближению, мы могли бы принять более сложную схему: тогда бы могло оказаться, что внутри самого трансформатора создаются резонансы напряжений, другими словами, импеданс каждого отдельного трансформатора только мог бы становиться бесконечностью, но при некоторых частотах оказался бы нулем. По существу ничего бы изменилось; прибавилось бы еще несколько частот, вызывающих резкую неравномерность распределения напряжений между трансформаторами.

Теперь перейдем к вопросу о тех перенапряжениях, которым подвергается промежуточный трансформатор.

Одна из обмоток этого трансформатора должна быть изолирована от другой и от корпуса на рабочее напряжение каждого из главных трансформаторов, включенных в каскад. Мощность промежуточного трансформатора равна мощности каждого из этих трансформаторов. Стоимость его может быть не на многое меньше стоимости каждого из главных трансформаторов, если считать даже, что по отношению к перенапряжениям он находится не в худших условиях по сравнению с последними.

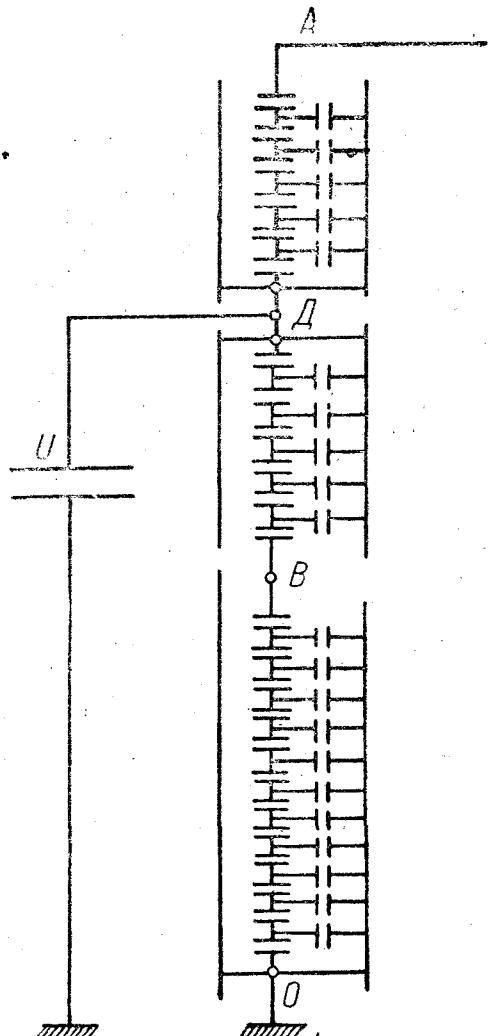


Рис. 18

В момент падения волны корпус верхнего трансформатора, а с ним и точки m и n (рис. 1) получают резкий подъем напряжения относительно земли, амплитуду которого обозначим через E' . Это равносильно падению волны с такой же амплитудой по двум проводам am и bn . Волны одного знака, и когда они встречаются в точке S их амплитуда удвоится,

¹ Ibid.² См. также Bochne, Ibid, выступление Палуева.

Таким образом, поскольку расчет изоляции определяется условиями перенапряжений, то даже при предположении, что $E^1 = 1/l_1 E_A$ (E_A — напряжение волны), промежуточный трансформатор должен быть рассчитан на все напряжение E_A .

При этом в трех местах — у концов и в середине — потребуется усиление изоляции витков. Межвитковые перенапряжения благодаря малой межвитковой емкости будут весьма сурьими. Вообще потребуется специальная конструкция обмотки промежуточного трансформатора. Но, к сожалению, проект этого совершенно не касается, хотя произведена калькуляция стоимости промежуточного трансформатора, причем взято 80% приблизительной стоимости аналогичного по мощности к напряжению высоковольтного трансформатора с заземленной нейтралью.

Если учесть все сказанное выше, нужно признать эту стоимость явно преувеличененной.

Проф. Чернышев исчисляет стоимость всего каскада, исходя из предположения, что оба главных трансформатора будут выполнены так, как если бы каждый предназначался для работы на линиях, соответствующих его рабочему напряжению¹.

В таком случае думают, что в каскаде каждый из них будет в условиях, обычных для одиночного трансформатора. Но этого, как мы видели, нельзя ожидать. Таким образом вывод проф. Чернышева о том, что каскад, устроенный по предложенной им схеме, будет стоить дешевле (приблизительно на 15%) соответственного трансформатора, выполненного в одной единице, нельзя считать обоснованным.

Проф. Чернышев указывает, что можно получить большую экономию на изоляции главных трансформаторов, если присоединить к корпусу не конец обмотки, а ее середину. Действительно, при рабочем режиме напряжения, приходящиеся на главную изоляцию, при этом уменьшаются вдвое. Однако это справедливо только для рабочего режима. Достаточно разобрать лишь момент прохождения крутого фронта волны, чтобы убедиться в этом. Все самоиндукции мы можем считать в этот момент разомкнутыми и поэтому приходим к схеме, изображенной на рис. 18 (AB — верхний трансформатор, BO — нижний; для наглядности корпус верхнего трансформатора изображен разорванным посередине). Участок AD можно заместить входной емкостью половины обмотки, участок DB — входной емкостью другой половины обмотки и BO — входной емкостью нижнего трансформатора, U — емкость промежуточного трансформатора. Схема замещения изображена на рис. 19. Входная емкость C_{bx} почти не зависит от длины обмотки и определяется выражением $\sqrt{K \cdot C}$. Так как самоиндукция обмотки mn (рис. 1) промежуточного трансформатора мече самоиндукций обмоток AO_1 и BO_2 главных трансформаторов благодаря меньшему числу витков, то при тех крутизнах фронта (и при тех частотах волн), при которых C_{bx} еще определяется выражением $\sqrt{K \cdot C}$, емкость U — уже достигает такой величины, как если бы обмотка была силошной обкладкой конденсатора². Действительно, обмотка mn будет пропускать ток при более кругих фrontах и при этом от начала процесса раньше, чем обмотки AO_1 и BO_2 . Поэтому нужно считать, что в некоторых моментах емкость U много больше, чем C_{bx} . Стало быть (рис. 19), на участок AD будет накладываться все напряжение. Наконец, может случиться, что при некоторых частотах участок AD будет представлять собой самоиндукцию, участок DO — емкость, что создает условия для возможности резонанса и что не может быть устранено приключением емкостей по причинам, аналогичным приведенным выше.

Что касается вопроса о межвитковых напряжениях, то здесь опять-таки достаточно ограничиться рассмотрением момента прохождения фронта. В этот момент напряжение относительно земли распределяется по обмотке согласно формуле³.

$$E = E_A \frac{\sinh \alpha \cdot \frac{x}{l}}{\sinh \alpha},$$

где $\alpha = \sqrt{\frac{C}{K}}$, l — длина обмотки, C и K — поперечная и продольная емкости, отнесенные к единице длины).

¹ Интерполируя данные, касающиеся обычных трансформаторов в 160 и 220 кВ, проф. Чернышев считает, что установленное киловольтампера для трансформатора в 190 кВ, откуда исчисляется стоимость главных трансформаторов каскада, дающего линейное напряжение в 340 кВ. Всю стоимость этого каскада он сравнивает с приблизительной стоимостью трансформатора, выполненного в одной единице того же напряжения (350 кВ) и той же мощности.

² Т. е. достигает величины $C_m l_m$, где C_m — поперечная емкость на единицу длины, а l_m — длина обмотки mn .

³ Blume and Bodagian, Proceedings of AIEE, № 2, 1919.

Градиент, отнесенный к единице длины, выразился

$$\frac{dE}{dx} = E_A \cdot \frac{\alpha}{l} \cdot \frac{\cosh \alpha \cdot \frac{x}{l}}{\sinh \alpha}.$$

Он будет иметь максимум у линейного конца обмотки при $x = l$.

$$\left(\frac{dE}{dx} \right)_{\max} = E_A \cdot \frac{\alpha}{l} \cdot \operatorname{tgh} \alpha.$$

Величина α порядка $10 \div 20$, причем $\operatorname{tgh} \alpha \approx 1$; следовательно

$$\left(\frac{dE}{dx} \right)_{\max} = E_A \cdot \frac{\alpha}{l} = E_A \cdot \sqrt{\frac{C}{K}}.$$

Сравним теперь случаи присоединения к корпусу середины обмотки и ее конца. Из последней формулы видно, что уменьшение длины обмотки не сказывается на максимальном градиенте, который от l не зависит. Весь смысл сообщения середине обмотки потенциала корпуса состоит в том, чтобы уменьшить изоляционные расстояния до корпуса. Но это вле-

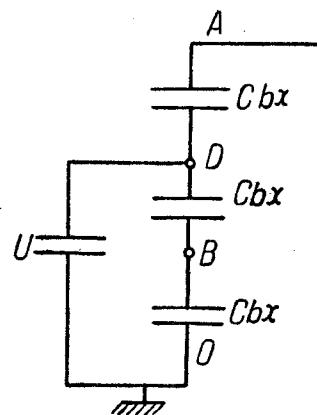


Рис. 19

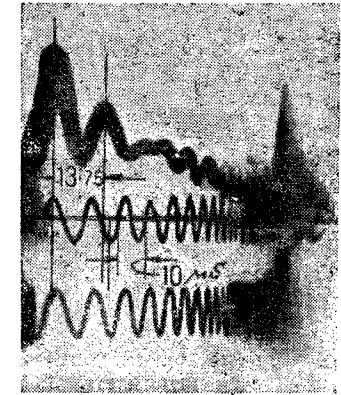


Рис. 20

чет за собой возрастание емкости на единицу длины C . Поэтому (см. формулу), присоединив к корпусу не конец, а середину обмотки, мы увеличиваем максимальные градиенты приблизительно в $\sqrt{2}$ раз.

Наконец, нужно принять во внимание, что, давая корпусу трансформатора потенциал середины его обмотки, мы тем самым повышаем расчетное напряжение промежуточного трансформатора в $1\frac{1}{2}$ раза. Учитывая те описанные выше явления, происходящие в промежуточном трансформаторе при перенапряжениях, промежуточный трансформатор будет в таком случае не так уж далек от того, что представляет собой единичный трансформатор, заменяющий всю фазу каскада.

Проф. Чернышев упоминает о том, что к проектируемому каскаду можно применить внутреннюю защиту. Однако, не зная схемы защиты, нельзя судить о степени ее эффективности.

Таким образом, если осуществить предложенную схему каскада, мы создадим в конце линии резонансный контур, звенья которого будут подвержены сильнейшим перенапряжениям и в который по условиям рабочего режима нельзя ввести демпфирующие сопротивления. У нас интерес к исследованию и изучению конструкций испытательных установок невелик, и, в частности, нет достаточных данных об эксплуатации их в лабораториях. Тем не менее известны случаи аварий каскадных установок. Испытательные установки не подвержены атмосферным перенапряжениям и тем перенапряжениям, которые возникают при разрыве больших мощностей. При испытании объектов на пробой испытательные трансформаторы всегда защищают большими сопротивлениями и, кроме того, в лабораторной практике вообще избегают делать такие испытания при полном напряжении испытательного устройства. Таким образом техника эксплуатации испытательных установок не могла бы дать материала для суждений о силовых каскадах.

В следующей статье мы обсудим вопрос о том, как теоретически можно добиться того, чтобы при волнах произвольного вида на каждую из двух ступеней каскада не могло упасть напряжение большее, чем половина напряжения волны.

Последнее является необходимым условием с точки зрения экономической, иначе непомерно возрастет стоимость всего каскада, а также зданий и ограждений.

Остановимся еще на следующем моменте. При исследовании явлений в каскаде необходимо изучать действие периодических волн не только потому, что амплитуды последних могут достичь значений пятикратных от фазового напряжения линии¹, но и потому, что всякая падающая волна может быть рассматриваема как сумма бесконечного числа периодических волн. В лаборатории ВЭИ при падении апериодической волны на контур, составленный из самоиндукции L_k защитной катушки и из входной емкости трансформатора, максимальное напряжение на трансформаторе оказалось на 50—60% большим амплитуды волны. Даже при шунтировании катушки сопротивлением, равным трехчетырех

рекратному значению от $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{L_k}{C_{av}}}$, еще оставало превышением в 25%. Подобное явление наблюдалось при разных значениях L_k . При этих опытах осциллограф указывал на колебания, соответствующие резонансной частоте (для иллюстрации приведена осциллограмма рис. 20). Другими словами, среди гармонических составляющих апериодических волн всегда находилась такая, которая оказывалась резонансной с контуром, и хотя волна была апериодической, все же возникали колебания и наблюдалось увеличение амплитуды. Из вышесказанного ясно, что проблема перенапряжений в каскаде трансформаторов требует еще большого теоретического и лабораторного изучения и должна мобилизовать вокруг себя внимание научно-исследовательских электротехнических институтов.

О типе трансформаторов для электропередач на 380 кВ *

Г. Г. Швед

Лаборатория высокого напряжения
проф. А. А. Смуррова

В связи с намеченным осуществлением единой высоковольтной сети Союза становится актуальным вопрос о постройке мощных трансформаторов для электропередач на 380 кВ. Если не считаться с габаритами и весами, то предел напряжению ставят экономические соображения, а предел мощности трансформатора определяется допустимыми напряжениями в меди от усилий при коротком замыкании.

Kübler в своем докладе на международной энергетической конференции 1930 г. в Берлине простым расчетом показал, что предельная мощность, определяемая допустимыми напряжениями в меди (при простой концентрической обмотке и при реактивности трансформатора 10—15%), составляет на один стержень около 40 МВА. Расчет Kübler базировался на бесконечно большой мощности сети. Так как для трансформатора подобной мощности такое предположение уже неправильно, то мощность трансформатора может быть еще увеличена. Размеры трансформаторов подобной мощности при очень высоких напряжениях получаются настолько велики, что трансформатор не вмещается в железнодорожный габарит и требует перевозки в разобранном виде. Так как сборка на месте установки требует специального дорогостоящего оборудования, которое под силу иметь только заводу, изготавливающему подобные трансформаторы, то желательно перевозить трансформаторы в собранном виде в баке, заполненном маслом (без изоляторов и со снятыми радиаторами в случае трансформаторов с естественным масляным охлаждением). В исключительных случаях при перевозке трансформаторов предельных мощностей на очень высокие напряжения практикуется перевозка собранного трансформатора во временному баке, вмещающемся в железнодорожный габарит. В этом случае постоянный бак перевозится в разобранном виде, на месте установки он собирается и в него помещается трансформатор. Отсюда ясно, насколько важным является использование всех возможностей для уменьшения габаритов трансформаторов. Трансформаторостроение сегодняшнего дня, несомненно, имеет ряд достижений в этом направлении. Достаточно в качестве примера указать, что благодаря применению барьеров для изоляции обмотки высокого напряжения трансформаторов стержневого типа от ярма (в осевом направлении) фирма AEG за период времени с 1923 по 1930 г. сумела удвоить предельную мощность трансформаторов на 100 кВ, вписываяющихся в железнодорожный габарит.

На рис. 1 изображена сплошной кривой зависимость предельной мощности от рабочего напряжения для вмещающихся в железнодорожный габарит трехфазных трансформаторов пятистержневого типа с искусственным циркуляционным охлаждением (при использовании барьеров в масле при специальной форме бака²). Экстраполируя (см. пунктирную часть

кривой), получаем предельную мощность трехфазного пятистержневого трансформатора на 380 кВ порядка 30—40 МВА (без учета вопроса о возможности размещения на крыше бака трех вводов на 380 кВ). Для выполнения однофазных трансформаторов предельных мощностей возможно использование пятистержневых сердечников трехфазных трансформаторов по схеме рис. 2, так как в этом случае получаются наиболее удобные для вписывания в железнодорожный габарит узкие и длинные баки. В этом случае вопрос о размещении вводов на 380 кВ отпадает, и следовательно, действительно возможен к постройке однофазный трансформатор на 380 кВ мощностью 30—40 МВА, т. е. возможно осуществление трехфазной группы трансформаторов на 380 кВ общей мощностью 90—120 МВА. Такая предельная мощность явно недостаточна для установок на 380 кВ. Для получения же большей мощности при существующих конструкциях необходимо согласиться на сборку трансформаторов на месте установки. Предельная мощность однофазных трансформаторов на

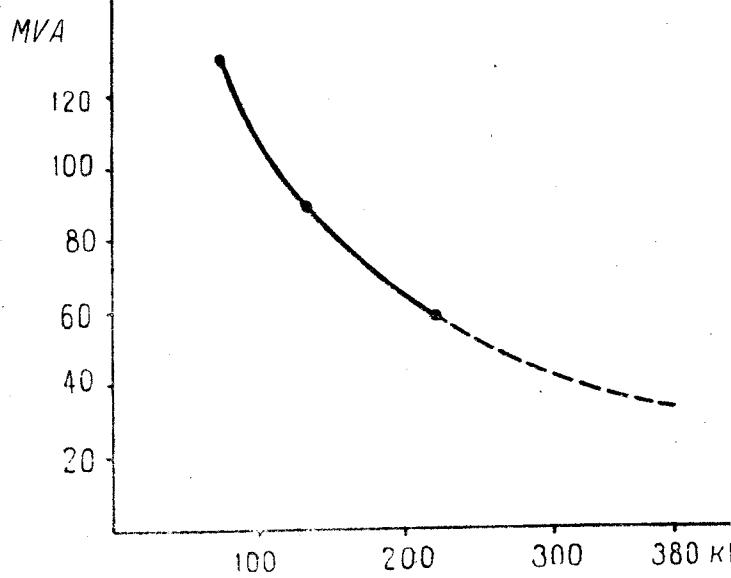


Рис. 1. Зависимость предельной мощности трехфазных пятистержневых масляных трансформаторов, допускающих транспортировку в собранном виде от рабочего напряжения

380 кВ, перевозимых в разобранном виде, при применении конструкции, изображенной на рис. 2, ограниченная только допустимыми механическими напряжениями в меди, составит величину, большую 120 МВА (так как реактивность трансформаторов на 380 кВ будет очевидно больше 15%). Таким образом в этом случае возможно осуществление трехфазных трансформаторных установок на 380 кВ мощностью свыше 360 МВА, что является вполне достаточным для электропередач на 380 кВ. Сборка подобных трансформаторов на месте

¹ См. Палуэв, Trans of AIEE, July 1930.

² В порядке постановки т. Шведа в своей статье весьма рабочую проблему о применении в трансформаторах, ах на 30 кВ изоляции скатых газов, следует отметить, что данные предельных мощностей, приведенные автором по ASEA, в настоящие времена устарели так, как известно, что Siemens-Schuckert построил трансформатор 220 кВ, допускающий перевозку в собранном виде. Так же железнодорожный габарит выше германского на ~ 650 мм, следовательно, в наших условиях эта мощность может быть выше.

³ E. Stenkvist, Modern Transformers, „ASEA Journal“, № 8—10, 1930.

установки, конечно, представит очень большие трудности. При желании же иметь перевозимые в собранном виде трансформаторы на 380 кВ необходим отказ от существующих конструкций.

В настоящее время выдвинуты два варианта трансформатора на 380 кВ, допускающих транспорт в собранном виде: 1) каскадное включение трансформаторов существующих конструкций, предложенное в СССР проф. А. А. Чернышевым¹⁾, 2) предложение инж. Г. Т. Третьяка об отказе от масла и об использовании в качестве изоляции сжатых газов.

Ниже рассматриваются преимущества и недостатки этих двух вариантов.

Каскадные трансформаторы для электропередач на 380 кВ

Каскадное включение трансформаторов, основанное на принципе подразделения изоляции, предложенном Dessanet, давно уже широко применяется для получения очень высоких напряжений в испытательных устройствах. При использовании идей каскадов применительно к мощным трансформаторам прежде всего следует иметь в виду, что применение отдельных элементов каскада в том виде, как они строятся для

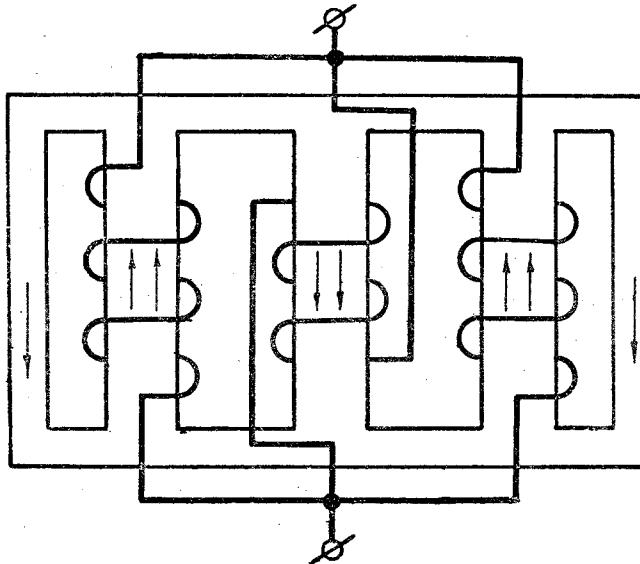


Рис. 2. Схема пятистержневого однофазного трансформатора на предельные мощности

испытательных установок, т. е. несимметричным расположением обмоток для силовых трансформаторов невозможно из-за усилий при коротком замыкании. Таким образом при применении стержневого типа трансформаторов для отдельных элементов каскада все обмотки каждого элемента должны быть цилиндрическими с одинаковыми осевыми размерами. Получающееся при этом увеличение радиальных размеров обмоток, а следовательно, и размеров в плане трансформатора, в большей мере обесценивает основную идею каскада в том виде, как она применяется к испытательным трансформаторам, в которых крепление обмоток благодаря малой мощности установок не представляет затруднений, и следовательно, при взаимном расположении обмоток учитывается только принцип подразделения изоляции. Учитывая указанное обстоятельство, получим, что для трехфазного трехступенчатого каскада, составленного из однофазных трансформаторов, при мощности каждой фазы каскада P MVA потребуются следующие три группы трансформаторов:

I. 3 однофазных трехобмоточных трансформатора на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ, приведенной мощности $\frac{1}{3}P$ MVA каждый.

II. 3 однофазных трехобмоточных трансформатора на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ, приведенной мощности $\frac{2}{9}P$ MVA каждый, изолированных от земли на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ.

¹⁾ См. статью т. Карабасева, «О перенапряжениях в каскаде трансформаторов в этом номере».

III. 3 однофазных двухобмоточных трансформатора на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ,

приведенной мощности $\frac{1}{9}P$ MVA каждый, изолированных от земли на $\frac{254}{\sqrt{3}}$ кВ.

Таким образом общая установленная мощность трансформаторов, входящих в трехфазный трехступенчатый каскад мощностью $3P$ MVA, должна равняться $6P$ MVA, т. е. должна быть вдвое больше мощности каскада.

При этом трансформаторы группы I должны иметь заземленный корпус, трансформаторы группы II должны иметь корпус, изолированный от земли на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ, трансформаторы группы III должны иметь корпус, изолированный от земли на $\frac{254}{\sqrt{3}}$ кВ.

Очевидно, что трансформаторы с корпусом, изолированным от земли, должны иметь естественное масляное охлаждение. Следовательно, предельная мощность каскада определится, если не ограничивать допустимого веса трансформаторов, стоящих на фарфоровых изоляторах, предельной мощностью трехобмоточных однофазных трансформаторов с естественным масляным охлаждением на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ, т. е. предельной мощностью группе II трансформатора от земли. Так как предельная мощность подобных трансформаторов около 40 MVA, то, следовательно, предельная мощность каскада на 380 кВ равна $\frac{3}{2} \cdot 40 \cdot 3 = 180$ MVA, мощность же каждого из трехобмоточных трансформаторов на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ, стоящих на земле, должна быть 60 MVA.

Так как предельная мощность однофазных трансформаторов на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ кВ, может быть значительно больше, то, следовательно, наличие трансформаторов с естественным масляным охлаждением, стоящих на фарфоровых изоляторах, не позволяет полностью использовать возможной мощности трансформаторов, охлаждение которых может быть искусственным. Конечно, теоретически возможна установка на изоляторы и охладительных систем для II и III групп трансформаторов, но в этом случае чрезмерно увеличится и без того большая громоздкость каскада.

Таким образом каскадное включение трансформаторов позволяет увеличить предельную мощность трансформаторной установки на 380 кВ, приблизительно в полтора раза против возможной мощности при трансформаторах нормальной конструкции на 380 кВ в единице, допускающих перевозку в собранном виде.

Однако на пути развития каскадов стоят следующие затруднения: 1) необходимость установки на фарфоровые изоляторы трансформаторов весом по 150–200 т; 2) большая реактивность каскада, которая по предварительным расчетам автора должна составить не менее 30–35%; 3) большая площадь, занимаемая каскадом; 4) трудность защиты от перенапряжений ввиду последовательного включения элементов с разными постоянными; 5) малый к. п. д. каскадов, обусловленный тем, что суммарная мощность трансформаторов, входящих в каскад, значительно больше мощности каскада (например, при трехступенчатом каскаде, как выше указано, суммарная мощность трансформаторов, входящих в каскад, в два раза больше мощности каскада).

Преимуществами каскада являются помимо некоторого увеличения предельной мощности установки: 1) возможность использования существующих конструкций трансформаторов; 2) возможность обойтись без вводов на 380 кВ. Однако здесь же следует заметить, что поставить на все трансформаторы трехступенчатого каскада вводы на 127 кВ, вероятно, не удастся, так как условия работы вводов, подключенных к линии на 380 кВ, не позволяют этого сделать; 3) возможность подключения к промежуточным звеням каскада линий на 220 и на 110 кВ; однако переоценивать эту возможность не следует, так как взаимное расположение отдельных обмоток трехобмоточных трансформаторов, входящих в каскад, диктуемое работой самого каскада, таково, что дополнительная загрузка промежуточных звеньев вызовет сильное взаимное влияние режимов работы электропередачи на 380 кВ и подключенных линий на 220 и 110 кВ.

Трансформаторы для электропередач на 380 кВ со сжатым газом

Предложение идеи каскадов для мощных трансформаторов показывает, что постройка трансформаторов на очень высокие напряжения с масляной изоляцией мало целесообразна. Действительно, если при малых расстояниях пробивное напряжение масла значительно выше, чем воздуха, то при больших расстояниях пробивные напряжения масла и воздуха мало отличаются. Например, при 1000 кВ, т. е. при напряжении, близком к испытательному напряжению трансформаторов на 380 кВ, при электродах игла-плоскость пробивное расстояние для воздуха 3000 мкм, а для масла—1750 мкм, т. е. для пробоя масла требуется расстояние только на 42% меньше, чем для воздуха при атмосферном давлении. Так как пробивное напряжение газов растет с повышением давления, то при применении вместо масла газов, сжатых до 10—15 кг/см², мож-

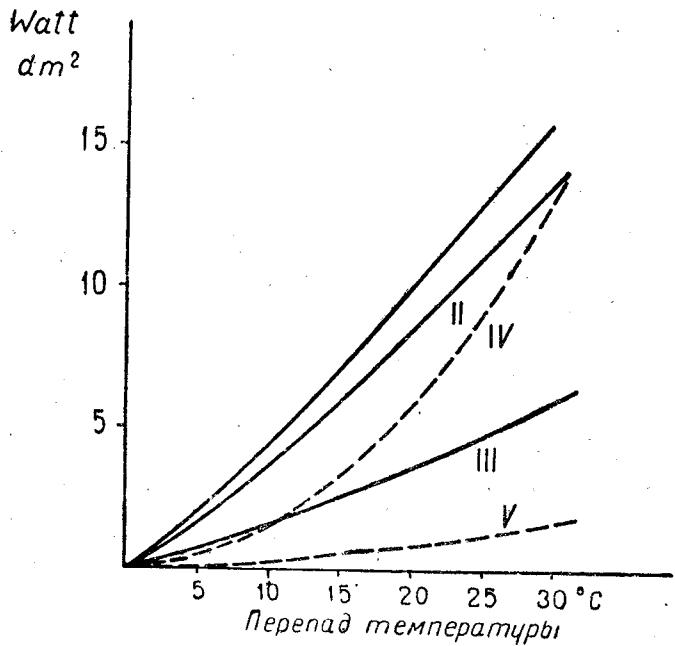


Рис. 3. Конвекция в зависимости от перепада температуры для газов под давлением 17 кг/см²: I—для водо-вода, II—для гелия, III—для азота, IV—сравнительная кривая для масла, V—сравнительная кривая для воздуха при атмосферном давлении.

(Все кривые относятся к вертикальной стенке высотой 50 см).

но ожидать, что пробивные расстояния будут значительно, меньше, чем в масле. Из закона Пашена следует, что пробивное напряжение прямо пропорционально давлению, однако есть основание предполагать, что при давлениях свыше 10 кг/см² и при очень высоких напряжениях будут некоторые отклонения от прямолинейной зависимости. Конечно, вопрос выяснения электрической прочности газов под давлением требует детальных экспериментальных исследований. Однако, если даже основываться на осторожных предположениях Böllsterli¹, что электрическая прочность газов под давлением около 15 кг/см² в три раза больше электрической прочности масла, то и в этом случае вариант трансформаторов со сжатым газом для электропередач на 380 кВ заслуживает большого внимания.

Вторым требованием, кроме высокой электрической прочности, предъявляемым к среде, заполняющей бак трансформатора, является требование хорошей теплоотводящей способности. Следует заметить, что в охлаждении трансформатора доминирующую роль играет конвекция. На рис. 3 приведены (для вертикальной стенки) кривые зависимости от перепада температуры, теплоотдачи за счет конвекции для масла, воздуха при атмосферном давлении и для некоторых газов под давлением 17 кг/см². Как видно из кривых, для практически применяемых перепадов от мели к окружающей среде 10—15° С теплоотдача в азоте приблизительно такая же, как в масле, теплоотдача же в водороде и гелии в два раза лучше, чем в масле. При замене масла сжатыми газами условия охлаждения не ухудшаются, а для некоторых газов даже значительно улучшаются.

Конечно, выбор газа для заполнения трансформаторов будет большого внимания, так как одни газы под давлением имею высокую электрическую прочность, другие—высокие теплоотводящие способности. Применение воздуха неательно ввиду возможного образования озона, применение водорода может служить препятствием его горючести (водородное охлаждение и применяется в настоящее время в многих турбогенераторных установках). Возможно, что годно будет брать газовые смеси.

Малая удельная теплоемкость газов (при давлении 15 кг/см² в 80—100 раз меньше чем масла) не может служить серьезным возражением в отношении их применения, так как трансформаторам, подключенным к мощным электроприводам, не предъявляются требования перегрузочной способности. При аварийных же перегрузках, обусловленных кратковременными замыканиями, устойчивость параллельной работы ли требует применения быстродействующих выключающих с выдержками времени порядка четверти секунды. При таких кратковременных перегрузках не приходится, конечно, говорить о теплоемкости охлаждающей среды, так как на обмотки охлаждается только теплоемкостью меди.

Большие загруднения при изготовлении трансформаторов сжатым газом должно вызвать конструирование баков на боевое давление 10—15 кг/см², вписывающихся в железорожный габарит. Однако это затруднение может быть снято избегнуто при перевозке с баррельных трансформаторов во временных баках. Постоянные же баки на высокое давление могут перевозиться в этом случае в разобранном виде. Такой метод, как выше было указано, часто практикуется в настоящее время для транспорта сверхмощных масляных трансформаторов.

Конечно, при конструировании и при эксплуатации трансформаторов со сжатым газом, как и во всяком новом виде, встретится целый ряд вопросов, потребующих разрешения. С другой стороны, множество деталей, связанных с постройкой и эксплуатацией масляных трансформаторов, отпадают. Прежде всего отпадает все масляное хозяйство, о грандиозности которого можно судить хотя бы по тому, что вес масла потребного для заливки трансформаторов подстанции 500 MVA, измеряется в сотнях и даже тысячах тонн. При замене масла сжатыми газами, например смесью азота и воздуха, может быть будет целесообразно не получение газа откуда-то издалека, а добыча их на месте установки трансформатора, что не должно представлять затруднений.

Вопрос уплотнения баков и охладительных систем, который и в масляных трансформаторах имеет большое значение при замене масла сжатым газом несколько усложняется. Однако и этот вопрос не является непреодолимым препятствием, так как известные конденсаторы без потерь на 150 фирмой Hartmann и Вранг, применяемые в мостах Шерни, заполненные азотом под давлением 12 кг/см², держат давление неизменным в течение полугода и даже больше, почему только требуют дополнительной подкачки. Конечно в большом трансформаторе, соединенном с охладительной системой, вопрос уплотнения несколько сложнее, однако легко разрешается устройством небольшой компрессорной установки, постоянно соединенной с работающими трансформаторами. Точно так же не представляется сложной борьба с колебаниями давления, связанными с колебаниями температуры.

Интересно отметить, что благодаря применению газа вместо масла изменяется соотношение между емкостью витков между собой и на землю, что сравнительно с каскадами даёт более благоприятные результаты в смысле защиты трансформаторов от перенапряжений.

Определение предельной мощности установки трансформаторов со сжатым газом на 380 кВ возможно только после детальных экспериментальных исследований как электрической прочности при высоких напряжениях, так и теплоотводящей способности газов под давлением. При предварительном определении предельной мощности можно исходить из предположения, что электрическая прочность газов под давлением 10—15 кг/см² в три раза больше электрической прочности масла. Согласно возможным в трансформаторах со сжатым газом как и в масляных трансформаторах, применение барьера можно принять, что внутренние габариты и характеристики трансформатора со сжатым газом на 380 кВ будут такие же, что и у масляного трансформатора на рабочее напряжение 130—150 кВ. Таким образом, исходя из кривых рис. 1 и схемы 1, в этом случае возможность использования магнитной системы по схеме рис. 2, получаем, что предельная мощность трехфазной группы трансформаторов со сжатым газом на 380 кВ составит около 240 MVA. При этом реактивность таких трансформаторов со сжатым газом будет такая же, как и у мас-

¹ „Bull. SEV“, № 11, 1931, стр. 246 и 248.

сляных трансформаторов на 130—150 kV, т. е. составит около 10—15%.

Интересно провести сравнение стоимости трехступенчатой каскадной установки на 380 kV с установкой трансформаторов со сжатым газом на 380 kV. Чтобы это сравнение было более точным, воспользуемся данными каталога GEC и проведем сравнение для трехфазной установки мощностью 100 MVA. При этом будем считать, что резервных трансформаторов нет (что согласно с современными воззрениями), и будем учитывать только стоимость трансформаторов и стоимость потерь за 10 лет. При параллельной работе многих станций большой мощности можно в среднем считать, что трансформатор работает круглые сутки и круглый год при трех четвертях нагрузки.

Стоимость трехступенчатого каскада на 380 kV 100 MVA

I. 3 однофазных трансформатора трехобмоточного типа на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ kV (тип 132 kV) приведенной мощности по

33 333 kVA с водяным охлаждением $1,1 \cdot 64 \cdot 505 \cdot 3 \cdot 213$ 000 долл.

II. 3 однофазных трансформатора трехобмоточного типа на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ kV (тип 132 kV) приведенной

мощности по 22 222 kVA с естественным охлаждением $1,1 \cdot 59 \cdot 500 \cdot 3 \cdot 196$ 000

III. 3 однофазных трансформатора двухобмоточного типа на $\frac{127}{\sqrt{3}}$ kV (тип 132 kV) приведенной

мощности по 11 111 kVA с естественным охлаждением $36 \cdot 500 \cdot 3 \cdot 110$ 000

Стоимость трансформаторов . . . 519 000 долл. или 1 038 000 руб.

Так как к. п. д. трансформаторов при трех четвертях нагрузки для группы I равен 99,44%, для группы II—99,37%, и для группы III—99,22%, то стоимость потерь за 10 лет (считая, что стоимость 1 kWh равняется 1 коп.) составит:

I. $3 \cdot 100 000 \cdot 0,56 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,01 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 368$ 000 руб.

II. $3 \cdot 66 666 \cdot 0,63 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,01 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 275$ 000

III. $3 \cdot 33 333 \cdot 0,78 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,01 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 171$ 000

Итого 814 000 руб.

Суммарная стоимость трансформаторов каскада и потерь в них за 10 лет равняется 1 852 000 руб.

Стоимость установки трансформаторов со сжатым газом на 380 kV 100 MVA

3 однофазных трансформатора двухобмоточного типа (типа масляных на 154 kV) с водяным охлаждением без масла (68 \cdot 70—0,65 \cdot 8 900) \cdot 3 стоимость масла 189 000 долл. (0,65 \cdot 8 900—стоимость масла)

Удорожание стоимости специального бака, считая 20% от стоимости трансформаторов 38 000

Стоимость трансформаторов 227 000 долл. или 454 000 руб.

Стоимость потерь в трансформаторах за 10 лет

$3 \cdot 100 000 \cdot 0,59 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,01 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 100 \cdot 388$ 000 руб.

Суммарная стоимость установки трансформаторов со сжатым газом и потерь в ней за 10 лет 842 000 руб.

Примечание. Стоимость газа и компрессорной установки не включены в расчет стоимости трансформаторов со сжатым газом, так как они с избытком покрываются экономией на стоимости опорных конструкций, потребных для изоляции от земли групп II и III каскадной установки.

Таким образом стоимость установки трансформаторов со сжатым газом на 380 kV на 100 MVA больше чем в два раза дешевле каскадной установки. Очевидно, что при выполнении трансформаторной установки на большую мощность соотношение стоимостей не должно измениться.

Из вышеизложенного видно, что предложение постройки сверхмощных трансформаторов на 380 kV с заменой масла сжатым газом заслуживает самого серьезного внимания, так как трансформаторы со сжатым воздухом обладают следующими главнейшими преимуществами перед каскадами:

1) значительно меньшей стоимостью (как первоначальных затрат, так и потерь), 2) возможностью осуществления трансформаторных установок большей предельной мощности, 3) значительно меньшей занимаемой площадью и весом, 4) значительно меньшей реактивностью, 5) отсутствием масляного хозяйства.

Каскады же каких-либо существенных преимуществ перед трансформаторами со сжатым воздухом не имеют. Необходимость при каскадах установки трансформаторов весом 150—200 т на фарфоровые изоляторы и большая реактивность каскадов ставят вообще под сомнение осуществимость мощных каскадных установок.

На основании вышеприведенных соображений следует указать на необходимость срочной постановки экспериментальных исследований электрической прочности при высоких напряжениях и тепловых характеристиках газов под давлением, которые должны послужить базой для проектирования трансформаторов со сжатыми газами для электропередач на 380 kW.

В заключение автор выражает признательность Г. Т. Третьяку за ряд ценных указаний по затронутой теме.

ВЫКЛЮЧАЮЩАЯ АППАРАТУРА—ВАЖНОЕ ЗВЕНО ЕВС

К исследованию высоковольтных выключателей на разрыв тока короткого замыкания

А. Я. Буйлов
ВЭИ

Вопрос о выборе типа генератора для испытания мощных выключателей приобретает у нас весьма важное значение в связи с предстоящей постройкой в ближайшее время специальных лабораторий при Московском аппаратном заводе.

Автор настоящей статьи рассматривает в отношении требований, предъявляемых к испытательному генератору, главным образом лишь два момента, а именно: требующуюся ударную мощность и запас живой силы вращающихся частей машины. Однако автор не делает конкретных выводов, какой тип (быстроходный или тихоходный) генератора является наиболее подходящим для установки. Кроме того, автор не затрагивает целого ряда важных вопросов, как-то: нагрева, электродинамической прочности, действия ударных крутящих моментов, о минимальном допустимом реактанце рассеяния машины, о напряжении, способе соединения обмоток, об использовании типа машины и др. Решение этих вопросов может оказать существенное влияние на установление типа испытательного генератора. Специалисты советского электромашиностроения должны развернуть обсуждение этих вопросов.

Вместе с быстрым ростом электрификации СССР все остнее и остнее становится вопрос о гарантиях безопасности электросооружений на случай тех или иных аварий в цепи тока.

¹ Стоимость трехобмоточных трансформаторов считаем на 10% больше стоимости двухобмоточных трансформаторов той же мощности.

От редакции

Одной из самых опасных по своим последствиям аварий в цепи тока является авария короткого замыкания, и самая ответственная часть работы выключателя состоит в своевременном и безболезненном отсоединении поврежденного участка сети.

Целые системы защите со сложными и дорогими приборами применяются исключительно для того, чтобы выключатель

правильно (по месту и времени) разрывал цепь тока. Между тем, сам выключатель (обычно масляный выключатель) — аппарат, от надежности конструкции которого зависит надежность защиты от аварий в цепи тока, — в большинстве случаев ставится без всякой проверки того, где больше всего необходима уверенность в его работоспособности, — на разрыв им тока короткого замыкания.

Опасность, какую представляет собой неповрежденный масляный выключатель, усугубляется еще тем, что более или менее точный теоретический расчет его до сих пор невозможен. И иногда те миллионы киловольтампер разрывной мощности, которые указаны на выключателе, в большинстве случаев никем и никогда не проверялись и, по существу, никаких указаний о действительной работоспособности выключателя не дают, так как ни в какой лаборатории мира нельзя получить тех высоких значений разрывных мощностей, на которые уже строят масляные выключатели. Кроме того, те лаборатории, в которых есть возможность подвергнуть масляные выключатели испытанию на ту или иную разрывную мощность, появились сравнительно недавно, и основной вопрос — изучение разрыва мощной дуги в выключателе — находится еще в первоначальной стадии своего развития.

Ярким показателем того, как мало еще изучен процесс разрыва дуги в выключателе, служит тот факт, что само понятие "разрывной мощности" выключателя является далеко не установленным, и при одинаковом режиме короткого замыкания можно получить существенно различные величины разрывных мощностей в зависимости от того, что понимать под разрывным током и разрывным напряжением.

Так например, если обозначить через:

I_c — значение постоянной слагающей тока короткого замыкания в момент разединения контактов выключателя;

I_r — эффективное значение переменной слагающей первой полуволны тока короткого замыкания в момент разединения контактов;

I_d — эффективное значение первой полуволны с максимальной амплитудой тока короткого замыкания, взятой с учетом постоянной слагающей в момент разединения контактов выключателя;

$$I_k = \sqrt{I_c^2 + I_r^2};$$

E — рабочее напряжение сети (номинальное);

E_w — э. д. с., действующая в замкнутой цепи в момент разединения контактов (эффективное значение);

E_r — "возвратное напряжение", т. е. то напряжение, которое устанавливается в подводящей к выключателю линии сейчас же после потухания дуги (эффективное значение) и окончания колебательного процесса, то это определение разрывной мощности по нормам нижеуказанных стран будет следующее:

Германия

$N_1 = I_c \cdot E_w \cdot 10^{-3}$ кВА для однофазной системы,

$N_3 = \sqrt{3} \cdot I_d \cdot E \cdot 10^{-3}$ кВА для трехфазной системы

Англия и Америка

$N_1 = I_c \cdot E \cdot 10^{-3}$ кВА

$N_3 = \sqrt{3} \cdot I_c \cdot E \cdot 10^{-3}$ кВА

Швейцария

$N_1 = I_r \cdot E \cdot 10^{-3}$ кВА

$N_3 = \sqrt{3} \cdot I_r \cdot E_r \cdot 10^{-3}$ кВА

СССР

$N_1 = I_r \cdot E \cdot 10^{-3}$ кВА

$N_3 = \sqrt{3} \cdot I_r \cdot E \cdot 10^{-3}$ кВА.

Из приведенных соотношений видно, какой разнобой существует в этом вопросе. В зависимости от того, при каком значении постоянной слагающей тока короткого замыкания начинается расхождение контактов выключателя, а также быстроты спадания амплитуды переменной слагающей тока короткого замыкания, для одного и того же режима по нормам различных стран могут получиться существенно отличные друг от друга величины разрывной мощности выключателя.

Не вдаваясь в подробности этого вопроса, укажем только, что при некоторых условиях разница в подсчитанной величине разрывной мощности, например по швейцарским и американским нормам, может составить 200% и даже больше.

Вопрос о связи между разрывной мощностью выключателя и напряженностью его работы также совершенно не выяснен.

Как видим, основные вопросы выключателестроения еще не решены, и поэтому неудивительно, что при современном раз-

витии крупных централей выключатель уже становится узким местом.

Все вместе взятое заставляет строить дорогостоящие, совершенно необходимые специальные станции для испытания выключателей на разрыв ими тока короткого замыкания, которых можно было бы не только проверить изготовленный выключатель, но и, что еще более важно, исследовать его работу, найти общие закономерности, увязывающие параметры сети выключателя.

Без таких изысканий развитие выключателестроения будит и вселенную, и при дальнейшем развитии электроцентрализации выключатель может стать трудно преодолимой преградой.

Наша аппаратная промышленность еще не имеет большого опыта даже в постройке выключателей на средние значения разрывных мощностей и напряжений, в то время как в ближайшие же годы мощность наших новых станций превысит мощность заграничных. Уже сейчас для некоторых станций как, например, Днепровская, требуются выключатели разрывной мощности порядка нескольких миллионов киловольтампер.

Между ростом потребностей этой области и нашими возможностями наблюдается большое несоответствие.

Для ликвидации этих "ножниц" существует только один путь — путь быстрого форсирования развития нашей электротехнической промышленности и при таком развитии, которое целиком освободило нас от иностранной зависимости.

Развитие нашей электроаппаратной промышленности совершенно немыслимо без наличия собственной научно-технической базы (лаборатории, научно-исследовательские институты), которая дала бы возможность исследовать работу аппаратуры в особенности, при режиме короткого замыкания.

Краткое описание некоторых существующих станций для испытания выключателей на разрывную мощность

Первые установки для испытания масляных выключателей на разрывную мощность появились за границей 15—20 лет назад и имели сравнительно небольшую мощность установленных машин. Но вместе с ростом мощности производимых выключателей росла и мощность специальных установок для их испытания.

Принципиальная схема всех этих установок в общем одна и та же: генератор, трансформатор и испытуемый выключатель (рис. 1), причем между генератором и трансформатором ставится обычно "контрольный" выключатель, который предназначен разорвать цепь тока в том случае, если испытуемый выключатель этого не сделал, а между повышаительным трансформатором и испытуемым выключателем ставится аппарат, предназначенный замыкать цепь накоротко. Этот аппарат на некоторых станциях представляет собой тоже масляный выключатель, а в некоторых — особое устройство, имеющее вид гильотин.

Развертывание генератора во всех существующих установках производится при помощи асинхронного двигателя, причем для трогания с места генератора иногда употребляется добавочный специальный двигатель, обладающий большим

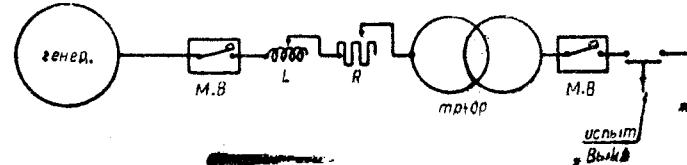


Рис. 1.

пусковым крутящим моментом. Для регулировки сопротивления замыкаемой цепи и величины тока на каждой установке предусмотрены реакторы и омические сопротивления, которые обычно включаются в цепь испытуемого выключателя между генератором и повышаительным трансформатором. При исследовании работы выключателя на всех установках производится осциллографическая запись тока напряжения и давления в выключателе. Большую помощь в деле исследования процесса выключения сыграла так называемая лупа времени, позволяющая в настоящее время фотографировать процессы, протекающие в течение нескольких десятитысячных долей секунды. Эта лупа времени для современных установок является неотъемлемой частью оборудования.

Подобные установки могут быть использованы для изучения и других вопросов, связанных с токами короткого замы-

кания, например, для изучения термических и динамических действий их. С этой целью на некоторых установках предусмотрены понизительные трансформаторы, со вторичных клемм которых можно получить токи порядка нескольких сот тысяч ампер.

Что касается машинного оборудования, то тут существует сильный разнобой как в смысле типа генератора, так и величины его реактанца.

Можно отметить следующие основные особенности существующих установок для испытания масляных выключателей на разрывную мощность.

1. Установка фирмы General Electric Co¹

Фирма Gen. El. Co до 1928 г. имела две таких установки: одну с генератором на 300 об/мин при 25 пер/сек, мощностью (номинальной) в 26 700 кВА, другую с двумя генераторами общей мощностью в 24 000 кВА (номинальных) и реактанцем статора—8,2%. Эти генераторы выполнены на нормальное число оборотов—600 об/мин. В 1928 г. эта фирма установила для тех же целей генератор номинальной мощностью в 100 000 кВА.

Установка с генераторами на 24 000 кВА (номинальных) оборудована для однофазного тока, но в любой момент может

Для возбуждения генераторов имеется специальный возбудитель (на рис. 2 не показан) общей мощностью в 200 кВт, состоящий из двигателя, главного возбудителя и возбудителя к главному возбудителю.

На станции имеется однофазный трансформатор мощностью в 25 000 кВА, напряжением в 2 500/7 500/15 000 В.

Реакторы, установленные на станции, могут регулировать величину тока от 100 до 21 000 А, причем каждый реактор имеет 10 выводов. При помощи омических сопротивлений, имеющихся на станции, соз. замыкаемой цепи можно регулировать до значения 0,85.

2. Установка фирмы Westinghouse¹

Агрегат, обслуживающий эту установку, состоит из сидящих на одном валу (рис. 3): а) асинхронного трехфазного двигателя 3 300 л. с., выполненного на 60 пер/сек при 600 об/мин (синхронных); б) 2 генераторов по 20 000 кВА номинальной мощности каждый при 13 200 В, 60 пер/сек. Нормальное число оборотов генераторов—600 об/мин, реактанц—10%.

Агрегат возбуждения состоит из сидящих на одном валу а) синхронного двигателя на 670 л. с. при 2 200 В, 60 пер/сек и б) двух машин постоянного тока по 225 кВт при 200 В

M₂В или его модель

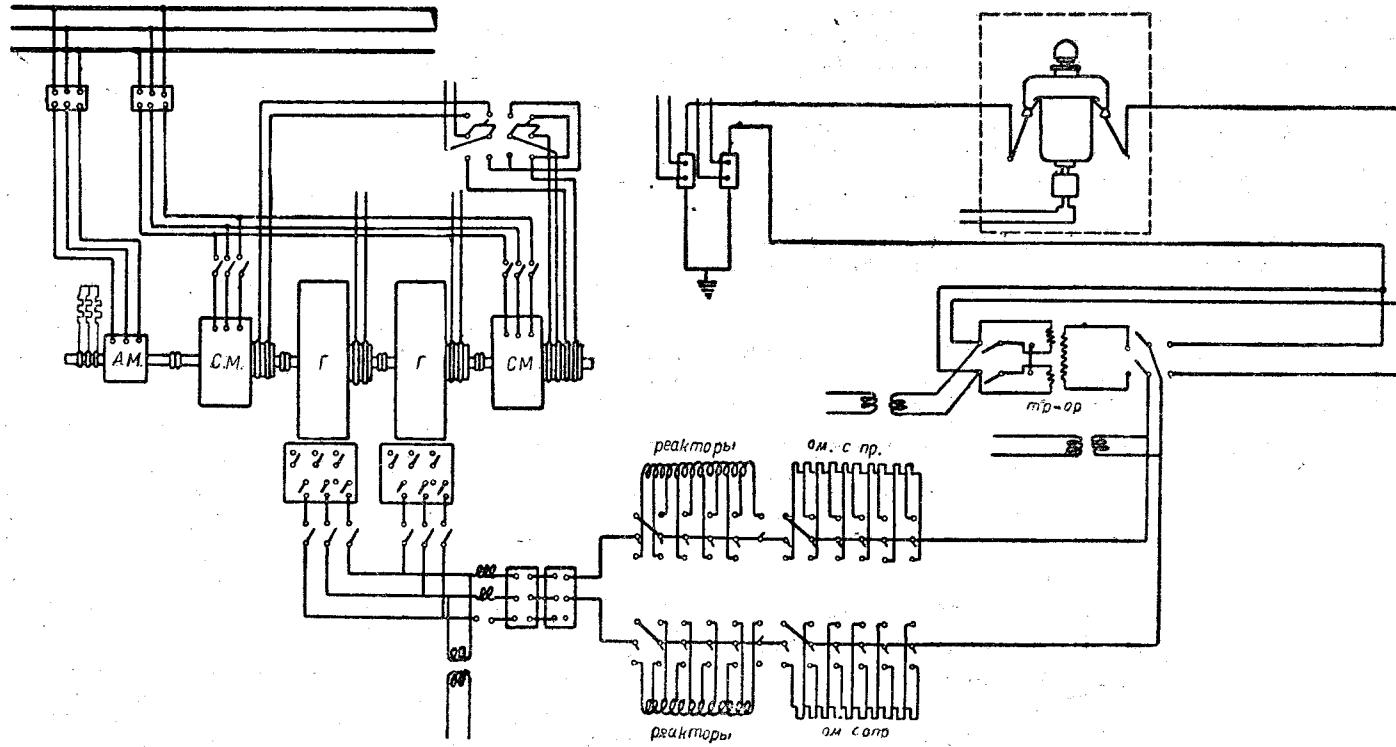


Рис. 2. Схема установки GEC

быть переделана для трехфазного тока (рис. 2). Обслуживающий эту установку агрегат состоит из 5 машин, сидящих на одном валу, соединенных между собой жесткими муфтами: а) асинхронный двигатель на 1 000 л. с., 2 300 В, 60 пер/сек, 720 об/мин; б) синхронный двигатель 4 400/2 200 л. с., 600/300 об/мин, 2 300 В, который может давать генераторам число оборотов, соответствующее частоте тока в их статоре—50 и 25 пер/сек; в) два трехфазных генератора по 12 000 кВА, 25—50—60 пер/сек, 2 300/4 600 В; г) синхронный двигатель 5 000 л. с., 720 об/мин, служит для получения тока в испытуемой цепи частотой в 60 пер/сек.

Каждый из синхронных двигателей присоединен к сети в 2 300 В, 60 пер/сек при помощи масляных выключателей, реле которых имеют большую выдержку времени. Эти выключатели отсоединяют двигатели от сети только после окончания опыта или в случае замыкания в цепи самих двигателей.

Одна фаза этой установки развивает мощность (считая только переменную слагающую тока короткого замыкания) в 86 500 кВА.

каждая. Возбуждение этих машин берется от постороннего источника энергии.

Каждый из генераторов имеет 6 параллельных ветвей в обмотке статора, благодаря чему можно получить 36 комбинаций, причем максимальное получаемое напряжение—25 000 В.

Реакторы, имеющиеся на этой установке, могут быть включены параллельно и последовательно.

3. Установка фирмы AEG в Германии²

Установка для испытания аппаратуры в условиях короткого замыкания у фирмы AEG имеется 2: одна с генератором на 15 000 кВА (номинальных) (старая) при 500 об/мин, другая—с генератором на 100 000 кВА (номинальных) (новая) при 1 500 об/мин.

Первая установка дает максимум 150 000 кВА разрывной мощности, вторая—100 000 кВА.

Установка с генератором на 15 000 кВА номинальной мощности выполнена в следующем виде (рис. 4). На одном валу

¹ Electric Journal, № 3, 1926.

² ETZ, вып. 41—42 1916 и вып. 32—33 1927.

находится упомянутый генератор и асинхронный двигатель мощностью 100 kW, соединенный с первым при помощи эластичной муфты. Генератор имеет реактанц 6%.

Агрегат возбуждения мощностью в 30 kW стоит отдельно, причем возбуждение возбудителя берется от специального умформера. Трансформатор, имеющийся на станции, обладает малым реактанцом и может повышать напряжение до 100 000 V.

На рис. 4 видно устройство, сделанное на включающем маслянике, предназначенное для регулировки времени, протекшего от начала включения цепи до начала разрыва.

Установка с генератором на 100 000 kVA номинальной мощности имеет 2 асинхронных двигателя: один, сидящий на одном валу с генератором, предназначен для развертывания

5. Установка фирмы Siemens-Schuckert

Имеет генератор на 40 000 kVA номинальной мощности при 1 500 об/мин.

6. Установка фирмы Brown-Boveri

Имеет 2 генератора номинальной мощностью 70 000 kVA каждый с реактанцем порядка 6%.

Эти генераторы выполнены на нормальное число оборотов 500 об/мин. Их конструкция интересна тем, что ротор выпущен наподобие ротора быстроходной машины. Генераторы фирмы Brown-Boveri имеют не явно выраженную систему полюсов обмотки возбуждения.

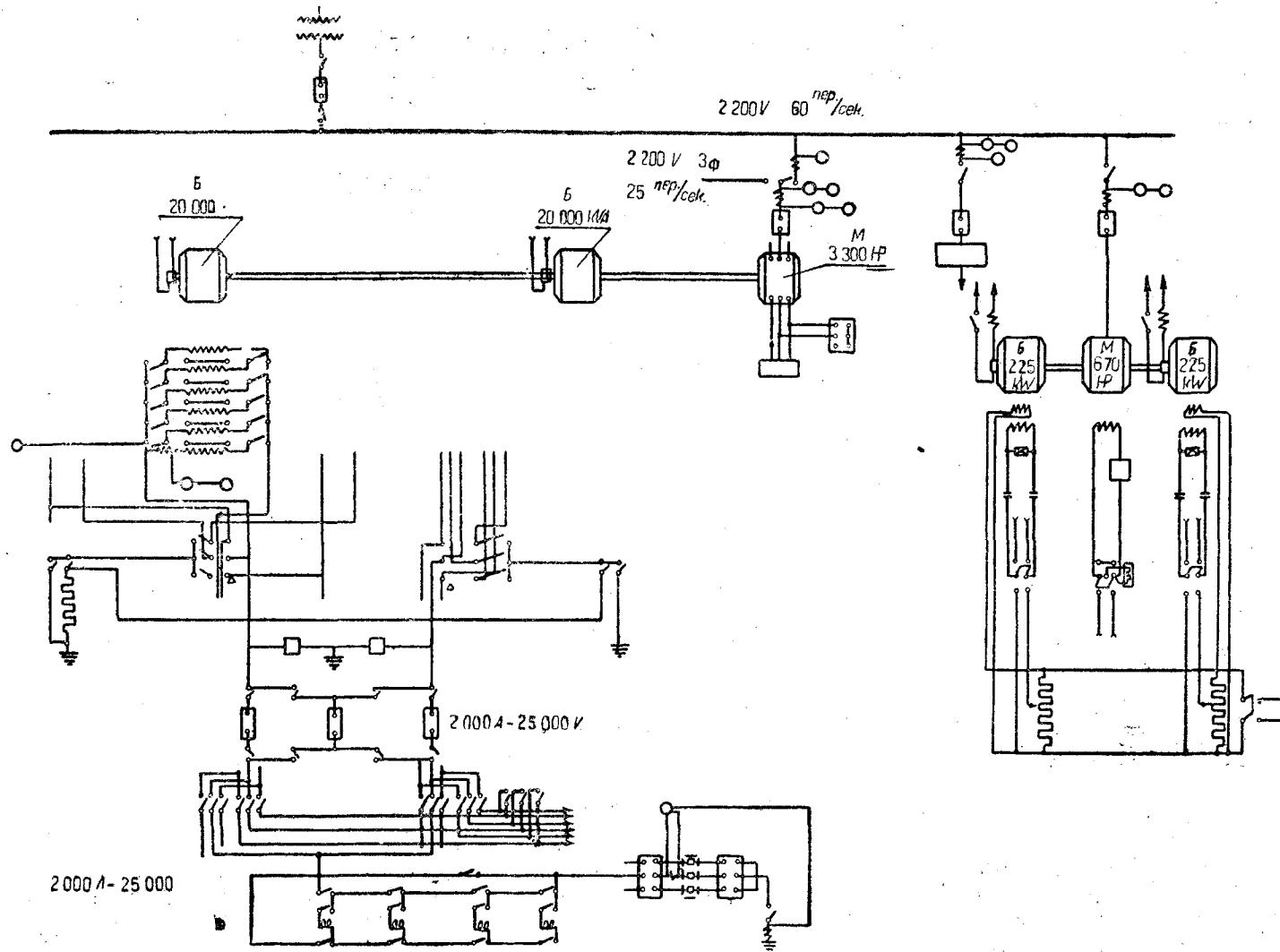


Рис. 3. Схема установки Westinghouse

генератора, и другой, сцепленный с первым посредством зубчатой передачи, предназначен только для трогания с места генератора. Генератор в этой установке имеет реактанц 9%. На установке имеется трехфазный трансформатор с выводами на напряжение от 12 до 125 kV.

Возбудитель сидит на одном валу с мотором, предназначенным для трогания с места.

Из других установок можно еще отметить следующее.

4. Установка ACED во Франции

Генератор на этой установке имеет номинальную мощность в 50 000 kVA при реактанце в 27%. Число оборотов его—1 500 об/мин. Возбудитель сидит на одном валу с генератором.

Двигателей имеется два: один—для развертывания генератора и другой—для трогания его с места. Имеющийся трехфазный трансформатор может повышать напряжение до 107 500 V со ступенями на 15 500, 26 875, 53 750 и 62 000 V.

Как видно из перечисленных данных об имеющихся установках для испытания выключателей, генераторы, взятые для этих установок, имеют самые разнообразные числа оборотов и реактанцы обмоток (величины, очень важные для данного случая), и при проектировании новой установки, исходя из заграничного опыта, очень трудно получить какие-либо руководящие данные для выбора генератора.

Основные положения

Основной единицей оборудования станции для испытания выключателей на разрывную мощность является синхронный генератор, и на его выбор прежде всего и нужно обратить внимание при проектировании станции.

Что должен дать генератор? Он должен обеспечить получение достаточно большой мощности короткого замыкания, соответствующей разрывной мощности испытуемого выключателя с максимальными данными.

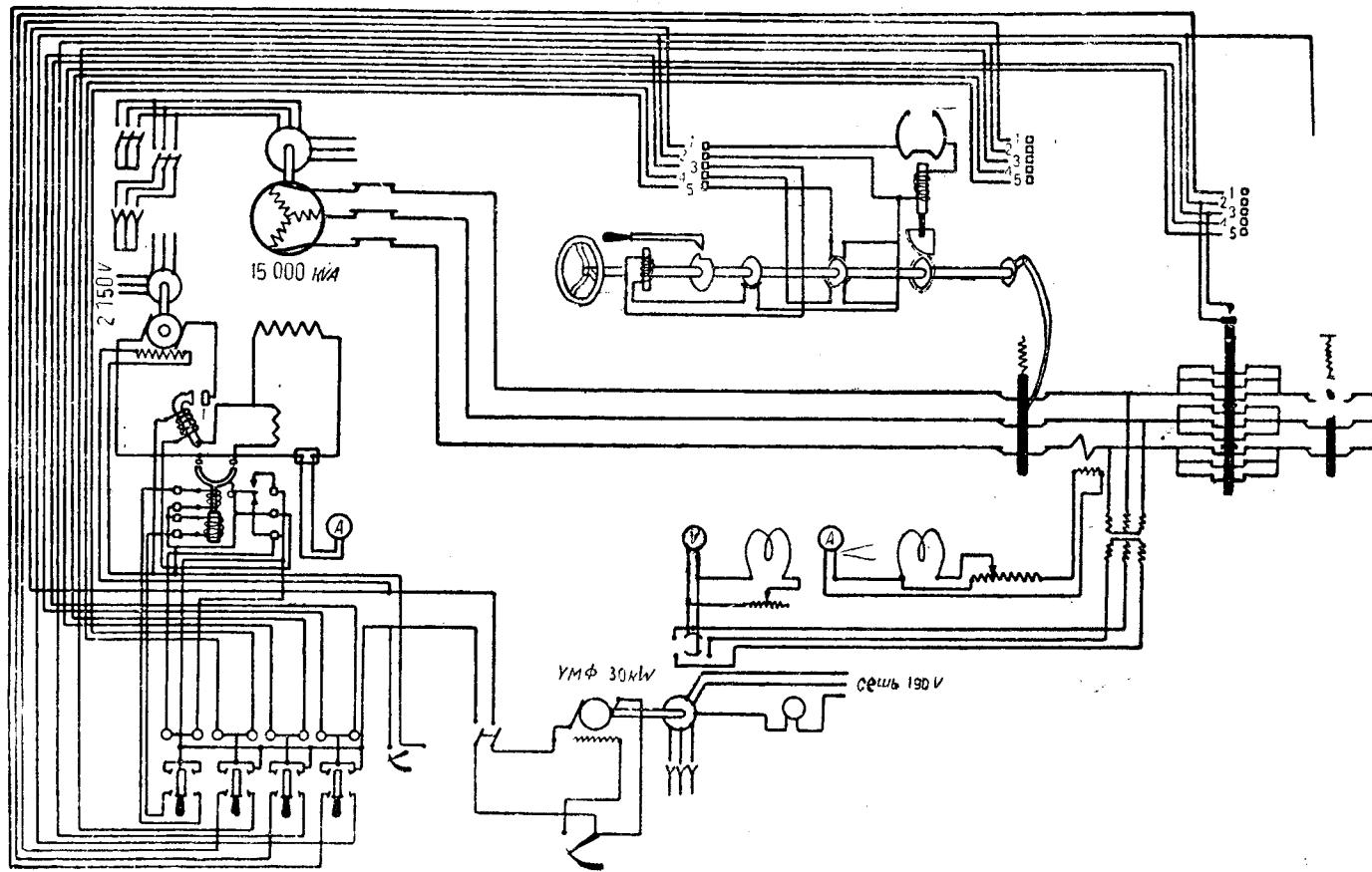
Кроме того, генератор должен быть устойчив в отношении всевозможных усилий в его материале, которые могут иметь место при опыте короткого замыкания. Требования, предъявляемые к синхронной машине, рассчитанной на нормальную работу, здесь должны быть рассмотрены совершенно под другим углом зрения, чем в нормальных машинах. Например, очевидно, что к. п. д. для генератора, предназначенного к периодическому замыканию на короткое, отходит на самый задний план, и поэтому те соотношения между удельными нагрузками его материала, какие берутся для нормальных машин, здесь должны быть в корне пересмотрены.

Если же для нормальной машины режим короткого замыкания является режимом аварийного характера, то для нашего

стремления, вычисленной по швейцарским нормам, будут больше, чем при подсчете по другим нормам.

При определении разрывной мощности по нормам, где напряжение берется не отнесенное к концу погасания дуги в выключателе, а, например, нормальное (до опыта) или в момент разединения контактов, может быть и такой случай, когда вследствие известных причин к концу разрыва дуги генератор совсем останавливается, и напряжение, действующее в цепи, в этот момент будет очень мало.

Тогда, если разрыв контактов выключателя начался сейчас же по замыканию цепи накоротко, получится, что выключатель теоретически разорвал полную мощность короткого замыкания установки, в то время как в действительности на



E_o —напряжение на клеммах генератора до начала короткого замыкания (эффективное значение),
 E_{st} —э. д. с., наводимая в генераторе при установившемся режиме короткого замыкания и при условии неизменного числа оборотов генератора (эффективное значение),
 l —основание натуральных логарифмов,
 a_t —постоянная затухания тока, связанного с основным магнитным потоком генератора.

Из уравнения (1) следует, что при том же ударном токе от генератора можно получить тем большую разрывную мощность, чем меньше разница между ударным и установившимися токами, т. е. чем больше член $(E_o - E_{st})$.

Если число оборотов генератора неодинаково в начале и в конце опыта, расчетное напряжение будет равно

$$E_r = E_r \frac{n_1}{n_0}, \quad (2)$$

где n_0 —число оборотов генератора в начале опыта,

n_1 —в конце

При изменении числа оборотов генератора величина тока короткого замыкания тоже изменится. Подробно на этом останавливаться не будем, а лишь отметим два основных условия выбора генератора: 1) необходим возможно больший ток установившегося режима и 2) возможное уменьшение числа оборотов генератора на время опыта.

Последнее условие сводится к возможно большему соотношению между запасом живой силы масс, сидящих на валу генератора, к потерям в цепи тока за время опыта, так как двигатель, приводящий в движение генератор, во избежание толчков тока в сети должен на время опыта отключиться от последней.

Уменьшение числа оборотов генератора на время опыта нежелательно еще и потому, что при этом получится изменение частоты тока, проходящего через выключатель, что в свою очередь изменит режим работы выключателя при разрыве тока короткого замыкания.

Реактанс генератора

Одним из основных параметров генератора, предназначенного для испытания мощных выключателей на разрыв ими тока короткого замыкания, является его реактанс.

Если обозначить через m коэффициент, равный отношению максимальной разрывной мощности, которую может развить генератор, к его ударной мощности, вычисленной как произведение эффективного значения симметричной составляющей тока короткого замыкания, взятой для первой полуволны по наступлению короткого замыкания на номинальное напряжение, то вышеопределенная ударная мощность генератора должна удовлетворять уравнению:

$$N' = \frac{N}{m}, \quad (3)$$

где N' —ударная мощность генератора, N —максимальная разрывная мощность, какую может развить генератор.

Но ударная мощность генератора может быть представлена как

$$N' = \frac{P}{l_k \%} \cdot 100, \quad (4)$$

где P —номинальная мощность генератора и $l_k \%$ —его реактанс в процентах.

Сравнивая уравнения (3) и (4), находим, что

$$l_k \% = \frac{P \cdot 100}{N'} = \frac{P \cdot 100}{N} m$$

или

$$\frac{P}{l_k \%} = \frac{N}{100 m} \quad (5)$$

Величина m зависит от соотношения между параметрами генератора и параметрами замыкаемой цепи и для данного типа генератора является величиной более или менее постоянной. В том случае, если N задано, отношение $\frac{P}{l_k \%}$ = const, т. е. получается, что заданная разрывная мощность для генератора совершенно не диктует его номинальной мощности, а только говорит о его ударной мощности.

Если взять реактанс генератора в омах (x_k) то, пренебрегая активным сопротивлением, можно написать, что его ударная мощность

$$N' = E \frac{2}{x_k} \text{ (однофазная),}$$

где E —напряжение генератора или

$$x_k = \frac{E^2}{N} = \frac{E^2}{N} m.$$

Другими словами, сопротивление обмотки генератора при заданной разрывной мощности и напряжении генератора есть величина определенная, и размеры магнитно-электрической части генератора должны быть выбраны, исходя из необходимого реактанса при данном напряжении генератора. Только после определения основных размеров генератора можно говорить о его номинальной мощности, т. е. о продолжительной мощности полученной модели.

При данном же напряжении генератора можно будет получить от него тем большую разрывную мощность, чем меньше сопротивление его обмотки.

Для генератора, „нормальным“ режимом которого является режим короткого замыкания, очень существенным фактором являются электродинамические усилия, возникающие в его обмотке при производстве короткого замыкания.

Но с этой стороны сопротивление обмотки генератора не играет роли. Действительно, усилия на головку лобовых соединений обмотки генератора возрастают с ростом величины тока и числа витков его обмотки, но при данной разрывной (а следовательно и ударной) мощности генератора величина тока при данном напряжении генератора дана, а число витков его обмотки (при прочих равных условиях) диктуется сопротивлением генератора.

Следующий фактор, говорящий об использовании генератора—величина спадания его оборотов во время опыта—диктует возможно малое омическое сопротивление его обмотки. В самом деле, потери за время опыта короткого замыкания в основном состоят из потерь в меди

$$A_m = I^2 R \equiv R \text{ при данном токе.}$$

Сечение меди обмотки генератора выбирается из условий его допустимого перегрева, и поэтому можно считать, что

$$A_m \equiv L_m,$$

где L_m —длина обмотки статора генератора.

В свою очередь

$$L_m = 2(l_1 + s\tau) W,$$

где l_1 —осевая длина генератора, s —отношение длины головки обмотки генератора к полюсному делению и τ —полюсное деление генератора.

Так как э. д. с. генератора

$$E = K \cdot l_1 \tau \cdot B_l \cdot W \approx K \cdot l_1 \cdot \tau \cdot B_l \cdot W,$$

где B_l —индукция в воздушном зазоре, то

$$Wl_1 = \frac{E}{K \cdot \tau \cdot B_l},$$

где K —постоянная величина.

Вставляя полученные значения для L_m и Wl_1 в выражение для A_m , получим:

$$A_m = \frac{K_1}{B_l \tau} \left(1 + \frac{s}{b} \right), \quad (7)$$

где

$$b = \frac{l_1}{\tau}.$$

Таким образом получается, что потери в меди будут тем меньше, чем больше поток, приходящийся на один полюс.

Но при данном напряжении генератора с увеличением потока должно уменьшаться число витков генератора, что при прочих равных условиях ведет к уменьшению его реактанса.

Наконец, необходимость получить возможно большую величину установившегося тока короткого замыкания диктует возможно малое размагничивающее действие якоря, т. е. меньшее число витков в нем и, следовательно, возможно меньший синхронный реактанс генератора.

Таким образом генератор будет использован тем лучше или, другими словами, выбор его будет тем удачней, чем меньше вязь его реактанса как мгновенный, так и синхронный.

Уменьшение этих реактансов генератора должно идти за счет уменьшения его нагрузки. Насколько же малым можно сделать реактанс у данного типа генератора—другой вопрос.

Так как увеличение индукции в воздушном зазоре (B_l) ведет к повышению установившегося тока короткого замыкания

¹ Подобный результат можно было бы предугадать, исходя из метода расчета синхронных машин, предложенного проф. Кулебакиным („Известия ВЭЭИ“), выпуск 5/18, который сводится к определению основных размеров генератора, исходя не из нормальной его мощности, а ударной.

ния, то эту величину следует увеличить в сравнении с та-
кой у генераторов, предназначенных для длительной работы.
Резюмируя все вышеизложенное, можно сказать, что генера-
тор должен быть как можно меньше нагружен с электриче-
ской стороны и как можно больше с магнитной, причем про-
изведение $B_1 \cdot AS$ (AS —так называемая линейная нагрузка якоря),
характеризующее использование данной модели, не должно
сильно отличаться от величин, имеющихся на практике.

Все наши рассуждения велись для случая замыкания на
испытуемый выключатель одного генератора. В действитель-
ности выключатель, имеющий наибольшую разрывную мощ-
ность, будет очевидно предназначен работать при напряжении
выше того, какое можно получить от генератора. Поэтому
если исходить из максимальной рабочей мощности установки,
следует принять во внимание и реактанц трансформатора.

Количественная сторона в этом случае значительно сложнее,
но общий вывод от этого не изменяется; общий реактанц ге-
нератора и трансформатора должен быть возможно меньше,
а так как при больших разрывных мощностях станции реак-
танцы генератора и трансформатора будут близко лежать к технически возможным, то этот вывод относится к каждому из них в отдельности. В настоящей статье ставится вопрос
главным образом о генераторе, а для него условие получения
наибольшего установившегося тока короткого замыкания и
наименьших потерь в меди диктует независимо от наличия
трансформатора в испытательной сети выгодность небольшого
реактанца.

Вопрос же о соотношении реактанцев генератора и транс-
форматора будет разобран ниже.

Уменьшение числа оборотов генератора

Как упоминалось выше, одним из требований к установке
должно быть условие небольшого уменьшения числа оборо-
тов генератора на время опыта.

Уменьшение числа оборотов генератора зависит от двух
факторов: от запаса живой силы масс, находящихся на валу
генератора, и потеря энергии за время опыта.

Потери энергии за время опыта могут быть выражены как

$$W_k = W_t + 10^{-3} \cdot R \cdot m \int_0^t i^2 dt + W_s,$$

где W_t —магнитные и механические потери в kW/sec ,

$10^{-3} \cdot R \cdot m \int_0^t i^2 dt$ —потери на джоулево тепло в kW/sec ,

W_s —потери в испытуемом выключателе в kW/sec ,

R —активное сопротивление одной фазы всей цепи, обте-
каемой током короткого замыкания,

m —число фаз, обтекаемых током,

i —мгновенное значение тока.

При опыте короткого замыкания основная часть потерь
энергии приходится на потери, пропорциональные квадрату
тока. Поэтому в дальнейшем под понятием потери в коротком
замыкании цепи будут подразумеваться потери, пропорцио-
нальные квадрату тока.

Обозначим их W_m —так как большая часть из них прихо-
дится на потери в меди.

Обозначая через A_1 запас живой силы (kW/sec) масс, сидя-
щих на валу генератора, найдем, что по окончании опыта
запас этот будет

$$A_2 = A_1 - W_m.$$

Так как запас живой силы вращающихся масс

$$A = I \frac{\omega^2}{2},$$

(где I —момент инерции масс, отнесенных к оси вращения и
 ω —угловая скорость), то

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = \frac{A_1 - W_m}{A_1}; \quad (8)$$

отсюда

$$\omega_2 = \omega_1 \sqrt{\frac{A_1 - W_m}{A_1}}, \quad (9)$$

или, переходя к числу оборотов генератора,

$$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{A_1 - W_m}{A_1}}. \quad (9a)$$

Обозначая через

$$\delta_t = 1 - \sqrt{1 - \frac{W_m}{A_1}}, \quad (10)$$

или в процентах

$$\delta_t \% = 100 - 100 \sqrt{1 - \frac{W_m}{A_1}}. \quad (10a)$$

При вычислении запаса живой силы масс, сидящих на валу
генератора, будем исходить только из массы ротора самого
генератора, так как сцепленный с ним мотор изменит резуль-
тат очень незначительно, а вариант с маховиком будет разо-
бран отдельно.

При этом массу ротора будем определять как сплошного
цилиндра с равномерной плотностью. Такой подсчет будет,
конечно, не точен, в особенности для генераторов с явно вы-
раженными полюсами, но заранее, в общем виде точно под-
считать спадение в оборотах генератора очень трудно, и на-
стоящая статья ставит своей целью дать только порядок вели-
чин, могущих иметь место в действительности.

Запас живой силы ротора как цилиндра, как уже указыва-
лось, будет:

$$A_1 = I \frac{\omega^2}{2}.$$

В свою очередь

$$I = M \cdot \frac{D^2}{8} \cdot 10^{-4},$$

где M —масса цилиндра, D —внешний диаметр ротора в см
(10^{-4} вошло потому, что для получения запаса живой силы
в kg/m необходимо D взять в м).

$$M = \pi \frac{D^2}{4} \cdot l \frac{\gamma}{g} \cdot 10^{-3}$$

(в этом выражении D взято в см и вес в kg),
где g —ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ m/sec}^2$,
 l —длина ротора в см,

γ —удельный вес тела ротора.

Принимая во внимание, что ближе к периферии ротора на-
ходится медь обмотки возбуждения, имеющая удельный вес,
равный 8,9, а остальное тело ротора имеет γ , равный 7,7, при-
мем для ротора в целом $\gamma = 8$.

Заменяя ω через $\frac{\pi n}{30}$, получим

$$A = K \cdot D^4 \cdot n^2 l_1,$$

где $K = 4,4 \cdot 10^{-11}$.

Исходя из фазового напряжения генератора

$$E = 4,4 f \cdot \alpha_t \cdot \tau B_1 \cdot l_1 W_1 \cdot 10^{-8} \text{ вольт}$$

и приравнивания $l_1 \approx l_i$ (l_i —так называемая идеальная длина
якоря генератора), получим

$$l_1 = \frac{E}{K_2 W_1 \tau B_1},$$

где $K_2 = 4,44 f \alpha_t \cdot 10^{-8}$, где f —частота тока статора при нор-
мальном числе оборотов генератора,

W_1 —число витков на фазу генератора,

α_t —коэффициент магнитного перекрытия,

τ —полюсное деление, равное $\frac{\pi D}{2p}$, где p —число пар полю-
сов генератора.

Полагая

$$f = 50 \text{ пер/сек и } \alpha_t = 0,67,$$

получим

$$K_2 = 147 \cdot 10^{-8}.$$

При $t = 50$ пер/сек. численно τ см, v m/sec , где v —окру-
жная скорость ротора.

Поэтому

$$l_1 = \frac{E}{K_2 \cdot W_1 \tau \cdot B_1}.$$

Число витков генератора найдем из тех соображений, что
генератор должен обладать определенным индуктивным сопро-
тивлением $x_k \Omega$.

Выражение для реактанца фазы генератора имеет вид

$$x_k = a \cdot 158 \cdot 10^{-9} f \cdot W_1^2 \frac{s \tau}{P} \lambda_s \Omega,$$

где s —отношение длины головки обмотки к полюсному де-
лению,

λ_s —удельная проводимость для потоков рассеяния обмотки
якоря,

a —отношение реактанца всей машины к реактанцу лобовой
части обмотки.

Величины a и λ_s и отчасти s очень трудно определить, не зная конструкцию генератора. Поэтому зададимся произведением $s \cdot a \cdot \lambda_s = 1,4$, представляющим собой некоторую среднюю величину для современных мощных генераторов.

Тогда число витков на фазу представится как

$$W_1 = 340 \sqrt{x_k \frac{P}{v}}.$$

Для данной ударной мощности трехфазного генератора N' вольтампер (эффективн.)

$$x_k = 3 \frac{E^2}{N'}$$

(в соответствии с предыдущим E —фазовое напряжение генератора) и следовательно

$$W_1 = 590 \cdot E \sqrt{\frac{P}{N' v}}. \quad (11)$$

Подставляя полученное значение для W_1 в выражение для I_1 , получим

$$I_1 = \frac{1150}{B_l} \cdot \sqrt{\frac{N'}{p \cdot v}}. \quad (12)$$

В выражение для запаса живой силы ротора A_1 вставим вместо D величину $\frac{2p\tau}{\pi} = \frac{2p v}{\pi}$, вместо n — величину $f \frac{60}{p}$ и вместо I_1 — полученное выше выражение (12). Тогда будем иметь

$$A_1 = 4,4 \cdot 10^{-11} \frac{p^4 \cdot v^4 \cdot 24}{\pi^4} \cdot 2 \frac{60^2}{p^2} \cdot \frac{1150}{B_l} \cdot \sqrt{\frac{N'}{p \cdot v}}.$$

Принимая во внимание, что $f = 50$, получим

$$A_1 = 0,076 \frac{\sqrt{N' P^3 v^7}}{B_l} \text{ kg/m} \quad (13)$$

или

$$A_1 = 7,5 \cdot 10^{-4} \frac{\sqrt{N' P^3 v^7}}{B_l} \text{ kW/sec.} \quad (14)$$

Для определения потерь W_m будем исходить из потерь в меди. При этом необходимо учесть потери в трансформаторе и потери в соединительных проволоках.

Допустим, что общее активное сопротивление дной фазы короткого замыкания цепи равно $c \cdot R$, где R — активное сопротивление фазы генератора, а c — отношение общего сопротивления с учетом добавочных потерь одной фазы короткого замыкания цепи к сопротивлению фазы генератора. Сечение проводов следует выбирать, исходя из перегрева их во время пытка. При опыте короткого замыкания быстро увеличивается разность между температурой провода обмотки, генератора и изоляции этого провода. Вследствие этого удлинения (от действия температуры) сечения обмотки и его изоляции могут так сильно различаться между собой, что изоляция потерпит механические разрушения, и генератор выйдет из строя. Поэтому допускать повышение температуры выше $50-70^\circ \text{C}$ вряд ли будет возможно.

Для такого повышения температуры сечения проводов можно получить, считая удельное сопротивление проводника постоянным (не зависящим от температуры).

При определении температуры перегрева проводника будем считать, что отдача проводнику тепла в окружающую среду не происходит, и что все выделенное в проводнике тепло идет на повышение его температуры.

Тогда

$$R i^2 dt = L \cdot q \cdot 10^2 \cdot c \cdot d \tau,$$

где i — мгновенное значение тока,

R — сопротивление проводника в омах,

L — длина проводника в см,

q — сечение проводника в мм^2 ,

c — теплопроводность проводника в $\text{W/sec g}^\circ \text{C}$,

τ — перегрев проводника относительно окружающей среды в $^\circ \text{C}$,

t — продолжительность короткого замыкания.

Будем считать $i = \text{const} = I_k = \frac{N'}{3E}$.

Дополнительных потерь в магнитном аппарате учитывать не будем.

Тогда уравнение теплового баланса перепишется так:

$$I_k^2 \cdot R \cdot t = L \cdot q \cdot 10^{-2} \frac{p \cdot c \cdot T}{v}$$

или

$$I_k^2 L \cdot 10^{-2} \cdot \frac{p}{q} t = L \cdot q \cdot 10^{-2} \cdot c \cdot T,$$

где p — удельное сопротивление меди.

Из этого уравнения находим

$$q = \frac{I_k}{\sqrt{\frac{T \cdot \gamma \cdot c}{p \cdot t}}} = \frac{N'}{3 \cdot E \sqrt{\frac{T \cdot \gamma \cdot c}{p \cdot t}}}. \quad (15)$$

Время t необходимо взять из того расчета, что испытуемый выключатель не сработал и цепь тока разорвал контрольный выключатель. В этом случае время протекания тока по цепи должно быть по сравнению с нормальным опытом увеличено. Это время t будет зависеть от устройства защиты на станции, но меньше 2—3 сек. вряд ли можно будет его взять. Принимая во внимание, что при расчете мы исходим из максимального значения тока короткого замыкания, т. е. из заведомо преувеличенного значения, положим $t = 2$ сек. Полагая также $T = 70^\circ \text{C}$, $\gamma = 8,9$, $c = 0,39$ и $p = 1/50$ (как для меди), получим

$$q \approx \frac{N'}{240 \cdot E}. \quad (16)$$

Длина витков одной фазы генератора

$$L_m = 2W(l_1 + sv) \text{ см.}$$

Вставляя значения W и l_1 из уравнения (11) и (12), получим

$$L_m = 1080 \cdot E \left(\frac{1150}{B_k \cdot v} + s \sqrt{\frac{h \cdot l}{N' c}} \right) \text{ см}$$

и сопротивление одной фазы замыкаемой цепи R будет

$$cR = cL_m \cdot 10^{-2} \frac{p}{q} = c \cdot 10,8 \cdot E \left(\frac{1150}{B_k \cdot v} + s \sqrt{\frac{h \cdot v}{N'}} \right) \cdot \frac{240 \cdot E}{N'} \cdot p.$$

Полагая $c = 3$ и $p = 0,02$, будем иметь

$$cR = 156 \frac{E^2}{N'} \left(\frac{1150}{B_k \cdot v} + s \sqrt{\frac{h \cdot v}{N'}} \right). \quad (17)$$

Обозначим через K отношение реактанца фазы всей замкнутой цепи к реактанцу генератора.

Тогда потери за время опыта t_1 во всех трех фазах будут равны:

$$W_m = 3 \left(\frac{I_k}{K} \right)^2 \cdot cR t_1 \text{ h}$$

$$W_m = 3 \frac{N'^2}{9 \cdot E^2 K^2} \cdot 156 \frac{E^2}{N'} \left(\frac{1150}{B_k \cdot v} + s \sqrt{\frac{h \cdot v}{N'}} \right) t_1. \quad (18)$$

Положим $s = 2,3$ и $K = 1,5$.

Тогда

$$W_m = 55 \cdot N' \left(\frac{500}{B_k v} + \sqrt{\frac{h \cdot v}{N'}} \right) t_1. \quad (19)$$

В выражении (19) потери высчитаны в предположении, что ток постоянный и равный I_k . Но мы хотим найти спадание числа оборотов генератора при опыте с максимальной мощностью, т. е. когда испытуемый выключатель рвет еще не установленный ток короткого замыкания, а для этого случая рассчитанный ток будет близок к I_k .

Положим время опыта равным 0,4 сек., тогда получим

$$W_m = 22,3 \cdot 10^{-3} N' \left(\frac{500}{B_k \cdot v} + \sqrt{\frac{h \cdot v}{N'}} \right) \text{ kW/sec} \quad (20)$$

и сдача в оборотах генератора может быть выражена как

$$\delta_s \% = 100 \left(1 - \sqrt{1 - 30 \cdot N' \frac{\left(\frac{500}{v} + B_k \sqrt{\frac{h \cdot v}{N'}} \right)}{\sqrt{N' P^3 \cdot v^7}}} \right)$$

или

$$\delta_s \% = 100 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{15000}{h \cdot v^3} \left(\frac{\sqrt{N'}}{v \sqrt{h \cdot v}} + \frac{B_k}{500} \right)} \right). \quad (21)$$

Как уже указывалось, для генератора, предназначенного для испытания аппаратуры в условиях короткого замыкания, индукция в воздушном зазоре должна быть сильно увеличенной по сравнению с генератором, рассчитанным на продолжительную мощность.

Положим $B_k = 12500$ гауссам.

Тогда имеем

$$\delta_s \% = 100 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{15000}{h \cdot v^3} \left(\frac{N'}{v \sqrt{h \cdot v}} + 25 \right)} \right).$$

Или, обозначая hv^3 через β , получим

$$\delta_{\text{в}} \% = 100 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{390000}{\beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right)} \right], \quad (22)$$

где $N'' = N' \cdot 10^{-3}$.

На рис. 5 даны кривые для $\delta_{\text{в}}$, вычисленные по уравнению (22) в зависимости от β при значениях $N'' = 1,10^6, 2,10^6$, и $3,10^6$ kVA.

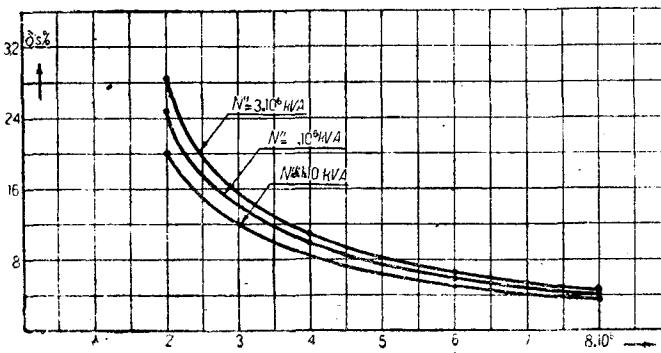


Рис. 5. Сдача в оборотах генератора при $K = 1,5$

Те величины, которыми мы задались при получении формулы для $\delta_{\text{в}}$, могут отличаться от тех, которые будут иметь место в действительности, поэтому и кривые для $\delta_{\text{в}}$ не могут считаться в точности соответствующими действительности, но порядок величин должен оставаться тем же самым. Что касается значений $\delta_{\text{в}}$ для машин с явно выражеными полюсами (большое β на рис. 5), то тут скорее получено преуменьшенное значение $\delta_{\text{в}}$, так как ротор такого генератора не представляет собой сплошного цилиндра, и потому его запас живой силы подсчитан с преуменьшением.

Исходя из полученных кривых, можно сказать, что сдача в оборотах генератора может достигнуть в некоторых случаях существенных величин, и при выборе и проектировании генератора на это надо обратить серьезное внимание.

При конкретно заданной разрывной мощности и условии работы станции, пользуясь тем же методом, можно подойти к решению задачи об уменьшении числа оборотов генератора уже более точно, уже конкретно подобрать наиболее выгодные соотношения между P , v и B_l для генератора, но это уже задача проектного характера и выходит из рамок настоящей статьи.

Вариант с маховиком

При коротких замыканиях генератора получаются большие крутящие моменты, действующие на вал, соединяющий ротор генератора с маховиком.

Этот крутящий момент зависит от соотношения моментов инерции ротора генератора и моментов инерции прочих масс, сцепленных с его валом, в данном случае — массы маховика.

Мгновенная активная мощность в случае трехполюсного короткого замыкания, без учета коэффициента затухания будет¹

$$P_{\text{m. max}} = 3E_{\phi} I_k (1 + \cos \varphi) \text{ Watt.} \quad (23)$$

В установке должны быть предусмотрены омические сопротивления для регулировки $\cos \varphi$ замыкаемой цепи. Поэтому замыкание может быть на цепь, $\cos \varphi$ которой не равен $\cos \varphi$ цепи генератора при коротком замыкании. В этом случае

$$P_{\text{m. max}} = 3E_{\phi} \frac{E_{\phi}}{\sqrt{x_k^2 + r_1^2}} \left(1 + \frac{r_1}{\sqrt{x_k^2 + r_1^2}} \right),$$

где x_k — общее индуктивное сопротивление замкнутой цепи, r_1 — общее активное сопротивление замкнутой цепи.

Из этого выражения следует, что максимум мгновенной мощности получился не при замыкании на клеммах генератора, а при некотором значении отношения $\frac{r_1}{x_k}$.

Значение ударной активной мощности, полученное без учета коэффициента затухания, очевидно, будет преуменьшено по сравнению с имеющей место в действительности.

¹ Niethammer. E. и др., 1916, стр. 500.

Не вдаваясь в подробности более точного определения $P_{\text{m. max}}$, допустим, что это преуменьшение будет скомпенсировано, если пренебречь влиянием $\cos \varphi$, т. е. допустим, что

$$\cos \varphi = 0 \text{ и } P_{\text{m. max}} = 3E_{\phi} I_k = N' \text{ Watt.}$$

Крутящий момент, действующий на участок вала, соединяющий ротор генератора с маховиком, будет

$$M_{\text{max}} = \frac{I_2}{I + I_2} \cdot 97 \cdot 10^3 \frac{N''}{n} \text{ kg/cm,} \quad (24)$$

где I_2 — момент инерции маховика,

I — момент инерции ротора генератора,

n — нормальное число оборотов генератора в минуту,

N'' — ударная мощность генератора в kVA.

Посмотрим, чему будет равен диаметр вала генератора.

Допустимый крутящий момент на вал генератора

$$M_d = \frac{\pi}{16} d^3 \cdot K_d \text{ (предполагая вал сплошным),}$$

где d — диаметр вала в см,

K_d — допустимое напряжение на кручение в kg/cm² для вала.

Полагая $K_d = 500$ kg/cm², получим

$$d = 4,6 \sqrt[3]{\frac{N''}{n} \cdot \frac{I_2}{I + I_2}} \text{ см.} \quad (25)$$

На рис. 6 дан диаметр вала, вычисленный по приведенной формуле в зависимости от $\frac{N''}{n}$ при данном $\frac{I_2}{I}$. Полученный диаметр вала дан без учета изгибающих его сил. Однако вместе с увеличением $\frac{N''}{n}$ растут также и изгибающие силы, действующие на вал. Прогиб вала генератора не должен быть большим, так как его критическое число оборотов должно лежать выше нормального, ибо в противном случае генератор должен будет сравнительно часто проходить через это число оборотов, что нежелательно.

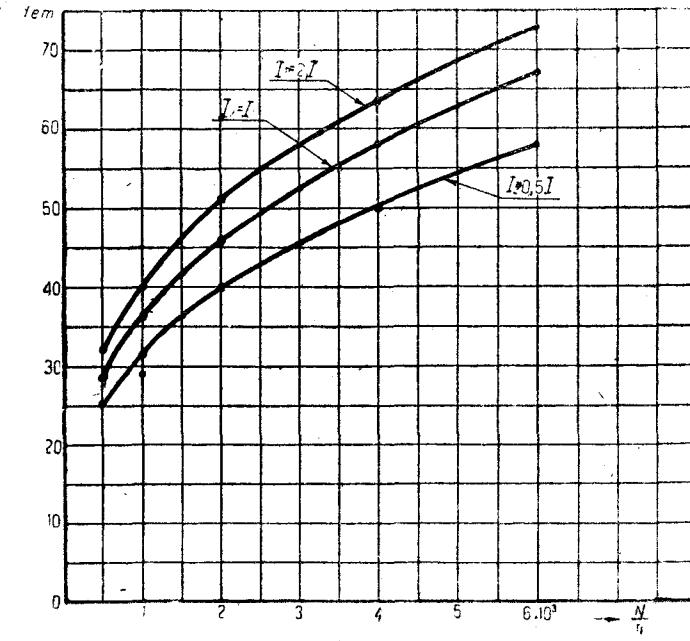


Рис. 6

Исходя из сказанного, следует заметить, что диаметр вала, полученный с учетом только скручивающих его сил, является сильно преуменьшенным.

Если учесть еще то обстоятельство, что применение маховика вызовет сильное увеличение длины всего агрегата и трудности монтажа его, то станет очевидным, что при больших разрывных мощностях установки вариант с маховиком является нежелательным, а в некоторых случаях (при больших значениях $\frac{N''}{n}$) и просто технически невозможным.

Наивыгоднейшее значение K

Во всех предыдущих выводах считалось, что величина K — отношение общего реактанца замкнутой цепи к реактанцу генератора, равное 1,5.

Но может возникнуть такой вопрос: какова должна быть величина K при данном реактанце короткого замыкания цепи, чтобы установка дала наибольшее значение разрывной мощности?

Решение этого вопроса возможно следующим образом: разрывная мощность, как уже указывалось, должна равняться:

$$N = 3I_r E_r \text{ (напряжение и ток фазные),}$$

$$I_r = (I_k - I_{st}) e^{-a_i t} + I_{st}$$

$$E_r = [(E_o - E_{st}) + E_{st}] (1 - \delta_s).$$

Как видно будет из дальнейшего, величина тока почти не зависит от δ_s . Поэтому и $(E_o - E_{st}) e^{-a_i t} + E_{st}$ тоже не является функцией δ_s . Поскольку обе эти величины являются только функциями времени (при данном x_k и δ_s), их при выяснении зависимости разрывной мощности от величины K можно считать постоянными.

Допустим, что

$$e^{-a_i t} = 1,$$

тогда

$$N = 3 \frac{E_o^2}{x_k} (1 - \delta_s) \cdot 10^{-3} \text{ kVA,} \quad (26)$$

где x_k — индуктивное сопротивление фазы короткозамкнутой цепи в омах

или

$$N = N'' (1 - \delta_s) = \frac{N''}{K} (1 - \delta_s) \text{ kVA.} \quad (27)$$

N'' — ударная мощность станции при включенном в цепь генератора трансформаторе в kVA.

Возвращаясь к выражению для δ_s , вспомним, что величина $K_2 = \left(\frac{x_k^2}{x_k^2} \right)$ входила знаменателем в правую часть подкоренного выражения и мы ее считали равной $1,5^2 = 2,25$.

Вводя снова величину K в виде буквенного коэффициента, получим:

$$N_{\text{kVA}} = N'' \frac{1}{K} \sqrt{1 - \frac{880 \cdot 10^3}{K^2 \cdot \beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right)}. \quad (28)$$

Дифференцируя по K это выражение и приравнивая полученное выражение нулю, имеем:

$$\frac{dN}{dK} = N'' \frac{-\frac{2}{K^3} + 4 \frac{880 \cdot 10^3}{K^5 \cdot \beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right)}{2 \sqrt{\frac{1}{K^2} - \frac{880 \cdot 10^3}{K^4 \beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right)}} = 0$$

или максимум разрывной мощности будет иметь место, когда действительно равенство

$$2 \frac{880 \cdot 10^3}{K^5 \beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right) = \frac{1}{K^3}.$$

Отсюда находим наивыгоднейшее значение K :

$$K = 1,1 \sqrt{\frac{1,76 \cdot 10^6}{\beta}} \sqrt{\sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1}. \quad (29)$$

Таким образом наивыгоднейшее значение величины K зависит при данной ударной мощности генератора только от величины β .

На рис. 7 приведены величины наивыгоднейшего значения K в зависимости от β при данной N'' . Как видно из рисунка для K существует вполне определенное значение, при котором от установки можно получить максимум разрывной мощности. В случае же отступления от этой величины установка дает меньшую разрывную мощность.

На рис. 7 для некоторых значений β значения K получаются меньше 1. Это доказывает, что при таких значениях β максимальная разрывная мощность получается при замыкании испытуемого выключателя только на генератор, и если бы можно было еще уменьшить его реактанц, то мы получили бы еще большее значение максимальной разрывной мощности установки. Это лишний раз подчеркивает его выгодность небольшого значения реактанца генератора.

Интересно, как уменьшится разрывная мощность установки, если величина K будет отлична от найденной.

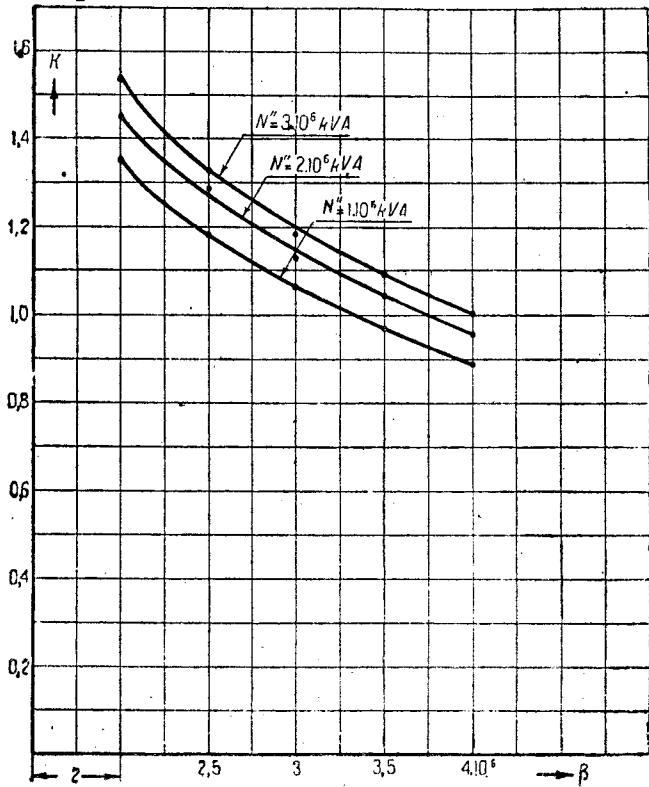


Рис. 7. Наивыгоднейшее значение K

Проследим это для значения $N'' = 2 \cdot 10^6$ кВА и $\beta = 2 \cdot 10^6$. Тогда

$$N \equiv \frac{1}{K} \sqrt{1 - \frac{0,98}{K^2}}.$$

На рис. 8 представлена кривая, дающая зависимость разрывной мощности установки от принятого значения величины K , причем при $K = 1,41$ (наивыгоднейшее значение K при этих условиях) N принята равной 100%.

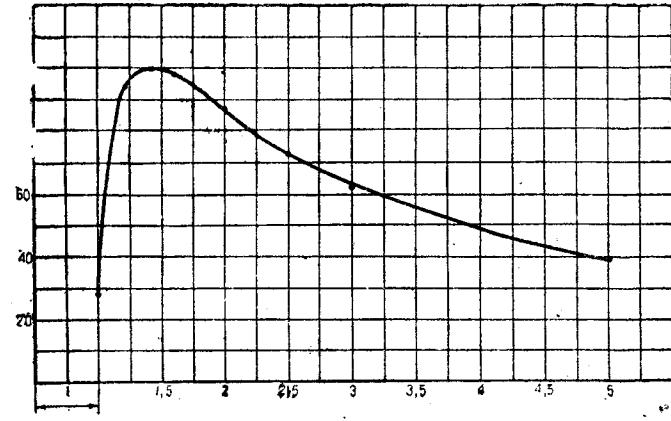


Рис. 8. Разрывная мощность установки при $N'' = 2 \cdot 10^6$ и $\beta = 2 \cdot 10^6$

Из рисунка видно, что при замыкании испытуемого выключателя только на генератор ($K = 1$) мы получим лишь 28% от той максимальной мощности, какую может развить генератор при том же активном сопротивлении короткозамкнутой цепи и увеличенном на 41% ее индуктивном сопротивлении.

Из этого же рисунка видно, что небольшие увеличения K , по сравнению с наивыгоднейшим его значением вызывают уменьшение разрывной мощности установки, уменьшения же очень рискованы и могут сильно изменить нагрузку станции.

Если исходить из ударной мощности установки в целом, а не генератора, то выражение для разрывной мощности будет иметь вид:

$$N = N_1'' \sqrt{1 - \frac{880 \cdot 10^3}{K^2 \beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N_1 K}{\beta}} + 1 \right)} \text{ kVA}, \quad (30)$$

где N_1'' — ударная мощность установки (при замыкании за трансформатором).

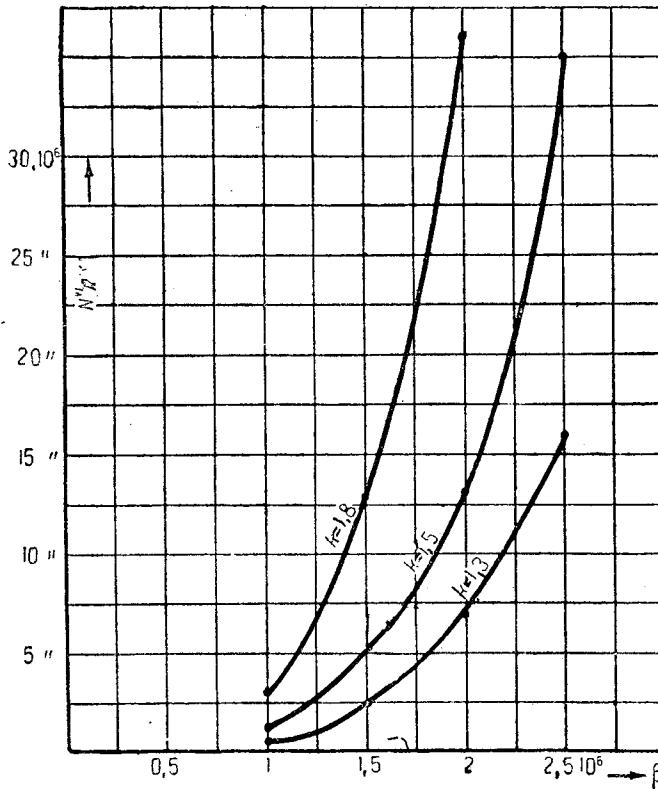


Рис. 9. Наивыгоднейшее значение ударной мощности генератора

Из этого выражения видно, что использование станции будет тем больше, чем больше K , т. е. чем больше при данной ударной мощности установки ударная мощность генератора. Такой результат следует из того, что, как было указано выше, запас живой силы ротора увеличивается с повышением ударной мощности генератора, а активное сопротивление его обмотки уменьшается. Правда, коэффициент C , учитывающий активное сопротивление короткозамкнутой цепи за генератором, не может оставаться постоянным и должен расти с увеличением K , но это обстоятельство изменит наш результат только в том случае, если C будет пропорционально K^n , где n порядка 2 или больше.

Так как реактанс трансформатора пропорционален квадрату числа его витков, а длина меди его обмотки пропорциональна первой степени (при прочих равных условиях) витков, то n не может быть величиной порядка 2. Из этого опять-таки следует, что реактанс генератора должен быть по возможности меньше.

Величина ударной мощности генератора.

Возьмем снова выражение для разрывной мощности установки

$$N = \frac{N''}{K} \sqrt{1 - \frac{880 \cdot 10^3}{K^2 \beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right)}$$

и вставим в него значение K из уравнения (29).

Тогда получим:

$$N = N'' \frac{0.64}{\sqrt{\frac{1.76 \cdot 10^6}{\beta}} \sqrt{\sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1}} \quad (31)$$

Из этого выражения видно, что если величина K взята исходя из наивыгоднейшего использования установки, то разрывная мощность последней будет тем выше, чем больше ударная мощность генератора.

Однако при некоторых условиях (рис. 7) такое значение K получить невозможно. Поэтому может возникнуть вопрос: каково наивыгоднейшее значение ударной мощности генераторов при данном значении K ?

На это можно ответить, пользуясь прежним способом:

$$N = \frac{N''}{K} \sqrt{1 - \frac{880 \cdot 10^3}{K^2 \beta} \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right)}.$$

Дифференцируя уравнение (28) по N'' и приравнивая полученное выражение нулю, получим:

$$2N'' - 2 \frac{880 \cdot 10^3}{K^2 \beta} N'' \left(1,22 \sqrt{\frac{N''}{\beta}} + 1 \right) - 0,61 \frac{880 \cdot 10^3}{K^2 \beta} N''^2 \sqrt{\frac{\beta}{N''}} = 0,$$

откуда можно определить

$$N'' = \frac{K^4 \cdot \beta^3}{1,77 \cdot 10^{12}} - \frac{K^2 \cdot \beta^2}{10^6} + 0,435 \beta. \quad (32)$$

Таким образом наивыгоднейшее значение N'' есть функция K и β .

На рис. 9 даны значения N'' в зависимости от β при данном K , вычисленные по формуле (32).

Из этих кривых следует, что при больших значениях β и K нельзя будет взять для ударной мощности генератора ее наивыгоднейшее значение, так как от генератора невозможно получить десятки миллионов киловольтампер. Это еще раз доказывает необходимость иметь в генераторе возможно меньший реактанс при данном напряжении, или возможно большую ударную мощность.

Для тех значений β и K , для которых может быть получено наивыгоднейшее значение ударной мощности генератора, является интересным проследить, насколько велики потери в использовании установки, если ударная мощность генератора не будет соответствовать своему наивыгоднейшему значению.

На рис. 10 дана кривая $N = f(N'')$ для $\beta = 1,5 \cdot 10^6$ и $K = 1,5$, причем величина разрывной мощности установки, соответствующая наивыгоднейшему значению N'' , принятая за 100. Из рисунка видно, что величина ударной мощности генератора сильно влияет на разрывную мощность установки, и при данном K , увеличивая ударную мощность генератора, можно снизить разрывную мощность установки, но не повысить ее.

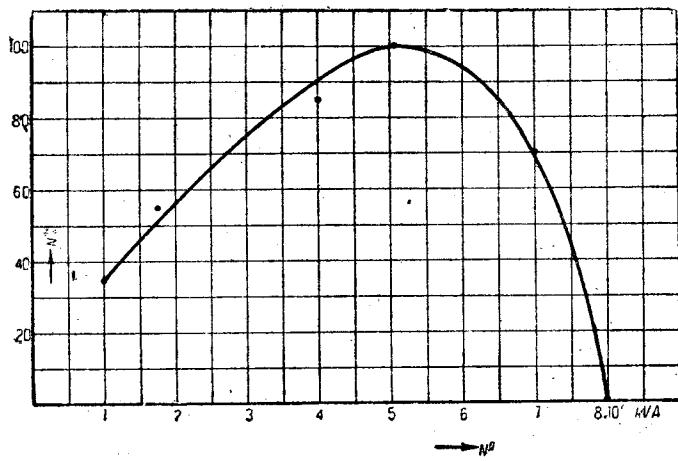


Рис. 10. Разрывная мощность установки при $K = 1,5$; $\beta = 1,5 \cdot 10^6$

Другими словами, уменьшение общего сопротивления замыкаемой цепи, т. е. увеличение ударной мощности установки не всегда (это зависит от β и K) ведет к повышению разрывной мощности установки, в то время как увеличение ударной мощности только генератора, оставляя ударную мощность установки постоянной, ведет к более эффективному использованию оборудования.

Разрывная мощность установки в зависимости от β

Во всех полученных уравнениях для определения разрывной мощности значение величины β таково, что с ее увеличением повышается разрывная мощность установки. Но увеличение β означает увеличение и размеров генератора. Поэтому интересно проследить градацию разрывной мощности установки с увеличением β .

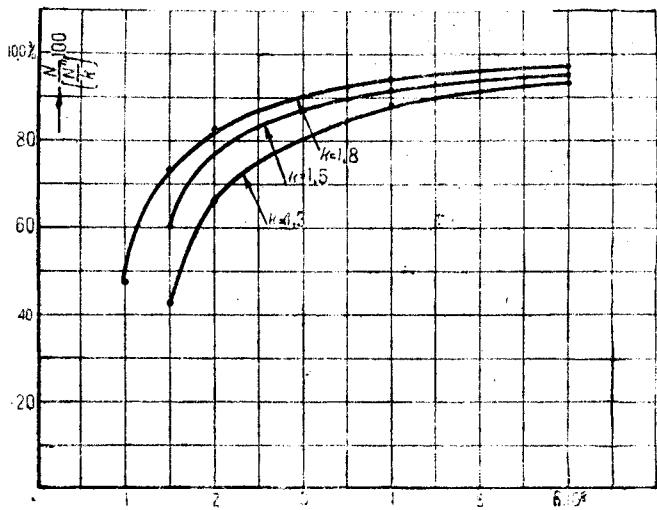


Рис. 11. Относительные величины разрывной мощности установки при $N'' = 2 \cdot 10^6$

На рис. 11 даны кривые $N = f(\beta)$, вычисленные по уравнению (28) при данном K и $N'' = 2 \cdot 10^6$ кВА, причем величины N даны в процентах от таковой при условии $\beta = \infty$ (т. е. $\delta_s = 0$).

Из кривых видно, что в начале изменения β сильно сказывается на увеличении разрывной мощности установки, но потом это увеличение становится уже менее заметным.

При больших K кривая быстрее приближается к своему максимальному значению (N''/K) , но само это значение, очевидно, меньше.

Влияние установившегося тока короткого замыкания на величину разрывной мощности установки

Произведение $I_r E_r$, входящее в выражение разрывной мощности, как уже указывалось, зависит от времени, протекшем между началом короткого замыкания и моментом отсчета.

Моментом отсчета для I_r считается начало расхождения контактов выключателя и моментом отсчета для E_r — момент погасания дуги.

Эти два момента отличаются друг от друга на время горения дуги.

Обозначим время, протекшее между началом короткого замыкания и началом расхождения контактов через t_1 и время горения дуги через t_2 .

Тогда

$$I_r = (I_k - I_{st}) e^{-a_r t_1} e^{a_r t_2}$$

и

$$E_r \approx (E_0 - E_{st}) e^{-a_r (t_1 + t_2)} + E_{st}$$

считаем, что наводимая э. д. с. в генераторе и переменная составляющая тока короткого замыкания затухают одинаково. Эти уравнения можно представить в таком виде:

$$I_r = I_k m_1$$

$$E_r = E_0 \cdot m_2$$

где m_1 и m_2 — коэффициенты, зависящие от времени разности между I_k и I_{st} . Так как время, определяющее m_1 , и время, определяющее m_2 , не будут одинаковы, то и $m_1 \neq m_2$, причем t_1 может быть любой в известных пределах величиной (эта величина может быть регулирована), в то время как t_2 зависит от испытуемого выключателя, и в этом смысле она постоянна.

Принимая во внимание, что при испытании мощного выключателя придется иметь дело с высоким напряжением, т. е. замыкать цепь за трансформатором, положим $t_2 = 0,15$ сек.

Для определения коэффициентов m_1 и m_2 воспользуемся кривыми Biermanns¹. Тогда для определения разрывной мощности установки в долях от ее ударной мощности следует только перемножить коэффициенты m_1 и m_2 , взятые для принятых

$$t_1, t_2 \text{ и } \frac{I_k}{I_{st}}$$

На рис. 12 даны кривые относительных значений разрывных мощностей в зависимости от $\frac{I_k}{I_{st}}$ при $t_2 = 0,15$ сек. и $t_1 = 0$, 0,15 и 0,25 сек., причем разрывная мощность при $\frac{I_k}{I_{st}} = 1$ (т. е. когда $I_r = I_k$ и $E_r = E_0$) принята за 100.

Из кривых видно сильное влияние величины установившегося тока короткого замыкания на использование установки. При той же ударной мощности установки увеличение установившегося тока короткого замыкания может сильно повысить предельную разрывную мощность, на которую можно будет испытать выключатель.

Поэтому, как и на сдачу в оборотах генератора, на величину установившегося тока короткого замыкания при проектировании установки следует обратить серьезное внимание.

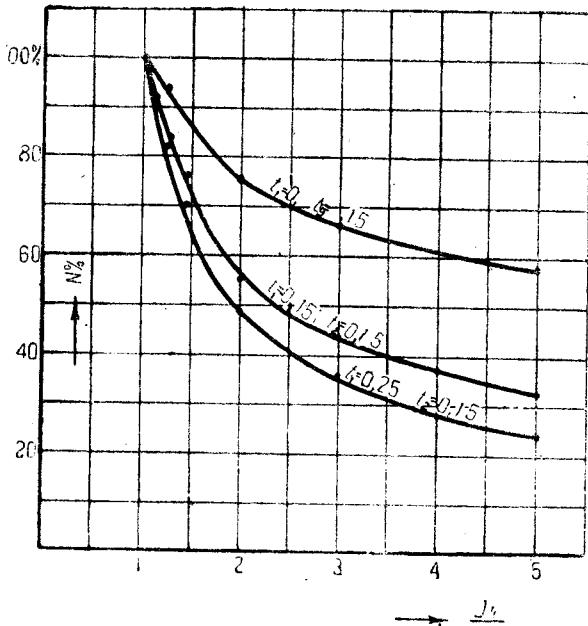


Рис. 12. Влияние установившегося тока короткого замыкания на разрывную мощность установки

Зависимость установившегося тока короткого замыкания от числа оборотов генератора

При определении влияния скольжения на разрывную мощность установки мы не принимали во внимание изменения величины расчетного тока. В действительности же неизменным в этом случае остается только ударный ток (т. е. одна из величин, определяющих расчетный ток), установившийся же ток короткого замыкания будет иной, нежели высчитанный для начального числа оборотов генератора.

Поэтому является интересным проследить изменение установившегося тока короткого замыкания при изменении числа оборотов генератора.

На рис. 13 представлены кривые холостого хода для $n_s = n_1$ (начальному числу оборотов) и $n_s = n_2$ (соответственно скольжению δ_s). При замене этих кривых прямыми линиями OE_1 и OE_2 установившиеся токи короткого замыкания могут быть представлены как

$$I_{st1} = (AW_c - AW_{a1}) \frac{\lg z_1}{z_1}$$

при

$$n = n_1$$

¹ Biermanns, Überströme in Hochspannungsanlagen, стр. 261.

и

$$I_{st2} = (AW_e - AW_{a2}) \frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{z_2}$$

при

$$n = n_2,$$

где z_1 и z_2 —импедансы замыкаемой цепи с учетом обмотки генератора, соответствующие числам оборотов n_1 и n_2 ,

AW_e —ампер-витки возбуждения,

AW_{a1} —ампер-витки реакции якоря, соответствующие I_{st1} ,

AW_{a2} —ампер-витки

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{E_1}{AW_e}$$

и

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{E_2}{AW_e},$$

где E_1 и E_2 —наводимые э. д. с. холостого хода в обмотке генератора, соответствующие ампер-виткам AW_e и числам оборотов n_1 и n_2 .

Очевидно, что

$$E_2 = E_1 \frac{n_2}{n_1}.$$

Тогда

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = \frac{AW_e - AW_{a2}}{AW_e - AW_{a1}} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{n_2}{n_1}.$$

Для простоты рассуждения будем считаться только с продольными ампер-витками реакции якоря. Допустим, что

$$AW_{a1} \cong c \cdot I_{st1} \sin \varphi_1$$

$$AW_{a2} \cong c \cdot I_{st2} \sin \varphi_2,$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{x_1}{z_1}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_2}{z_2},$$

и

где

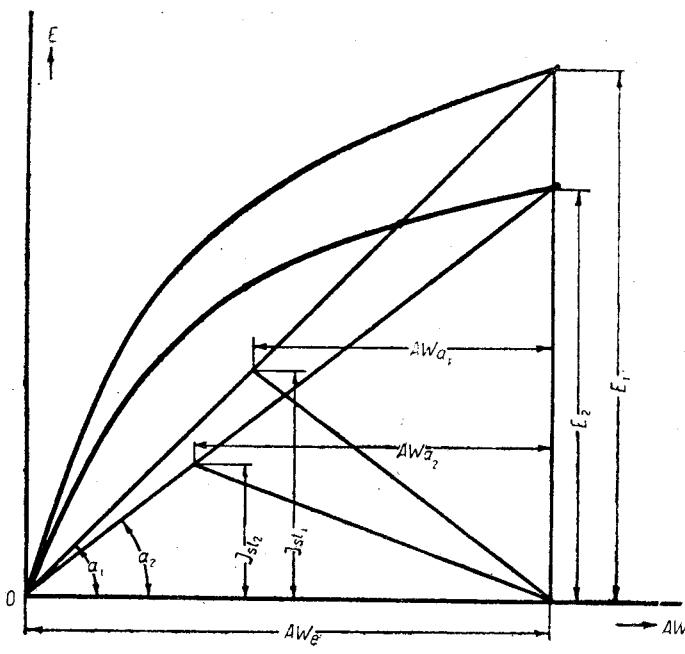


Рис. 13

где x_1 и x_2 —реактансы замкнутой цепи включая обмотку генератора, соответствующие n_1 и n_2 .

Очевидно, что

$$x_2 = x_1 \frac{n_2}{n_1}.$$

Выражая AW_{a2} через AW_{a1} , имеем

$$AW_{a2} = AW_{a1} \frac{I_{st2}}{I_{st1}} \cdot \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}.$$

Подставляя в уравнение для $\frac{I_{st2}}{I_{st1}}$ вместо AW_{a2} полученное выражение, получим

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = \frac{AW_e - AW_{a1}}{AW_e - AW_{a1}} \frac{I_{st2}}{I_{st1}} \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1} \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{n_2}{n_1}.$$

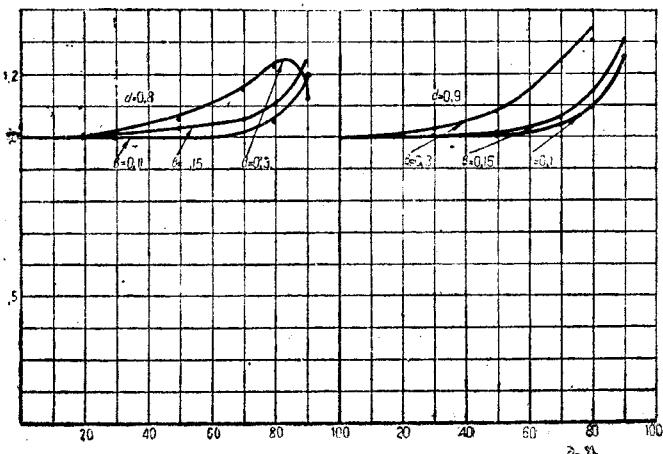


Рис. 14

Решая это уравнение относительно $\frac{I_{st2}}{I_{st1}}$, получим

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = \frac{AW_e}{AW_e - AW_{a1} \left(1 - \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1} \cdot \frac{z_1 n_2}{z_2 n_1} \right)} \cdot \frac{z_1 \cdot n_2}{z_2 \cdot n_1}.$$

Но

$$\frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1} \cdot \frac{z_1 n_2}{z_2 n_1} = \left(\frac{z_1 n_2}{z_2 n_1} \right)^2 = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \frac{r^2 + x_1^2}{r^2 + x_2^2}$$

Положим

$$r = x_1 \cdot b.$$

Тогда, обозначая $\frac{z_1 n_2}{z_2 n_1}$ через s , получим

$$s = \frac{n_2}{n_1} \sqrt{\frac{1 + b^2}{b^2 + \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2}}$$

и выражение для $\frac{I_{st2}}{I_{st1}}$ примет вид

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = s \frac{AW_e}{AW_e - AW_{a1} (1 - s^2)}. \quad (33)$$

Обозначая далее через d отношение $\frac{AW_{a1}}{AW_e}$, получим окончательно

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = \frac{s}{1 - d(1 - s^2)}. \quad (34)$$

На рис. 14 представлены кривые для $\frac{I_{st2}}{I_{st1}}$ в зависимости от d для $d = 0,8$ и $0,9$ и $b = 0,05, 0,15$ и $0,3$, вычисленные по формуле (32).

Как видно из рисунка, при сдаче в оборотах генератора установившийся ток не только не падает, но даже возрастает, и его увеличение доходит до таких значений δ_s , которые никак не могут быть допущены при опыте.

Объясняется это изменением величины размагничивающих ампер-витков якоря и уменьшением z : чем меньше отношение $\frac{n_2}{n_1}$, тем меньше $\sin \varphi$ и z . Изменение наведенной э. д. с. в генераторе за счет изменения числа оборотов генератора влияет на установившийся ток короткого замыкания в меньшей степени, чем увеличение тока за счет уменьшения $\sin \varphi$ и z .

При разборе влияния сдачи в оборотах генератора на установившийся ток короткого замыкания мы пренебрегали реакцией якоря от активной составляющей тока короткого замыкания и влиянием насыщения машины.

Что касается первого допущения, то при тех значениях, которые будут иметь место в цепи при испытании мощных выключателей, и тех скольжениях, какие можно допустить для

генератора, можно было бы показать, что и с учетом реакции якоря активной составляющей тока короткого замыкания характер кривых рис. 14 не изменится. Но при учете реакции якоря пропорциональный $\cos \varphi$, вывод и результирующая формула сильно усложнились бы, и при построении кривых пришлось бы задаться многими параметрами генератора и внешней цепи, что повлияло бы на общность вывода.

Пренебрежение коэффициентом, учитывающим насыщение машины, тоже не может внести большой ошибки, так как мы им пренебрегаем как для I_{st1} , так и для I_{st2} , и при их отношении опущение упомянутых коэффициентов скажется незначительно.

Из рис. 14 также следует, что при небольших значениях δ , значение $\frac{I_{st2}}{I_{st1}}$ лежит очень близко к единице. Поэтому при предварительных расчетах влиянием уменьшения оборотов генератора на величину установившегося тока короткого замыкания можно пренебречь.

Зависимость установившегося тока короткого замыкания от ампер-витков возбуждения и насыщения машины

Если э. д. с. генератора, получающаяся при установившемся режиме короткого замыкания, имеет значение, лежащее за пределом кривой характеристики холостого хода, величина установившегося тока короткого замыкания сравнительно мало отличается от величины тока, соответствующего начальному времени процесса (I_k), и дальнейшее увеличение ампер-витков возбуждения отразится на величине тока установившегося режима незначительно.

Поэтому рассмотрение зависимости установившегося тока короткого замыкания от ампер-витков возбуждения будет произведено, считая, что величина э. д. с. лежит на прямолинейной части характеристики холостого хода (рис. 15).

В этом случае мы имеем

$$I_{st} = \frac{E_{st}}{z} = (AW_e - AW_a) \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$I_{st} \equiv AW_e - AW_a.$$

Так как

$$AW_a = k_a I_{st},$$

то получим

$$I_{st} \equiv AW_e, \quad (35)$$

т. е. при указанных допущениях величина установившегося тока короткого замыкания прямо пропорционально величине ампер-витков возбуждения.

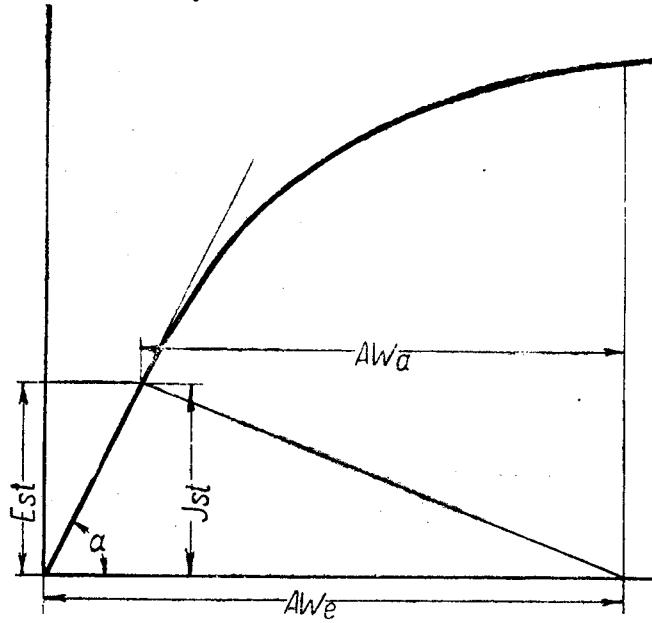


Рис. 15

При определении зависимости установившегося тока короткого замыкания от насыщения машины вопрос можно поставить так: как изменится величина тока при изменении соотношения между ампер-витками возбуждения, приходящимися на воздушный зазор, и ампер-витками возбуждения, приходя-

щимися на железо машины, оставляя сумму указанных ампер-витков постоянной?

При условии прямолинейности характеристики холостого хода (рис. 16) установившийся ток короткого замыкания мо-

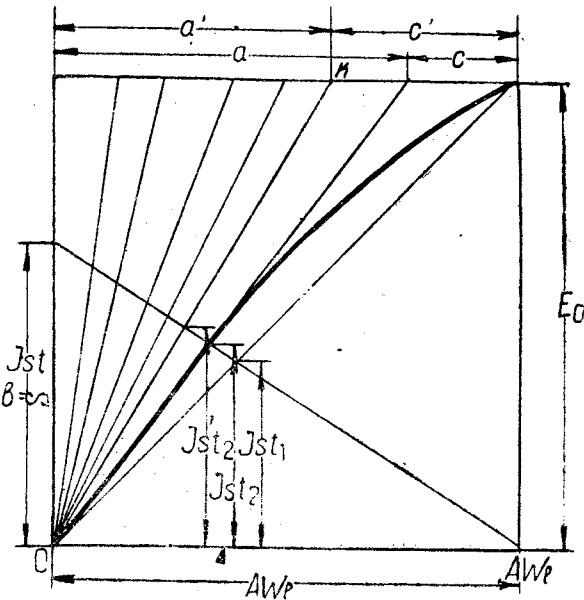


Рис. 16

жет быть характеризован отрезком I_{st1} . С учетом насыщения машины действительная величина установившегося тока короткого замыкания

$$I_{st2} = K_2 I_{st1},$$

где K_2 — коэффициент, учитывающий насыщение машины, причем

$$K_2 = \frac{I_{st2}}{I_{st1}}.$$

Таким образом зависимость тока установившегося режима от насыщения машины может быть охарактеризована величиной K_2 как функцией насыщения машины.

Обозначим через b_1 отношение ампер-витков возбуждения, приходящихся на всю машину (AW_e), к ампер-виткам, приходящимся на воздушный зазор (AW_δ). (Рис. 16).

$$b_1 = \frac{AW_e}{AW_\delta} = \frac{a + c}{a}$$

Допустим, что при всех значениях b_1 э. д. с. генератора при установившемся режиме короткого замыкания находится на прямолинейной части характеристики холостого хода. Тогда, проведя какую-либо линию OK из точки O , для которой

$$b_1' = \frac{a' + c'}{a'},$$

находим установившийся ток короткого замыкания I_{st2}' (рис. 16).

Отношение тока I_{st2}' , найденного при данном значении b_1' , к установившемуся току короткого замыкания I_{st1} , полученного при условии прямолинейности характеристики холостого хода, и будет, очевидно, характеризоваться величиной K_2 .

На рис. 17 дана кривая изменения величины K_2 в зависимости от величины b_1 , полученная путем указанного построения на рис. 16.

Как видно из диаграммы рис. 17, кривая $K_2 = f(b_1)$ вначале идет довольно круто вверх и потом асимптотически приближается к своему предельному значению 1,67, соответствующему $b_1 = \infty$.

Кривая рис. 17 действительна для всякого данного значения AW_e и E_o , так как масштабы напряжения и ампер-витков возбуждения всегда могут быть подобраны так, что E_o и AW_e получатся такими же, как на рис. 16.

Если учесть влияние ампер-витков возбудителя [уравнение (35)] и насыщение машины (рис. 17) на установившийся ток короткого замыкания одновременно, то для получения большой величины установившегося тока короткого замыкания вместе с увеличением ампер-витков возбудителя следует увеличить воздушный зазор машины, так как увеличение ампер-

витков возбудителя за счет увеличения насыщения выгодно только до известного предела, за который, если принять во внимание условия перегрева генератора, переходить нельзя.

Зависимость установившегося тока короткого замыкания от числа оборотов возбудителя

Изменение числа оборотов возбудителя возможно в том случае, если он будет находиться на одном валу с генератором.

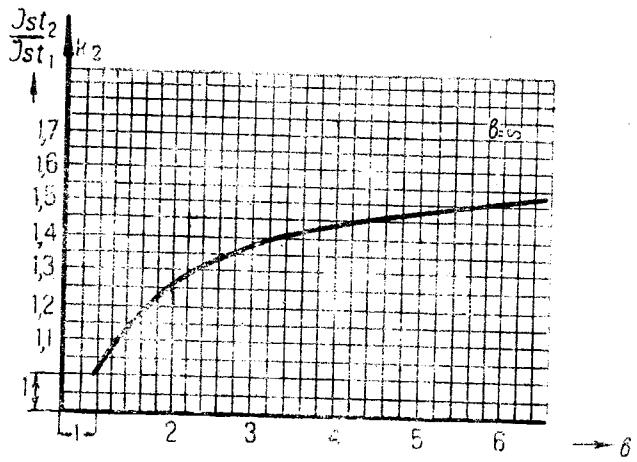


Рис. 17

Изменение тока установившегося режима от числа оборотов возбудителя разберем для различных систем возбудителя.

При постороннем возбуждении возбудителя (рис. 18)

В этом случае с уменьшением числа оборотов возбудителя соответственно будет изменяться напряжение на клеммах возбудителя. Без учета реакции якоря это напряжение будет

прямо пропорционально числу оборотов возбудителя, и зависимость установившегося тока короткого замыкания от числа оборотов возбудителя сводится к зависимости его от ампервитков возбуждения (конечно, сопротивление цепи обмотки возбуждения у генератора и возбудителя предполагается при этом постоянным).

Но эта зависимость при условии прямолинейности характеристики холостого хода генератора была выявлена раньше и представляет собой прямую линию (рис. 18).

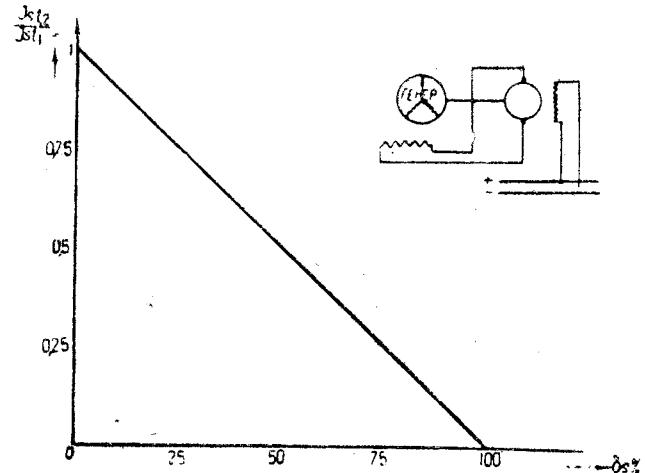


Рис. 18

При самовозбуждении возбудителя (рис. 19)

И в этом случае задачу можно считать решенной, если удастся найти зависимость тока возбуждения генератора от числа оборотов возбудителя, так как зависимость установившегося тока короткого замыкания от величины тока возбуждения уже найдена.

Имея кривую холостого хода возбудителя, строим нагрузочный треугольник abc (рис. 19) и находим напряжение на

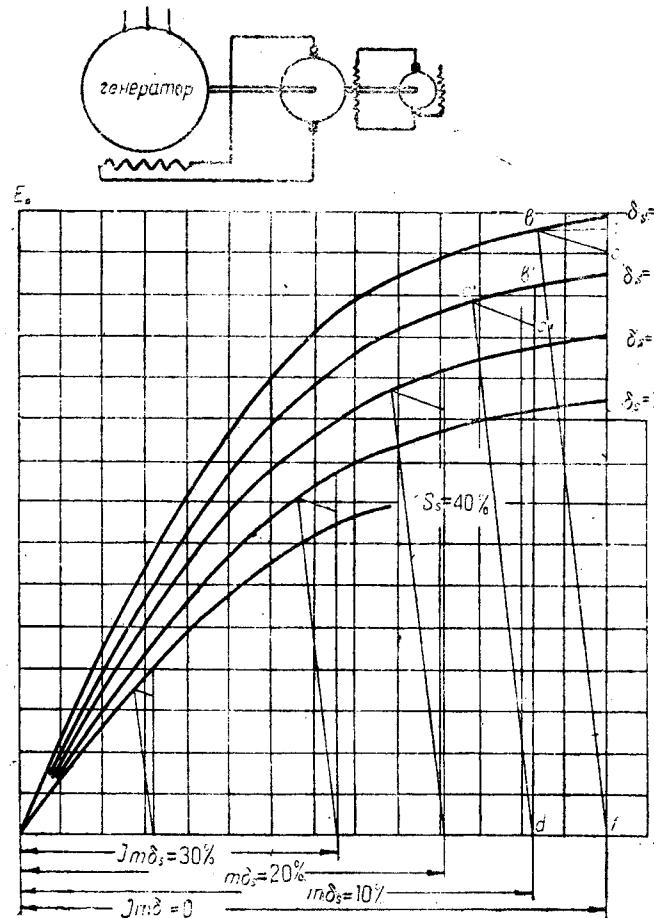


Рис. 20

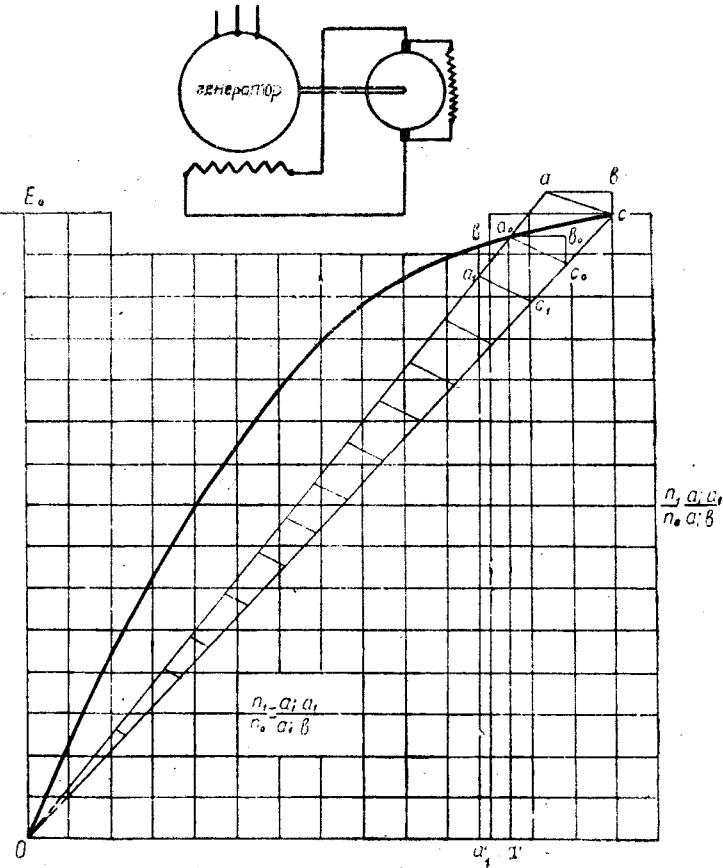


Рис. 19

зажимах возбудителя, соответствующее начальному (при $n = n_1$) току возбуждения генератора.

Полагая, что стороны треугольника abc пропорциональны I_e (току возбуждения генератора), можем для нахождения I_e' (при $n = n_2$) поступить следующим образом: соединим точку c с a и проведем параллельно ac линию a_1c_1 . Тогда a_1a_1' будет напряжение на зажимах возбудителя и a_1c_1 — ток в якоре возбудителя при этом напряжении. Скорость вращения возбудителя, при котором наступит такой режим, найдется как

$$n_2 = n_1 \frac{a_1' a}{a_1' b}$$

Таким образом, проведя какую-либо линию a_1c_1 параллельно ab , находим для $\frac{n_2}{n_1} = \frac{a_1' a}{a_1' b}$ отношение токов возбуждения генератора при $n = n_1$ и $n = n_2$:

$$\frac{I_e'}{I_e} = \frac{a_1 c_1}{a_0 c_0} = \frac{a_1 a_1'}{a' a_0}$$

и в случае прямолинейности характеристики холостого хода генератора

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = \frac{AW_{e2}}{AW_{e1}} = \frac{a_1 a_1'}{a' a_0}$$

Для взятой кривой холостого хода возбудителя кривая

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = f(\delta_s)$$

дана на рис. 21.

В случае самовозбуждения возбудителя $\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = 0$ уже не при $\delta_s = 100\%$, как это было при постороннем возбуждении возбудителя, а значительно раньше значение δ_s , при котором $\frac{I_{st2}}{I_{st1}}$ уменьшается теоретически до нуля, очевидно, соответствует критическому числу оборотов возбудителя, т. е. тому числу оборотов, при котором возбудитель перестанет самовозбуждаться.

Таким образом при самовозбуждении возбудителя уменьшение установившегося тока короткого замыкания вследствие изменения числа оборотов возбудителя происходит быстрее, чем при постороннем его возбуждении, и при том тем быстрее, чем меньше насыщение возбудителя.

При каскадной системе возбуждения возбудителя (рис. 20)

В этом случае кривая, полученная способом, указанным в отношении кривой рис. 21, будет представлять собой $\frac{I_{m2}}{I_{m1}}$ — кривую отношения токов возбуждения главного возбудителя в зависимости от δ_s .

Далее можно поступить следующим образом: имея кривые холостого хода главного возбудителя для различных δ_s (рис. 20) и характеристический треугольник lbc при нормальном токе и нормальной скорости вращения ($\delta_s = 0$), берем для данного δ_s ток возбуждения главного возбудителя (например, I_m при $\delta_s = 10\%$), найденный вышеуказанным способом, и проводим db' параллельно fb (рис. 20), d'' параллельно $f'c$ и $l'c$ параллельно lc .

Тогда отношение $\frac{c'd}{fc}$ равняется отношению токов возбуждения генератора при взятом δ_s и при $\delta_s = 0$, т. е. без учета насыщения генератора,

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = \frac{c'd}{fc}$$

Повторяя указанные построения для другого какого-либо значения δ_s , можно точно таким же образом получить для него значение $\frac{I_{st2}}{I_{st1}}$.

В случае аналогичности кривых холостого хода главного и вспомогательного возбудителей кривая рис. 21 будет также представлять собой отношение токов в обмотке возбуждения главного возбудителя при $\delta_s = \text{var}$ и $\delta_s = 0$.

В случае же возбудителя с самовозбуждением ток в его якоре (ток возбуждения генератора) изменяется по тому же закону, что и ток в его цепи возбуждения. Ток возбуждения главного возбудителя при условии аналогичности кривых холостого хода главного и вспомогательного возбудителей будет соответствовать таковому же в цепи возбуждения вспомогательного возбудителя. Но если это так, то ток в индукторе генератора (или, что тоже самое, в цепи якоря главного

возбудителя) будет изменяться по тому же закону, что и ток в якоре вспомогательного возбудителя, т. е. при взятой системе возбуждения генератора и при условии аналогичности кривых холостого хода главного и вспомогательного возбудителей ток возбуждения генератора изменяется по тому же закону в зависимости от δ_s , что и при системе самовозбуждения возбудителя.

То же самое можно сказать и в отношении установившегося тока короткого замыкания генератора.

Таким образом при указанных условиях кривая рис. 21 действительна при каждой системе возбуждения.

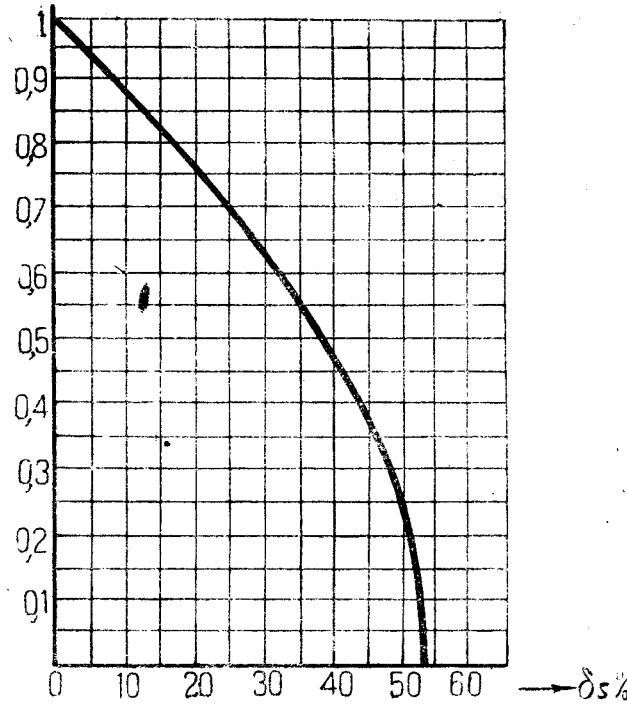


Рис. 21

При учете насыщения машины отношение установившегося тока короткого замыкания при $n = n_2$ к таковому же при $n = n_1$ будет

$$\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = \frac{AW_{e2}}{AW_{e1}} \cdot \frac{K_2}{K_1}$$

где K_2 и K_1 — коэффициенты, учитывающие насыщение машины.

Имея кривую холостого хода генератора, можно проследить изменение установившегося тока короткого замыкания и с учетом коэффициентов K_2 и K_1 .

Не вдаваясь в подробности этого вопроса, все же укажем, что если э. д. с. генератора при установившемся режиме будет лежать ниже колена кривой холостого хода, — кривая $\frac{I_{st2}}{I_{st1}} = f(\delta_s)$ с учетом коэффициентов K_2 и K_1 будет лежать ниже вышеуказанных кривых, и таким образом в этом случае уменьшение установившегося тока короткого замыкания при уменьшении числа оборотов возбудителя будет еще резче, чем только что выявленное.

Поэтому сцеплять вал возбудителя с валом генератора не следует. Возбуждение генератора должно питаться от агрегата, имеющего самостоятельный привод.

Принимая во внимание сильное влияние величины ампервитков возбуждения на использование установки в целом, надо иметь в виду, что возбудитель должен пропускать через ротор генератора очень большой ток. А так как время опыта мало по сравнению с временем, когда генератор находится под возбуждением, рациональным является такое устройство системы возбуждения, которое увеличивает ток в обмотке возбуждения генератора только на время опыта короткого замыкания, ибо в противном случае мощность возбудителя была бы очень велика.

Заключение

Положенные в основу нашего рассуждения условия получение минимального снадания числа оборотов генератора и максимального значения установившегося тока короткого за-

мыкания привели к некоторым соотношениям, позволяющим подойти к выбору агрегата с точки зрения максимального его использования.

Количественные соотношения получились при целом ряде данных (величины индукции, времени опыта, соотношения между активным сопротивлением генератора и прочих частей короткозамкнутой цепи и т. д.).

Конечно, принятые нами числовые значения указанных величин не могут претендовать на точность; они взяты ориентировочно, и в некоторой степени эти величины являются

функциями заданной величины разрывной мощности установки. Тем не менее, полученные соотношения намечают пути к решению поставленной задачи, а взятые числовые примеры наглядно показывают, как важно выполнить основные условия малое δ_s и большое I_{st} .

Для конкретно заданной разрывной мощности установки и условий ее работы можно числовые значения взятых нами ориентировочно величин наметить более точно и затем определить условия наивыгоднейшего использования оборудования.

СТАВИМ НА ОБСУЖДЕНИЕ

За изменение правил безопасности и устройства электротехнических сооружений*

Фед. Вейтков и А. С. Грамматчиков
Наркомтруда СССР

Применяемые в практике нашего строительства электротехнические правила и нормы, действующие на основании обязательного постановления НКТруда СССР от 8 октября 1929 г. за № 327 и в свое время одобренные IX Всесоюзным электротехническим (1 Всесоюзным энергетическим) съездом, особенно по разделу безопасности и нормам для электротехнических сооружений, нуждаются в значительных изменениях.

Этого прежде всего требуют многообразная практика нашего бурно развивающегося электростроительства, некоторые печальные уроки травматизма от электротока и отдельные крупные достижения советской научно-технической мысли.

Главной технической инспекцией НКТ СССР подготовляются к узаконению целый ряд существенных поправок, изменений и дополнений к нынешним правилам безопасности¹, с которыми мы и хотели бы ознакомить широкие круги электриков. Это тем более необходимо, что повсюду на местах каждой из крупных станций и каждое из электрообъединений (Могэс, «Электроток» и др.) имеют свои подробные инструкции для внутреннего пользования, разработанные на основании уже устаревших правил.

Уже в самом названии правил имеется существенный ляпсус. Правила наименованы так: «Правила безопасности и правила устройства для электротехнических сооружений сильного тока (курсив наш. Авторы) низкого и высокого напряжений».

Как видно из названия, слова «сильного тока» обозначали нечто мало определенное, ибо успехи техники за последние три года дали возможность оперировать с «сильными токами» и в так называемых слаботочных установках (связи). Кроме того, в самих правилах не было точно указано, что следует подразумевать под установками сильного тока. Таким образом из самого названия правил вполне резонно слова «сильного тока» исключаются.

Проблемы безопасной эксплуатации электрооборудования в наших условиях—при огромном притоке во все отрасли народного хозяйства многочисленных новых и технически мало квалифицированных кадров—приобретают большое значение.

Надежное в смысле безопасности выполнение электроустановок ставит на первое место вопросы защитных заземлений².

Поэтому допускающееся ранее привинчивание или склеивание заземляющих проводов в случае присоединения их к электродам в дальнейшем допустимо лишь при предупреждении окисления стыков и лучше всего должно производиться сваркой. В этом сущность исправления § 22 правил.

Ряд тревожных сигналов с мест и печальных уроков травматизма заставил четко сформулировать в § 36 условия расположения элементов аккумуляторных батарей, чего в нынешних нормах совершенно не было.

* Огромный рост электрификации Союза и глубокое проникновение электрического привода во все отрасли социалистической промышленности требуют коренного пересмотра устаревших правил безопасности и устройства электротехнических сооружений с участием в этом пересмотре широкой массы рабочих и специалистов электрохозяйства. Статья тт. Вейткова и Грамматчика вкладывает начало обсуждению этого вопроса.

Ред.

¹ См. второй сборник электротехнических правил и норм изд. ВЭО, 1931, стр. 36—72

² Пересмотр всех временных руководящих указаний по устройству защитных заземлений на базе последних достижений—очередная работа тех инспекции НКТ СССР.

Вместо исключаемого из § 36 второго абзаца внесено следующее:

«Расположение отдельных элементов аккумуляторных батарей должно быть таким, чтобы разность потенциалов между расположеннымми друг против друга элементами не превосходила 80 В после зарядки. В этом случае разрешается ширина свободного прохода—не менее 1 м. При условии, когда напряжение между расположеннымми друг против друга элементами превышает 80 В, ширина прохода—не менее 1,5 м.

Далее, в целях более безопасной эксплуатации аккумуляторных батарей, правилами предусмотрено (добавление в конце § 163):

«Непосредственно перед входом в аккумуляторное помещение должен устраиваться тамбур с минимальными размерами по площади 1,5 м² и высотой не ниже 2,5 м. Двери, входа в тамбур и аккумуляторное помещение, должны открываться наружу».

Большую путаницу и много недоразумений вносил в нашу практику § 43 нынешних правил безопасности по вопросу нормирования ширины свободного прохода в распределительных устройствах.

В частности § 43 правил требовал, чтобы расстояние между незащищенными токоведущими частями и противоположной стеной было 1,5 м при высоком напряжении до 6 600 В. При напряжении выше 6 600 В это расстояние должно увеличиваться на двойной искровой промежуток (разрядка наша. Авторы) соответствующий применяемому напряжению. Но каким образом исчислять этот «двойной искровой промежуток», между какими электродами и при каких условиях должна измеряться его длина? И наконец, какой смысл имеет увеличение ширины прохода на 1,72 см при 22 кВ или на 9,8 м при 100 кВ?

Постоянные недоразумения вызывали также и вопросы об устройстве ограждений. Что ограждения должны устраиваться, это из § 43 совершенно было ясно, но вопрос о том, дает ли право устройство ограждений уменьшить ширину прохода, оставался неразрешенным, а в комментариях к правилам, разработанным по поручению ЦЭС в примечании 3 к § 43 сказано туманно, что «в случае устройства ограждений густыми решетками наименьшие расстояния могут быть меньше предписанных нормами».

Насколько же «меньше»—об этом нигде и никем не указывалось.

Таким образом поправки к § 43 сводятся к следующему:

Абзац 3 в конце дополнен так: «Расстояние между токоведущими частями, расположенными по обе стороны прохода должно быть не менее 1,5 м. Если с одной стороны прохода имеются части установок, находящиеся под высоким напряжением, а с другой под низким,—расстояние между токоведущими частями должно быть не менее 2 м.

В абзаце 4-м после слов «не менее 1,5 м» добавлено: «между токоведущими частями и стеной и 2 м между токоведущими частями, расположенными с обеих сторон прохода».

От слов: «при более высоком напряжении» все это исключено до конца, а вместо выброшенного вставлено: «при напряжении выше 6 000 В расстояние между токоведущими частями и стеной должно увеличиваться на 1 см на каждые 1 000 В сверх 6 000 В (а при расположении токоведущих частей по обе стороны прохода—не менее 2 см на каждую 1 000 В) сверх основного расстояния».

Абзац 6-й (в конце) дополнен так: „Наличие защитных ограждений не дает права уменьшать расстояние между токоведущими частями и токоведущими частями и стеной“.

Пункт 55 правил требовал установки масляных выключателей большой мощности в распределительных устройствах более 10 000 kVA таким образом, чтобы между ними и обслуживающим лицом находилась защитная стена, предохраняющая от пламени и горячего масла. Кстати сказать, совершенно непонятно, к чему относилась указанная в примечании мощность 10 000 kVA (мощность короткого замыкания не предполагалась). Наименьшая разрывная мощность масляных выключателей ВМ-5 ВЭО составляет 15 000 kVA. Следовательно, необходимо все масляные выключатели устанавливать за защитными стенками.

А как быть в таком случае с бронированными распределительными сборками, нашедшими себе за последние 3 года применение у нас на некоторых электростанциях с масляными выключателями фирмы Метро-Виккерс типа К-5 с разрывной мощностью до 300 000 kVA? О них в правилах ничего не говорилось.

Эти и другие неясности в связи с устройством маслостоков заставили изменить и дополнить § 55 правил следующим образом.

§ 55. Примечание (изложено в следующей редакции). „Большими устройствами (установками) считаются такие, мощность короткого замыкания которых превосходит 15 000 kVA“.

Добавлено: „Примечание 2. Применение бронированных сборок с масляными выключателями, не имеющими защитной стены, допускается только на электрических станциях и подстанциях. В пусковых моторных ящиках в качестве защитной служит передняя железная стена ящика.“

Далее добавлено: в) Если масляные выключатели устанавливаются во взрывных камерах, не разрешается устраивать специальных маслосборных ям и маслостоков. Во всех остальных случаях, если количество масла, заключенного в аппарате, превышает 175 kg, необходимо устраивать особые резервуары под аппаратами (с решеткой и слоем гравия).

Примечание. Взрывной камерой для установки масляных выключателей считается совершенно изолированное, непрерывно вентилируемое помещение с отдельной огнестойкой дверью, ведущей непосредственно наружу“.

Необходимость подвески проводов высокого напряжения с повышенной надежностью в тех случаях, когда линия проходит через заселенные места или когда она настолько близко подходит к дорогам, что движение по последним в случае отрыва проводов представило бы опасность,—неоспорима! Между тем ни в правилах, ни в пояснениях к ним, нигде не было указаний на то, что значит „повышенная прочность“. Практически же вопрос о способах подвески проводов каждый раз вызывал бесконечные споры и являлся причиной многочисленных недоразумений.

В связи с этим в нынешний § 126 правил вносится дополнение, из которого „повышенная надежность“ понимается как устройство воздушной линии „с двойной подвеской провода к двум изоляторам, двум гирляндам“.

В разделе Л правил „Помещения опасные в отношении взрывов“ (§ 194) допускалось применение для целей освещения „герметически закрыты“ источников света.

Такое по существу правильное требование было однако, с одной стороны, слишком общим, и с другой,—не давало полной гарантии безопасности при такой арматуре. Базируясь на успехах завода „Электросвет“ в производстве взрывобезопасной аппаратуры, в вышеуказанный § 194 вносится весьма существенное и конкретное дополнение в следующей редакции:

„В помещениях, особо опасных в отношении взрыва, вся осветительная арматура должна иметь специальную блокировку, устраниющую возможность соприкосновения раскаленной нити с взрывоопасными газами при разбитии предохранительного колпака и баллона лампы. Для освещения таких помещений допускается применение арматуры „кососвет“, устанавливаемой снаружи“.

Этими нашими указаниями мы и ограничимся в разъяснении принципиальных изменений и дополнений существующих правил.

Ниже мы приводим ряд поправок в том виде, в каком они вносятся в нынешние правила безопасности. Эти сами по се-

бе простые и понятные исправления устраняют, однако, много недоумений и недоразумений, встречающихся в практике электростроительства у проектирующих и эксплуатирующих организаций.

§ 1, абзац 2-й. После слов: „и испытательных станций“ вследствие до конца фразы исключить. Далее, после слов „на нефтяных промыслах“ добавить: „для радиостанций, устновок связи, рентгеновских установок, электрических железных дорог и подъемных механизмов“.

§ 6. После слов: „на опорах вне зданий“ исключить вследствие: „включая отходящие и т. д.“.

§ 10. После слов: „к производству“ добавить „и распределению“.

§ 22. Абзац 1-й в конце дополнить следующей фразой: „Все защитные заземляющие устройства высокого и низкого напряжений должны удовлетворять требованиям руководящего указания по устройству заземлений в установках низкого напряжения и требованиям руководящих указаний по устройству заземлений в установках высокого напряжения“.

§ 35. После слов: „посредством сыростойких“, добавить „и кислотоупорных“.

§ 45 в) После слов: „должны быть“ исключить все слова до „чтобы“, а вместо исключенных слов вставить „защищены особо прочной сеткой или металлическими листами с отверстиями“.

§ 46 б) Изложить в следующей редакции: „В распределительных устройствах, предназначенных для токов различного рода напряжений должны быть предусмотрены особые, соответственно обозначенные панели или же должны быть приняты меры к легкому распознаванию частей, относящихся к токам различного рода или напряжения“.

§ 50. После слов: „Местных нагреваний“ добавить: „из-за больших переходных сопротивлений в контактах“.

§ 57. В конце после слов: „веса ножей“ добавить „или разомкнуты при сильных коротких замыканиях от электродинамических усилий“.

§ 66. Абзац 2-й. Исключить слово: „наружной“.

§ 67. а) Изложить в следующей редакции: „установка плавких предохранителей допускается на расстоянии не далее 1 п от главного магистрального провода. Подводящий к предохранителю провод должен быть не меньшего сечения, чем сечение ответвленного провода и должен располагаться вдали от легко воспламеняющихся предметов“.

§ 83. В конце (после слов: „целях не допускаются“) дополнить: В случае применения системы напряжения 380/200 V и напряжения 220 V в помещениях опасных и с повышенной опасностью вся осветительная арматура должна быть заземлена или занулена“.

§ 94. Абзац 4-й исключить полностью (см. § 21).

§ 101. б) Вместо слова „сигнального“ вставить — „сильного“.

§ 129. Исключить вводный абзац 1-й.

§ 134. После слов: „контактных“ вставить и „заземляющих“.

§ 138. Вместо „750 V“ вставить: 250 V“.

§ 164. Конец параграфа дополнить словами: „путем устройства специальной вентиляции и непрерывно действующих вытяжек“.

§ 178. Вместо слов: „на соответствующих местах должны находиться“ вставить: „В особо сырьих помещениях повсюду на видном месте должны быть вывешены ясные и короткие и т. д.“.

§ 192. Вместо слов: „эксплоатации происходит прерывание тока“ вставить: „Нормальной эксплоатации происходит искробразование или образование дуги при разрыве тока“.

Было бы крайне желательно получить от электриков имеющиеся у них поправки, изменения, дополнения или предложения по пересмотру действующих правил и норм не только по разделу безопасности, но и по всем другим отделам.

С материалами этого рода просим обращаться к нам в Главную техническую инспекцию НКТ СССР (старая площадь, 6, НКТ СССР, 2-й этаж, ком. 65).

При сдаче статьи в печать в НКТ СССР поступили дополнительно отдельные замечания и предложения, связанные с пересмотром правил безопасности. Все важнейшее будет учтено и обсуждено на широкой научно-технической комиссии, а также опубликовано в заключительной статье вместе с окончательным текстом правил.

НОВОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ ЗА ГРАНИЦЕЙ

Бронированная высоковольтная аппаратура *

П. Фриденд
Дания

Под названием бронированной высоковольтной аппаратуры разумеется аппаратура, состоящая из отдельных, изготовленных фабричным способом, заключенных в чугунные кожуха частей, устроенных таким образом, что они легко могут соединяться в распределительные устройства любых размеров, где в качестве изоляции употребляется масло или масса для заливки.

Формы выполнения данной аппаратуры могут быть чрезвычайно разнообразными, но указанные в настоящей статье типы могут быть охарактеризованы как нормальные для изготавляемой в настоящее время бронированной аппаратуры.

Аппаратура подразделяется на два основных типа соответственно тем токам короткого замыкания, которым она может быть подвергнута. Для малых и средних центральных станций, где мощность коротких замыканий не превосходит $\frac{3}{4}$ млн. kVA, напряжение не превышает 33 kV, строятся типы с масляными выключателями с горизонтальным передвижением. На рис. 1 схематически изображен такой тип бронированного масляного выключателя.

Подводящие или отводящие кабели заканчиваются обыкновенными кабельными муфтами, которые посредством проходных изоляторов соединяются с трансформаторами тока, находящимися в особой, заполненной массой, камере, расположенной над кабельными муфтами. Эта камера, как и находящаяся над ней камера сборных шин, снабжена контактными штепсельными розетками, а передвигающийся по горизонтальным рельсам масляный выключатель снабжен штепсельными контактами; выключатель в закрытом состоянии образует, таким образом, соединение между камерой трансформаторов тока и камерой сборных шин. Перед штепсельными розетками находятся крышки, которые автоматически открываются или закрываются, когда масляник вдвигается или выдвигается. Над камерой сборных шин находится щиток с табличкой и сигнальными лампами, а также в случае надобности измерительными приборами. Под масляником имеется рама, на которой укрепляются соответствующие токовые реле.

Если наряду с камерой трансформаторов тока установить один или два однофазных или один трехфазный трансформатор напряжения, то в результате будем иметь установку, содержащую все элементы обыкновенной открытой установки, а именно: сборные шины, разъединители перед масляником, масляник, разъединители после масляника, измерительные трансформаторы, кабельные муфты, измерительные приборы и реле.

На рис. 1 изображена такая установка с двойными сборными шинами. Переключение с одной системы шин на другую производится таким образом, что верхний съемный комплект штепселя может быть перемещен с одного комплекта проходных изоляторов в верхней части масляника.

Для больших центральных станций, на которых мощность коротких замыканий может достигнуть $1\frac{1}{2}$ млн. kVA и где сила тока, а вместе с ней и размер отдельных элементов могут стать очень большими, строится тип с вертикальноподвижными масляными выключателями, схематически изображенный на рис. 2. Из таких частей составлено, между прочим, полное распределительное устройство „Баркинг Паузр Штейн“ в Лондоне, которое располагает эффективной мощностью в 12 паровых турбин по 20 000 kW каждая. В то время как в вышеописанном типе штепсельные контакты находятся перед масляником и после него, в большом типе имеются масляные разъединители между кабелями и масляниками и, кроме этого, масляные переключатели между масляниками и двойной системой

шин. При помощи подъемного крана масляник может быть легко выдвинут из системы. Вместе с разъединителем помещаются трансформаторы тока и напряжения.

Особый тип с вертикальноподвижными масляниками строится и для наружной установки в 66 kV. Этот тип строится для силы тока до 4 000 A и для разрывной мощности до $1\frac{1}{2}$ млн. kVA и имеет приблизительно размеры: высота—3 200 mm, глубина—3 660 mm, ширина поля—3,350, длина—3 350 mm.

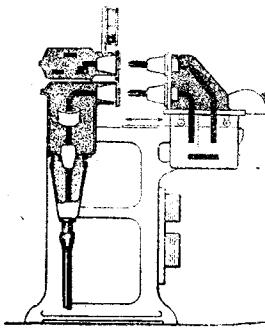


Рис. 1.

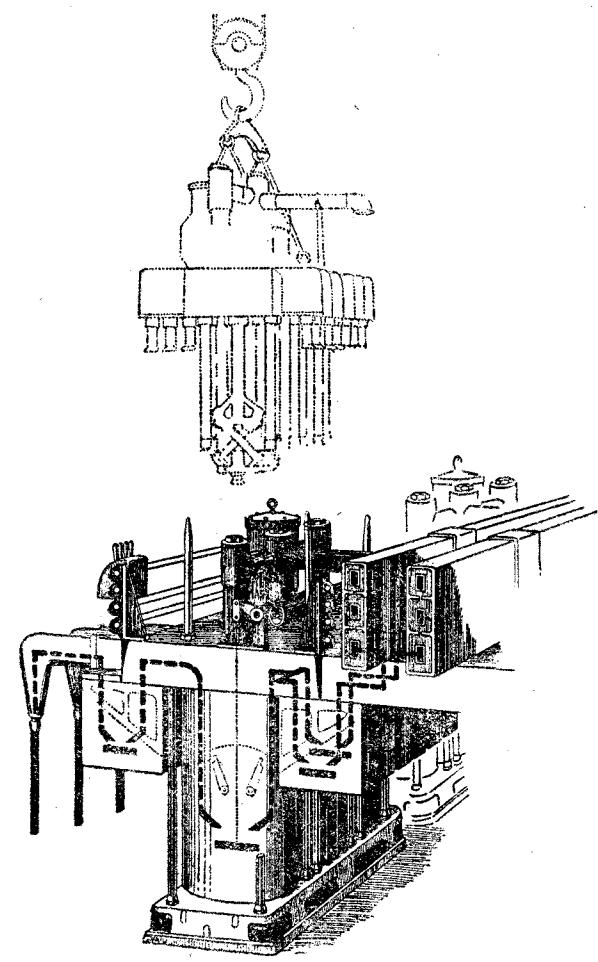


Рис. 2.

На рис. 3 даны детальный разрез устройства с горизонтально передвижным масляником и боковой вид этого его устройства с выдвинутым масляником, а на рис. 4 изображены его составные части. Посредине изображены: неподвижная часть с обеими рамами по бокам, находящаяся внизу кабельная муфта, камеры трансформаторов тока и сборных шин с закрытыми штепсельными контактами. Слева видна непосредственно присоединенная к сборным шинам кабельная муфта. Изображенное устройство, следует заметить, представляет собою не часть какой-нибудь установки, а независимую единицу с кабельным вводом и выводом.

Слева виден трансформатор напряжения с его высоковольтным предохранителем, который, в случае если трансформатор напряжения находится на своем месте, соединен с находящимися внизу в камере трансформаторов тока штепселями. Справа на рисунке виден обслуживаемый от руки масляник, на котором помимо главных штепселяй находится еще маленький вторичный штепсель, дающий соединение с выключающей катушкой и сигнальным переключателем масляника.

* В связи с выпуском советской высоковольтной аппаратуры бронированного типа предстает интерес ознакомление с заграничными конструкциями этого типа, описание которых содержит статья датского инж. П. Фриденда. К выводам автора конечно, нужно отнести критически, поскольку в них нашли свое отражение интересы той фирмы, представителем которой является инж. Фриденд. Ред.

Изображенный на рис. 3 и 4 тип строится для напряжений до 15 кВ и для силы тока до 600 А (до 800 А для 3 кВ) и для разрывных мощностей до 200 кВА. Он очень распространен, а потому ниже дается его подробное описание.

нофазных), соединенные в открытый треугольник и помещенные в общем, наполненном маслом, железном ящике.

Над трансформаторами напряжения установлены в горизонтальном положении их предохранители. Такой предохранитель

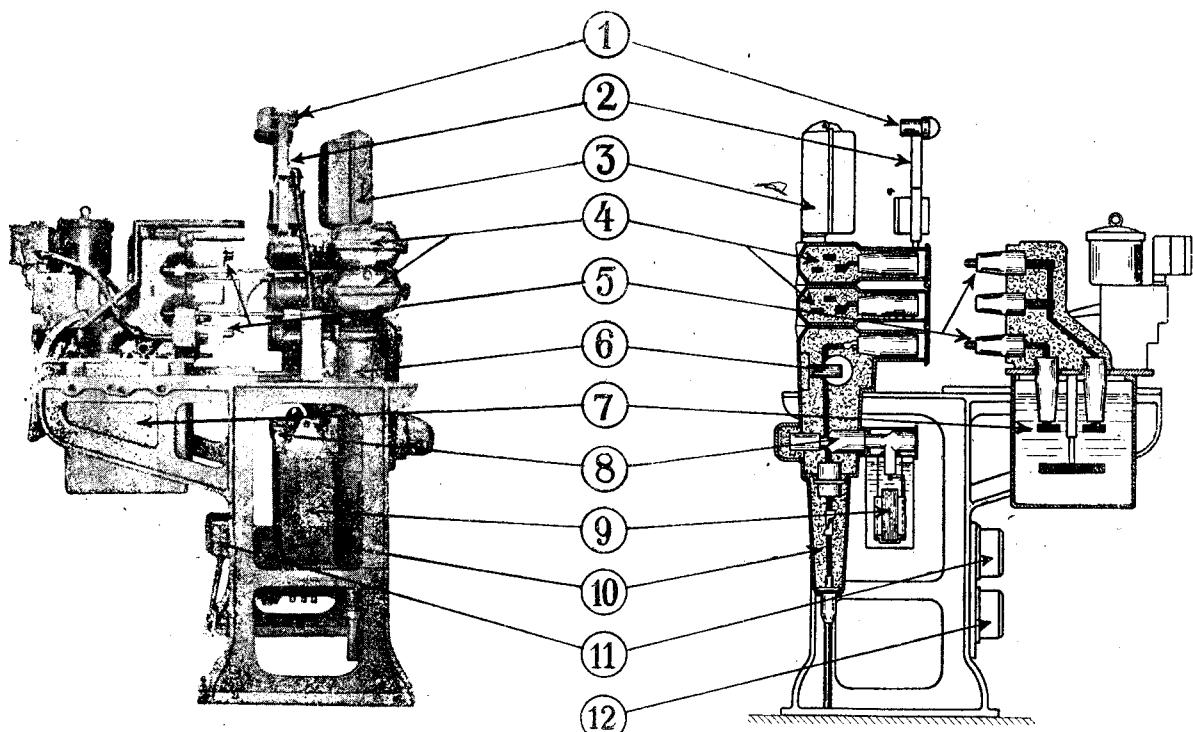


Рис. 3. 1—сигнальные лампы; 2—щитовая рамка; 3—реле; 4—две залитые в массе системы сборных шин; 5—штепсельные контакты, служащие разъединителями; 6—трансформатор тока; 7—масляник; 8—высоковольтные предохранители для трансформатора напряжения; 9—трансформатор напряжения; 10—кабельная муфта; 11—низковольтные предохранители для трансформатора напряжения; 12—реле.

Сборные шины, состоящие из тонких медных полос, имеют сечение от 450 до 1 500 мм² соответственно нагрузке от 750 до 1 400 А. Шины укреплены обоими концами, проходя через отверстие бакелитовых пластин, закрывающих камеру сборных шин. Шины обернуты несколькими слоями промасленного изолировочного полотна, изоляционная способность которого не уменьшается от расширения. Ответвления к штепсельным контактам припаяны или привинчены к сборным шинам. После того как эти ответвления тщательно вставлены в камеру сборных шин, последняя заливается изолирующей мастикой, представляющей собой смесь из разных сортов асфальта, очень чистого, крепко прилипающего и чрезвычайно эластичного.

Под камерой сборных шин помещается камера трансформаторов тока. Последние представляют собой обычный тип трансформатора, но обладают очень большой динамической прочностью против токов короткого замыкания. В отношении термической прочности эти трансформаторы тока не отличаются от обычных наполненных массой, но завод прилагает все усилия к тому, чтобы коэффициент прочности против токов короткого замыкания соответствовал коэффициенту прочности масляников. Время в секундах, в течение которого трансформаторы тока должны выдержать тот же ток короткого замыкания, что и масляник, обозначено на камерах трансформаторов тока.

Соединения между трансформаторами тока и штепсельными контактами, а также проходными изоляторами обмотаны, как и сборные шины, промасленным полотном.

Сборка и заливка этой камеры производится так же тщательно, как и камеры сборных шин. Под последней находится заполненная маслом или особой массой кабельная муфта, но отличающаяся от обычных кабельных муфт. Рекомендуется, однако, обратить особое внимание на английскую конструкцию, которая получает в настоящее время всеобщее распространение. Муфта заканчивается внизу медным конусом, угол которого как внутри муфты, так и снаружи ее невелик, так что, отрезав его, можно получить нужный диаметр для проходящей через него голой свинцовой оболочки кабеля, которая припаяется к луженому латунному конусу. Этим достигается непроницаемость в месте ввода.

Перед камерой трансформаторов тока находятся трансформаторы напряжения (либо трехфазный, однофазный, либо 2 од-

стоит из проволоки высокого сопротивления, которая одновременно служит токоограничителем. Он помещается в стеклянной, наполненной чистым кварцем трубке, которая в свою очередь вставлена в трубку из пертинакса, снабженную бакелитовой ручкой. Предохранитель держится в своем положении благодаря пружинному контакту и легко снимающемуся пат-

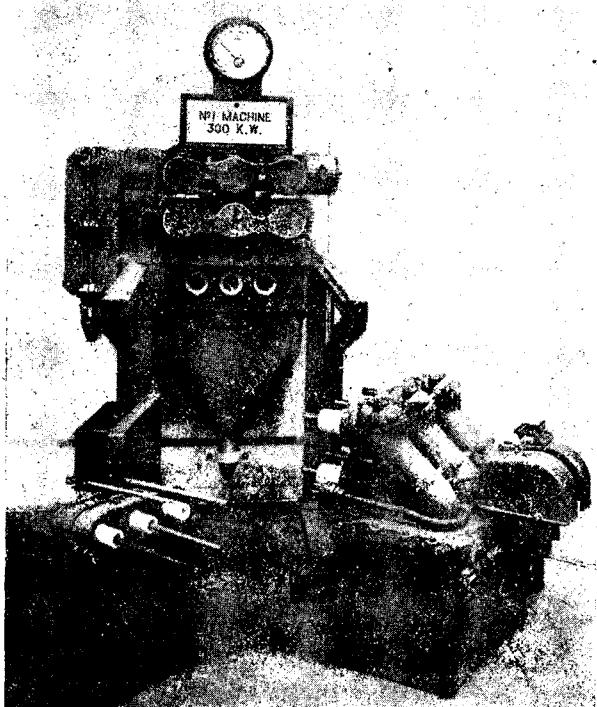


Рис. 4

рону. В том случае, когда установка находится под напряжением, предохранитель может быть легко снят, для чего к бакелитовой ручке привинчивается дополнительная изолирующая.

На низковольтной стороне к трансформаторам напряжения присоединяются либо помещенные в масляном ящике тугоплавкие предохранители, либо же помещенные на стороне ящика для клемм предохранители против коротких замыканий.

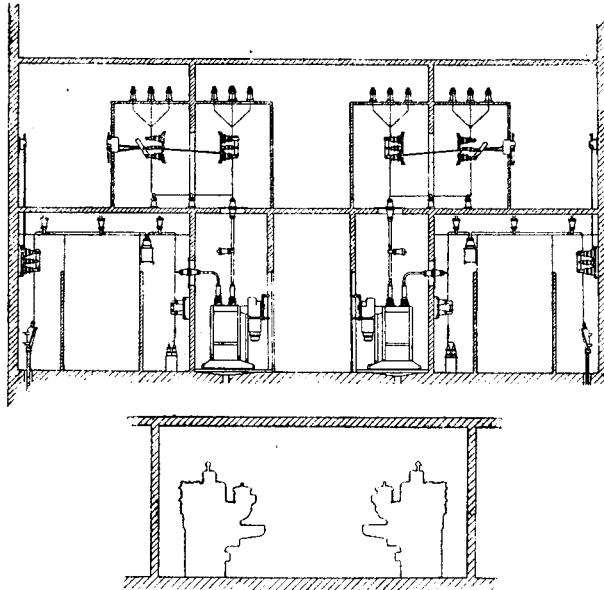


Рис. 5

На рамке, находящейся под масляником, помещаются необходимые реле максимального тока, промежуточные реле и т. д.

Все вторичные провода, имеющие от трансформаторов тока и напряжения, вместе с проводами от сигнальных ламп, сигнальных переключателей на масляниках, выключающих и соленоидных катушках, а также от измерительных приборов, устанавливаемых на возвышающемся над аппаратами щитке, собираются и подводятся к одному общему большому клеммному ящику, находящемуся сбоку одной из рам, на которых покоятся масляники. Последний с помощью особой ручки передвигается на двух рельсах, как было указано выше.

Масляник имеет внизу три неподвижных штепсельных контакта, служащих для соединения с камерой трансформатора тока, а сверху—либо также три неподвижных штепсельных контакта, когда имеется одна система сборных шин, либо же для двух систем сборных шин—три смежных контакта, благодаря которым может быть легко достигнуто соединение с одной или другой системой шин.

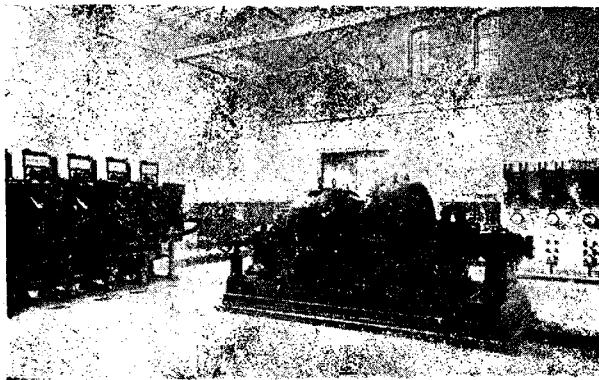


Рис. 6

Соединения между штепсельными контактами и проходными втулками, находящимися в крышке масляника, обматываются, так же, как и сборные шины, промасленным изолировочным полотном, и собираются в особую коробку, которая заливается мастикой. Штепсельные контакты состоят из четырех частей; так как соединение их с залитыми проводами к проходным втулкам производится при помощи подвижных кабелей, то по-

лучается известная свобода движения. Этим обеспечивается хорошее давление контактов после ввода масляника.

При проектировании бронированных масляных выключателей, естественно, руководились теми же соображениями, как и при выполнении обычных небронированных масляников, но все же отмечаем некоторые подробности, которые, вероятно, представляют известный интерес.

Крышка масляника сделана из 36 стальных пластин, а бак сварен из десятимиллиметровых котельных пластин. Наверху к баку приварено хорошо обработанное машинным способом кольцо, в которое вделаны двенадцать болтов $8\frac{1}{4}$ ", при помощи которых к баку привинчивается крышка. Бак снабжен двумя приваренными промежуточными стенками, которые, с одной стороны, служат для разделения фаз, а с другой,—придают ему большую прочность. Весь бак внутри обшият фанерой таким образом, что между нею и стенками бака всегда находится незаболтанный слой масла, который представляет превосходную изоляцию.

Приводной механизм строится очень прочно, а самые тяжелые устанавливаются на мостике, прикрепленном к крепкой, пертинаковой трубке. В последней для повышения механической прочности помещается стальная трубка. Между тягами на мостике для укрепления пути поверхностного разряда установлены фарфоровые шайбы. В отношении характеристики механической прочности данной конструкции можно сказать, что масляник может быть с полной уверенностью включен на мгновенный ток короткого замыкания с амплитудой в 45 000 А.

Масляники могут быть изготовлены для включения как от руки, так и от моторного привода.

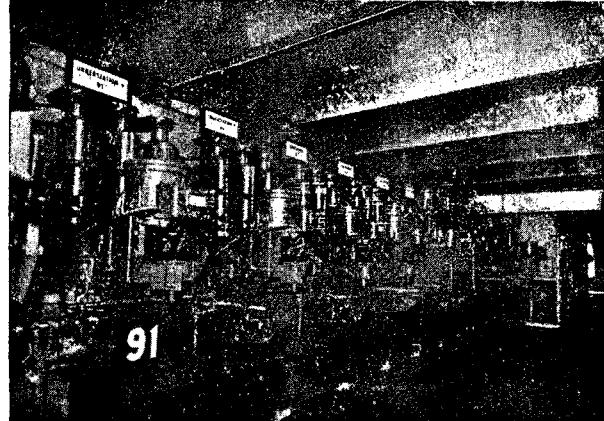


Рис. 7

Приспособление для передвижения масляника связано с очень надежной блокировкой, в результате которой достигается следующее: 1) масляник не может быть замкнут раньше, чем штепсельные контакты не вошли полностью в штепсельное гнездо; 2) масляник не может быть выведен из аппаратуры или введен в нее, если он открыт.

В выведенном состоянии и с захлопнутыми крышками перед штепсельными контактами масляник может быть управляем от руки, и если присоединить дополнительный удлиняющий элемент ко вторичным штепсельным контактам, то могут быть проверены включающий и выключающий механизмы.

Вторичные штепсельные контакты подводящие ток к сигнальному переключателю, выключающей и включающей катушкам и т. д., помещаются сбоку масляного выключателя. По сторонам крышки масляника находятся две трубы для отвода газов из бака.

Все устройство имеет следующие данные: высота вместе с двойной системой шин и измерительными приборами—2 600 мм, глубина до края стойки—1 500 мм, ширина поля,—2 700 мм, ширина—700 мм.

Для опускания бака и для передвижения масляника употребляется специальная маленькая тележка.

После того как ряд описанных устройств установлен на одном месте, сборка их производится таким образом, что заложенные концы сборных шин свинчиваются при помощи луженных пластинок и изолируются промасленным полотном. В промежутках между камерами сборных шин устанавливаются железные капсулы, которые заливаются мастикой, так что сборные шины во всей длине распределительного устройства находятся в заполненном мастикой железном ящике.

Из многочисленных преимуществ, которыми располагают бронированные распределительные устройства, могут быть указаны как наиболее важные нижеследующие:

1. Так как все части, находящиеся под напряжением, забронированы (закрыты), то несчастные случаи от нечаянного прикосновения не могут иметь места.

2. Забронирование предохраняет от коротких замыканий, вызываемых кошками, птицами, крысами, а также и инструментом обслуживающего персонала, что нередко бывает при открытых установках.

3. Бронированные устройства в высокой степени компактны и очень легко обозримы. В то время, когда для открытых установок часто требуется три этажа с кабельными муфтами в подвале, масляными выключателями в первом этаже и разединителями и сборными шинами во втором этаже при бронированных устройствах вся установка находится в одном этаже.

4. Сборка легка и дешева, так как она вся происходит на заводе, и на месте установки остается произвести чисто механический монтаж и присоединение высоковольтного кабеля, а также кабелей управления.

5. Возможности ошибок при обслуживании доведены до минимума. С одной стороны, компактность установки дает возможность создания системы блокировки, совершенно исключающей ошибочные манипуляции, которые могли бы вредно отозваться на работе, а с другой,—указанные выше легкая обозримость предупреждает непроизвольные аварии и перерывы в эксплоатации.

6. Броня препятствует тому, чтобы возникшая каким-либо образом дуга перекинулась с одной единицы на другую и исходящие из масляных выключателей газы загорались.

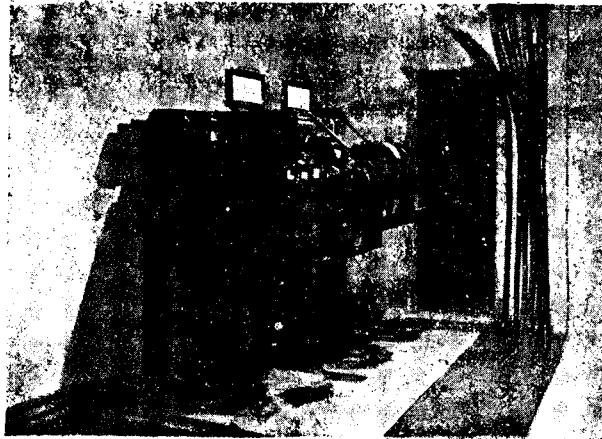


Рис. 8

7. С установкой бронированной аппаратуры связаны только небольшие строительные расходы, так как нет надобности в перегородках в здании высоковольтной аппаратуры.

8. Бронированные распределительные устройства позволяют безопасно устанавливать и полностью собирать новые единицы, в то время как остальная часть установки находится под напряжением, после чего соединение между старой и новой частью установки может быть произведено мгновенно, чем в два часа. Если имеется двойная система машин, то присоединение новых единиц может быть произведено без перерыва эксплоатации.

9. Аппаратура требует очень небольшой площади и может быть размещена в таких помещениях, которые в другом случае не были бы приспособлены для высоковольтных установок.

Для наглядного подтверждения последнего пункта служит рис. 5, который представляет собой разрез установки датской электроцентрали мощностью 15 000 кВА, причем рядом для сравнения дан разрез соответствующего бронированного устройства. Необходимо заметить, что в открытой установке все провода в камерах масляников изолированы во избежание указанной выше опасности перекрытия и взрыва от исходящих из масляника газов.

Ширина ячейки как открытой, так бронированной установки равна приблизительно 1 м.

После того как было упомянуто о некоторых преимуществах бронированных устройств, уместно указать также и некоторые недостатки их, а именно:

1. Бронированные устройства сравнительно дороги. Если рассмотреть открытую установку распространенного типа, где муфты и масляники находятся в одной камере с поперечными

проходящими над ними шинами, то сравнительно бронированные устройства оказываются значительно более дорогими.

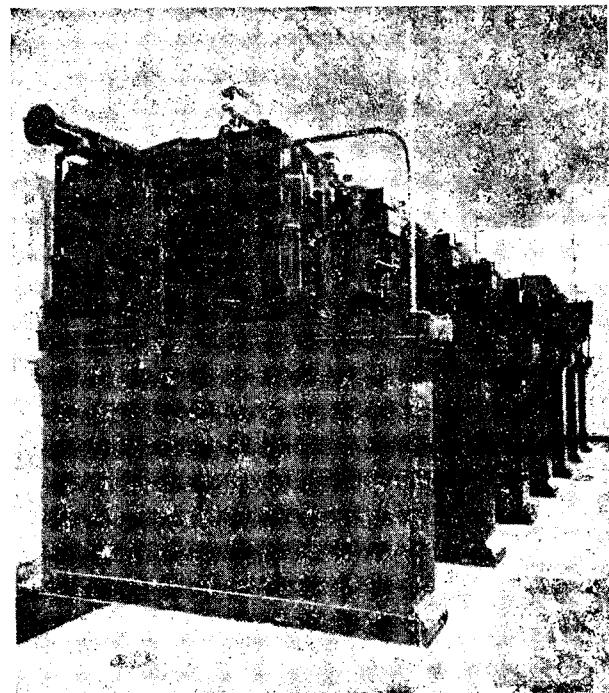


Рис. 9. Установка Копенгагенской подстанции

Если однако построить открытую установку с теми же возможностями условиями безопасности эксплоатации, как и бронированного устройства, т. е. с масляниками, отдельно установленными в закрытых камерах и расстояниями между фазами, не только соответствующими рабочему напряжению ус

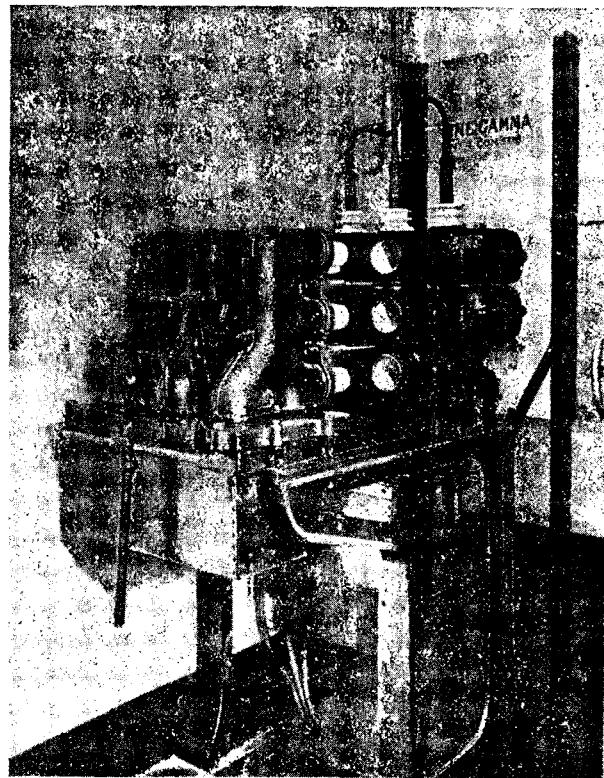


Рис.10. Установка бронированной аппаратуры Рейнольса

новки, но также и ее токам короткого замыкания, то разница в затратах становится сравнительно малой.

2. При расширении бронированных устройств невозможно установить разединители в любом месте, как на всех откры

тых установках, т. е. построенное из стандартных единиц бронированное устройство не обладает той гибкой приспособляемостью, как открытая установка.

Опыт показал, что слишком сложные установки со многими системами сборных шин, переключателями и разъединителями в общем имеют лишь теоретический интерес, на практике же они вызывают перерывы в эксплуатации вследствие ошибок в обслуживании. Эти опасности далеко не уравновешиваются теми преимуществами, которые иногда могут быть использованы благодаря коммутационным возможностям сложных систем.

3. Для единиц с масляниками для очень больших токов—свыше 300—4 000 А—описанная конструкция не подходит, так как имеется известный предел, дальше которого невозможно строить штепсельные контакты для сильных токов.

4. Заземления не могут быть произведены в бронированных устройствах так легко, как в открытых установках. Для присоединения заземляющих приспособлений к бронированному распределительному устройству необходимо некоторое время. Но зато заземление получается настолько совершенным, что масляник может быть включен без всякого опасения.

В заключение даем несколько рисунков выполненных у новок. Рис. 6, изображающий одну Копенгагенскую подстанцию, показывает, как в одном и том же помещении установлены 6-kV аппаратура, умформер и щит постоянного тока.

На рис. 7 изображена Готенбургская паровая центральная станция и показан балкон, на котором одна половина старой открытой установки заменена бронированным устройством, с правой стороны видна вторая половина, предназначенная к демонтажу с заменой также бронированной аппаратурой.

Рис. 8 показывает аппаратуру для кабельного узла и для одного трансформатора в трансформаторной подстанции электротрансформатора города Осло.

Рис. 9 показывает 30-kV установку одной Копенгагенской подстанции.

Рис. 10 показывает 6-kV установку бронированной аппаратуры Рейроля, которая 20 лет назад была установлена в Австралии и по сегодняшний день находится в эксплуатации.

Интересно отметить, что основные идеи, положенные 20 лет назад в основу конструкции этой аппаратуры, применялись и для единиц, построенных в 1931 г.

БИБЛИОГРАФИЯ

О Кемеровском комбинате в УКК

В. Ф. СОКОЛОВСКИЙ, Кемеровский энерго-коксо-химический комбинат и его роль в урало-кузбасской проблеме под ред. А. А. Гардина, ГНТИ, 1931, 48 стр., цена 30 коп.

Брошюру Соколовского, вышедшую в серии ГНТИ „Наши гиганты“, надо признать вполне своевременной и полезной. Написана она популярным и ясным языком и достаточно правильно представляет существа и состав одного из важнейших энерго-промышленных комбинатов УКК—Кемеровского.

Однако брошюра имеет ряд ошибок. Прежде всего цифры уже устарели и дают преувеличенную перспективу на конец второй пятилетки (например табл. на стр. 21, „Добыча угля в районе Кемеровском на 1935 г.“, данная редакцией).

Неправильно излагаются автором понятие и об'ем комбината. На стр. 10 он говорит: „Если мы говорим о Кемеровском энерго-коксо-химическом комбинате, то подходим к этому вопросу исключительно с точки зрения района действия Кемеровской районной теплоэлектроцентрали“. Правда, на стр. 20 автор добавляет, что „второй не менее важной особенностью комбината является полное использование в комбинате отходов отдельных видов промышленности“, однако на первое место ставится энергетическая связь. Несомненно,

энергетическая связь является необходимым, но отнюдь не достаточным признаком промышленного комбината. Относить к Кемеровскому комбинату весь „район, который снабжается электроэнергией от Кемеровской ТЭЦ“ (стр. 10), неправильно. Этим он, по существу, смазывает определение комбината как такового.

Далее, в книжке имеются некоторые политически нечеткие формулировки; так например в заключении (стр. 48) автор говорит: „Наша страна вступила на путь индустриализации и твердыми шагами идет к социалистическому обществу“. Автор забыл, что мы уже завершили построение фундамента социализма и уже вступили в период социализма.

Второй пример (стр. 47). Автор пишет: „Только при этом условии наша страна может догнать и перегнать в экономическом отношении остальные страны света“. В историческом постановлении VI Съезда советов речь идет не об „остальных странах света“, а о передовых в техническом отношении капиталистических странах.

За исключением этих и еще некоторых менее важных ошибок и описок (160 000 W вместо киловатт и др.) книжка, повторяя, полезная, и может быть рекомендована для массовых библиотек.

М. Грановская

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

Электрификация транспорта

23. Коэффициент полезного действия ртутных выпрямителей и метод их измерения „ETZ“, № 48, 1931, стр. 2469—1470, рис. 1.

Согласно REM 1930 г. к п. д. вращающихся преобразователей и выпрямителей при величине выше 90% для большей точности не должны определяться путем непосредственного измерения. Допустимый по нормам косвенный метод мало известен в применении к выпрямителям, к. п. д. которых без трансформатора составляет при 220 V 92%, а при 1200 V—98% (потери в трансформаторе в среднем составляют 2%). Описываемые ниже измерения представляют собой поэтому большой интерес.

Один из подвергнутых измерениям выпрямитель имел 3 цилиндра при номинальной мощности 550 W и 13 500 A, второй выпрямитель имел 1 цилиндр при мощности 1200 W и 800 A. Первый выпрямитель имел по 12 анодов на каждом из цилиндров; трансформатор был выполнен на каждом из цилиндров; трансформатор был выполнен по схеме треугольник (четыре шестифазных звезд при коэффициенте трансформации 3·5 390/4·6·629 V и 1 090/935 A). Этот выпрямитель имел дроссели и отсасывающую катушку Кюблера. Второй выпрямитель имел 6 анодов, причем трансформатор выполнен по схеме звезда (двойной зигзаг при коэффициенте трансформации 5 000/6·975 V и 128/326 A).

Потери в выпрямителе определялись исходя из того, что большая часть их отводится в виде тепла охлаждающей си-

стемой и что остающиеся 5—10% потерь отводятся путем теплоизлучения поверхности цилиндра и через конвекцию. Задача сводится поэтому к измерению количества охлаждающей воды и к регистрации начальной и конечной температур ее (T_a и T_e). Если количество воды обозначить через $g \text{ kgh}$, а потери теплоизлучения через r , то общая величина потерь определяется по формуле

$$V_g = \frac{(1+r)g(t_a - t_e)}{0.86} \text{ W.}$$

Потери в дуге составляют

$$U_e = 0.98 V_g,$$

причем коэффициент 0.98 находится из учета величины потерь, не связанных с дугой (2%). Деля величину потерь на силу тока, находим падение напряжения в дуге. При измерениях с первым и вторым выпрямителями найдены следующие величины: для отношения эффективного анодного тока к средней величине постоянного тока α и эффективной величины фазового напряжения к средней величине напряжения на стороне постоянного тока u . Для первого выпрямителя $\alpha=0.289$, а для второго—0.409; u составляет для первого выпрямителя 0.855, а для второго—0.740. Эффективная величина анодного напряжения находится по формуле $U_a = u(L_g + U_e)$, а анодный ток по формуле $J_a = \alpha J_g$. Отсюда находится первичное напряжение трансформатора. Потери короткого замыкания определяются при так называемом „половинном коротком замыкании“ (так как сначала замыкается каждая вторая фаза, а затем измерение производится с оставшейся половиной) и берется

среднее из обоих измерений). В следующей таблице приведены результаты измерений и подсчетов.

Выпрямитель	1	2
Постоянный ток А	13 000	800
Напряжение на стороне постоянного тока	550	1 200
Анодный ток А	4×938	327
Анодное напряжение В	492	908
Потери в железе трансформатора	25,7	6,08
Потери в меди при полукоротком замыкании, kW	109	15,0
Потери в регуляторе напряжения kW	13,5	—
Потери в отсасывающей катушке	5,4	—
Потери в дросселях	6,0	—
Общие потери от сети до выпрямителя	159,6	21,1
Постоянный ток (измеренный на выпрямителе) А	12 987	885
Напряжение постоянного тока (измеренного на выпрямителе) В	527,7	1 202
Количество охлаждающей воды кг/ч	9 630	512
Начальная температура воды в °C	20,4	20,0
Конечная	47,53	51,1
Потери на излучении в %	6,5	10
Потери в выпрямителе kW	323,7	20,4
Падение напряжения в дуге В	24,4	22,6
Потери в выпрямителе при нормальной силе тока kW		
Потери в вспомогательных аппаратах (вакуумный насос, возбуждение, насос охлаждения, цепь накала), kW	324	18,5
Суммарные потери kW	32,4	1,4
Суммарные потери в процентах мощности постоянного тока	516	41,0
То же в процентах мощности постоянного тока	7,22	4,13
Мощность на стороне постоянного тока, kW	7 150	960
Мощность на стороне трехфазного тока	7 666	1 001
Коэффициент полезного действия	93,26	95,9

Е. Аватков

24. Подстанции электрических железных дорог Марокко.
Loy M., "Revue d'Électricité et de Mécanique", № 19, 1931 г., 34—46.

Вопрос об электрификации железных дорог Марокко был поставлен впервые в 1922 г. Первый участок с электрической тягой на постоянном токе 3 000 В был открыт для общего

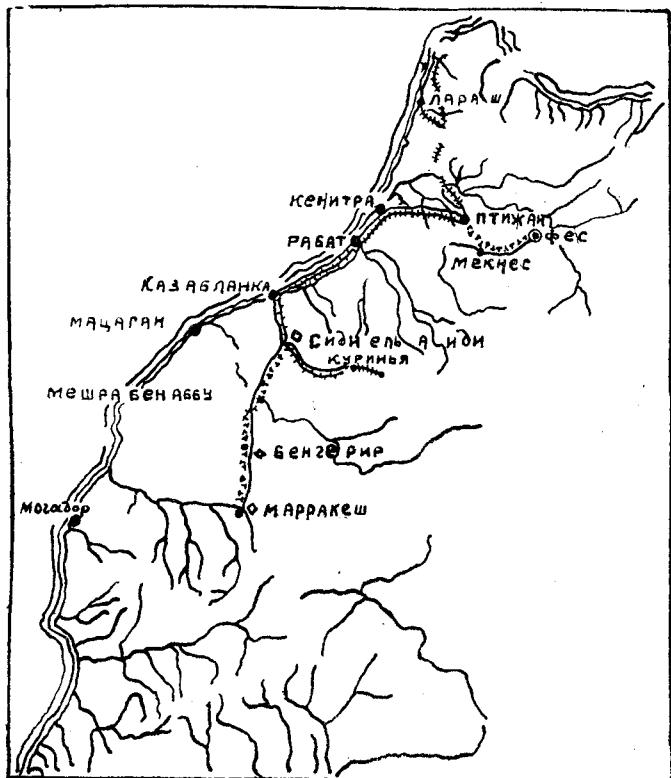


Рис. 1. Карта электрических железных дорог Марокко

пользования в 1928 г. В настоящее время электрифицировано 233,7 км магистральных железных дорог, а именно:

Casablanca-Salé-Rabat протяжением 95,1 км
Casablanca-Sidi el Aïdi " 57,3 "
Sidi el Aïdi-Kourigha " 81,3 "

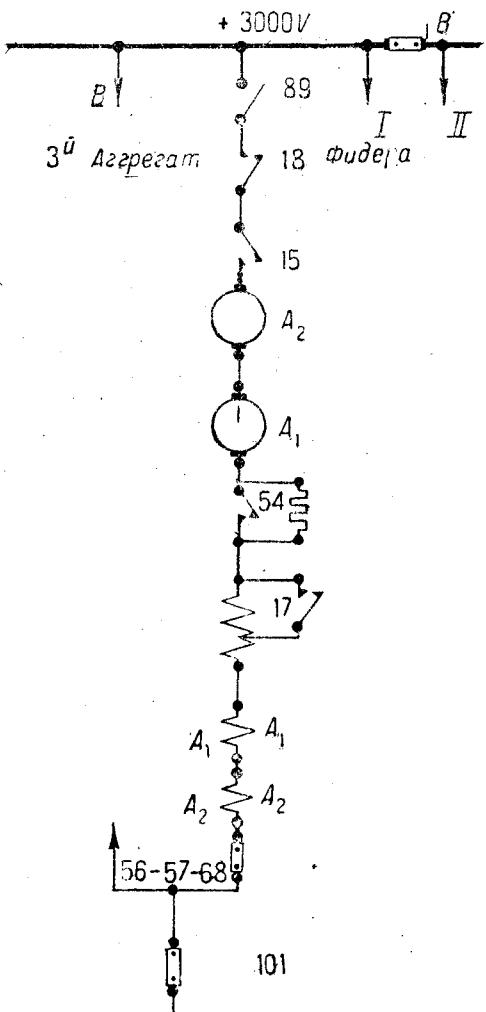


Рис. 2. Включение мотор-генератора со стороны постоянного тока

Участок Casablanca-Salé Rabat (см. карту рис. 1) представляет собой равнинный участок, проходящий по побережью Атлантического океана. Несколько более тяжелый профиль имеет участок Casablanca-Sidi el Aïdi, а продолжение его до Kourigha представляет собой типичную горную линию. Преобладающим грузом на участке Kourigha-Casablanca являются фосфаты и руда, отправляемые из глубины страны порту Casablanca, на берегу Атлантического океана. Участок Casablanca-Salé Rabat имеет сравнительно слабую грузонапряженность, но большое пассажирское движение. Питание электрифицированной линии производится от подстанций:

Skrirat	на расстоянии	26,85 km	от Salé Rabat
Casablanca	"	88,13 "	" "
Sidi el Aïdi	"	145,45 "	" "
Mrizig	"	208,64 "	" "

Таким образом расстояния между подстанциями равны соответственно 63,2, 57,3, 61,3 км. Все подстанции оборудованы синхронными мотор-регенераторами, что сделано из соображений регулирования коэффициента мощности высоковольтных линий передачи и рекуперации энергии (груженое направление из горного района Kourigha к побережью Атлантического океана).

Управление подстанций Casablanca ручное, других трех подстанций—автоматическое. Подстанция Casablanca питается отдельной линией трехфазного тока 5 500 В, остальные подстанции—воздушными линиями 60 000 В. Каждая подстанция имеет по 2 мотор-генераторных агрегата, состоящих из: синхронного мотора 1 500 л. с. 500 об/мин, питаемого трехфазным током 5 500 В, 50 пер/сек, двух генераторов постоянного

тока по 500 kW, 1 500 V с независимым возбуждением возбудителя синхронного мотора мощностью 18 kW и возбудителя генераторов мощностью 10 kW.

Пуск агрегатов—асинхронный при пониженном напряжении трансформатора. Включение генераторов постоянного тока приведено на рис. 2. Здесь 89—треншальтер, 18—контактор включения агрегата, 15—быстро действующий автомат на стороне положительной шины, A_2 и A_1 —якоря генераторов постоянного тока, 54—сверхбыстро действующий автоматический выключатель, шунтированный ограничивающим сопротивлением, компаундирующая обмотка возбуждения синхронного мотора, частично шунтированная контактором рекуперации 17, компенсационные обмотки генераторов A_1 и A_2 .

Возбуждение синхронного мотора автоматически регулируется таким образом, чтобы при всех нагрузках и всех режимах рекуперации мотор-регенератор устойчиво работал в синхронизме и поддерживал коэффициент мощности первичной сети возможно более близким к единице. Для этой цели возбудитель синхронного мотора имеет смешанное возбуждение. Кроме собственного компаундного возбуждения на индуктор возбудителя наложена обмотка, питаемая током генераторов постоянного тока 3 000 В, вращаемых данным синхронным мотором. Эта обмотка состоит из нескольких витков, создающих магнитный поток, одноименный с потоком шунтовой обмотки возбудителя, и нескольких витков, создающих магнитодвижущую силу противоположного направления. При работе генератором постоянного тока преобладают витки, создающие магнитодвижущую силу одинакового направления, которые, перевозбуждают синхронный мотор с увеличением нагрузки, при рекуперации эти витки замыкаются накоротко контактом 17.

К возбуждению генераторов постоянного тока предъявляется требование поддержания постоянного напряжения на шинах оходящих фидеров и возможно более равномерного распределения нагрузки параллельно работающих агрегатов как при питании контактного провода, так и при рекуперации. Для удовлетворения этим требованиям возбудители агрегатов соединены по схеме рис. 3.

Здесь Eg (a) и Eg (b) якоря возбудителей агрегатов A и B , A_1 и A_2 обмотки возбуждения последовательно соединенных генераторов агрегата A , 50—реостат, управляемый сервомотором, 39 и 22—контакторы, связанные с автоматическим управлением подстацией. При работе одного агрегата замкнут контактор 39 в цепи этого агрегата и контактор 22 при параллельной работе замкнуты все 3 контактора.

Вспомогательные устройства подстанций пытаются от трансформатора собственных нужд мощностью 25 кВА.

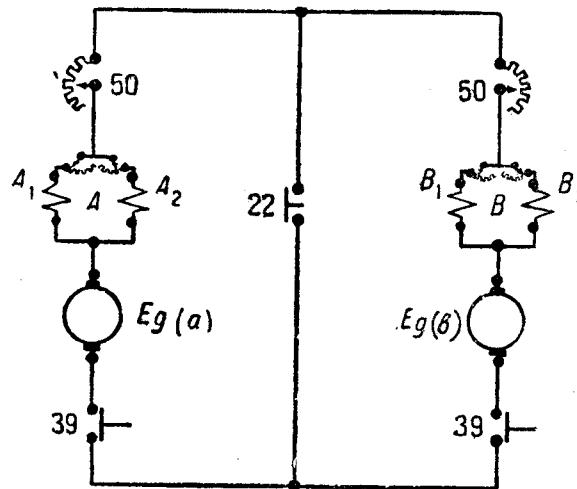


Рис. 3. Схема включения возбудителей мотор-генераторных агрегатов

Задача подстанций осуществляется

а) на стороне трехфазного тока с помощью:
 1) реле нулевого напряжения, 2) реле максимального (при нагрузке), 3) реле максимального (при рекуперации), 4) дифференциального реле, 5) температурного, реагирующего на перегрев обмоток возбуждения, 6) реле обратной мощности между трансформаторами.

б) на стороне постоянного тока с помощью:
1) реле возбуждения, 2) реле правильной полярности, 3) температурного реле, регулирующего на перегрев обмоток генераторов.

Кроме того имеются специальные реле: 1) центробежное реле, 2) температурные реле, реагирующие на перегрев ограничивающих сопротивлений, 3) часы, включающие и выключающие подстанцию согласно расписанию движения поездов, 4) реле для защиты от кругового огня на коллекторе.

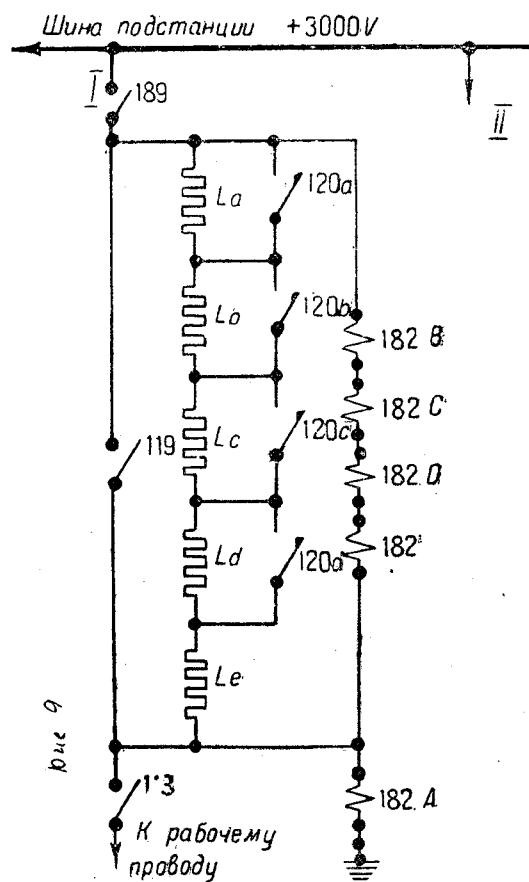


Рис. 4. Схема включения отходящих фидеров постоянного тока.

Питающие фидера постоянного тока включены по схеме рис. 4. Здесь 189—треншальтер, 119—быстро действующий автоматический выключатель, шунтированный сопротивлением L , которое разделено на отдельные ступени. Эти ступени могут закорачиваться контакторами 120.

На выходе фидера имеется автомат с выдержкой времени 118. При сильном увеличении тока отключается быстродействующий автомат 119, включающий все ступени сопротивления L , и ставит под напряжение обмотки реле 182. Последнее включает одну за другой ступени ограничивающего сопротивления. В случае если имеет место случайная перегрузка, ток не будет сильно увеличиваться, и через установленное время вновь включится быстродействующий автомат 119. Если имеет место короткое замыкание в рабочем проводе, то действует выключатель 118 и дефектный участок контактной линии окажется заблокированным.

Для деблокировки участка необходим приезд бригады аварийного ремонта.

Подстанциями, однотипными с вышеописанными, оборудуются электрифицируемые участки Sidi el Aïdi-Morakech и Petit-Jean—Fez Марокканских железных дорог.

В. Соловьев

25. Пассажирские электровозы для переменного и постоянного токов на New-York, New Haven и Hartford ж. д. General Electric Review № 3, 1931.

К концу 1930 г. на данной дороге находился в эксплуатации 141 электровоз (однофазно-постоянного тока). Железнодорожная Ко постепенно пополнила электровозный парк 27 электровозами.

Пригородное пассажирское движение обслуживается моторвагонами однофазно-постоянного тока. Переключение однофазного тока 11 000 V 25 периодов на постоянный ток 600 V при питании от третьего рельса происходит в Wordlawn.

Электровозы старой конструкции возили поезда, состоящие из 13 вагонов, весом не свыше 900 т, со скоростью 88,5 км/ч.

Ввиду увеличения пассажирского движения железнодорожная Ко заказала 10 новых электровозов заводу GEC, которые отличались от первых большей мощностью.

Эти электровозы предназначались для курьерских поездов, состоящих из 15—80-ти пульмановских вагонов. Электровозы с таким весом поездов в зоне однофазного тока должны иметь среднюю скорость 104,5 км/ч, а в зоне постоянного тока 93 км/ч при максимальной скорости, равной 112 км/ч.

В зоне однофазного тока при принудительной вентиляции моторов требуется тяговое усилие 24 500 кг в течение 8 мин.

Сравнение основных характерных данных для различных режимов работы при питании от различных систем сводится в таблицу.

Режим работы	Напряжение в контактном проводе	Напряжение на клеммах мотора	Тяговое усилие кг	Скорость км/ч	Мощность на колеса в л. с.
Длительный	Пер. ток 11 000 а—с	420	8 170	91,7	2 740
Длительный	Пост. ток 660 д—с	330	10 200	70,0	2 610
Часовой	Пер. ток 11 000 а—с	420	11 450	82,5	3 440
Часовой	Пост. ток 660 д—с	330	14 350	60,7	3 140

Механическая конструкция электровоза состоит из экипажной части, покоящейся на двух бегунковых тележках.

Каждая ведущая тележка имеет 3 ведущих оси, а бегунковая—2 поддерживающие оси. Между собой тележки соединены при помощи шарнира.

В каждой тележке расположены 3 тяговых сдвоенных мотора, которые подвешиваются в трех точках.

Основные данные электровоза следующие:

Длина между центрами сцепки (цепька американская автоматическая)	23,5	м
Длина кузова	18,3	"
База электровоза	20,1	"
Жесткая база	4,17	"
Высота над головкой рельса при опущенной пантографе	4,43	м
Высота крыши кузова над головкой рельса	3,77	"
Высота сцепки над головкой рельса	0,865	"
Ширина электровоза	13,05	"
Ширина колеи	1 435	мм
Вес электровоза	178,5	т
в рабочем состоянии	183,0	"
Нагрузка на ведущие оси	123,5	"
на направляющие оси	59,5	"
на ведущую ось	20,5	"
на направляющую ось	14,85	"

Электровоз имеет 6 тяговых сдвоенных моторов серии GEA 621 с принудительной вентиляцией. Моторно-осевые подшипники—типа постоянного уровня смазки, якорные—роликовые.

В целях лучшей коммутации выбрана 12-полюсная конструкция мотора с дополнительными полюсами. Компенсирующие и возбудительные обмотки полей соединены последовательно. Эти обмотки могут применяться как при постоянном, так и при переменном токе.

К вспомогательным машинам относятся 2 мотор-компрессора, 2 мотор-вентилятора для охлаждения тяговых моторов и 1 мотор-вентилятор для охлаждения трансформатора.

Компрессор двухступенчатый производительностью 2830 л/мин.

Переключение с переменного на постоянный ток осуществляется при помощи ручного переключателя. Дверь в камере переключателя блокирована с линейными контактами так, что переключение возможно только при выключенном токе.

В. И. Зернов

26. Электротележки

В связи с рационализацией внутриводского транспорта, также при механизации погрузочно-разгрузочных работ железнодорожном и водном транспорте за последние годы нходят все большее применение аккумуляторные электротележки (электротележки). Союзное производство этих тележек, сконцентрированное на заводе „Динамо“, быстро развивается.

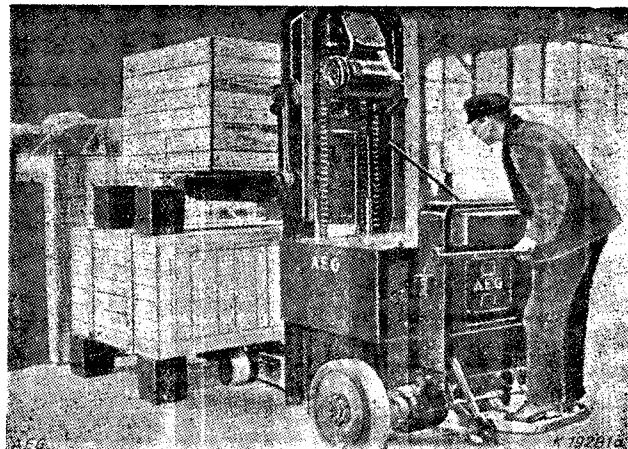


Рис. 1 Электротележка с поднимающейся платформой [во время] работы в портовом складе.

Как показала наша практика, электротележки оказываются весьма экономичными при перевозках багажа и почты на вокзалах, для передачи сырья и готовых фабрикатов из цеха в цеха на заводах, а также при работе в портах.

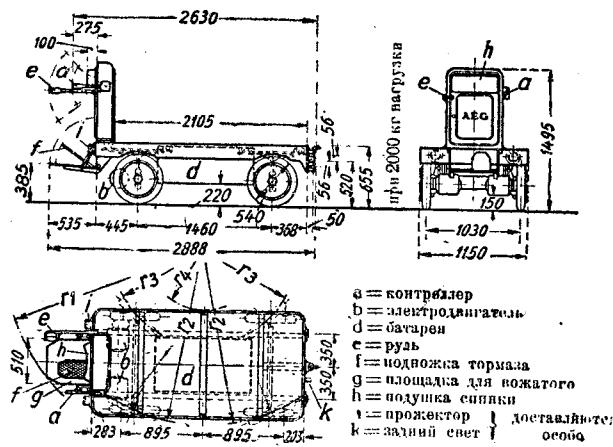


Рис. 2 Электротележка AEG на 2 000 кг

На Северных ж. д. аккумуляторные тележки приспособлены для перевозки материалов по железнодорожному рельсовому пути, заменив резиновые шины бандажами с ребордами. Простота управления тележками позволяла применять для их обслуживания малоквалифицированный персонал. На Северных ж. д. электротележки обслуживались женщинами.

Легкая подвижность и быстрая обрачиваемость электротележек позволяла им делать пробеги до 60 км в сутки. Средний удельный расход энергии составлял от 200 до 250 Wh на 1 ткм перевозимого груза. Себестоимость перевозки с учетом расходов на зарядку батарей, ремонт, амортизацию и погашение капитала может быть принята 25 коп. за 1 ткм.

Достоинством электротележек, изготавляемых в СССР, является их простота устройства и управления. Однако в последнее время за границей широко распространяются тележки более совершенного типа с подъемными платформами, облегчающими и ускоряющими нагрузку и разгрузку (рис. 1).

Новейшие электротележки AEG¹ строятся с гидравлическим подъемным устройством (рис. 2 и 3). Подъем платформы совершается при помощи ручного насоса с двумя поршнями. Для поднятия платформы на 115 мм необходимо сделать рукояткой насосов 12—15 ходов, на что затрачивается обычно

¹ Брош. фирмы AEG „Электротележки“

10—15 сек. Опускание платформы совершается в 2—3 сек. путем открытия вентиля, через который жидкость (смесь глицерина и воды 1:1) вытекает обратно из рабочих цилиндров.

На больших тележках подъем платформы совершается при помощи шунтового двигателя мощностью в 0,4 л. с., работающего через передачу на двухцилиндровый насос. Для опускания платформы достаточно простого нажатия кнопки.

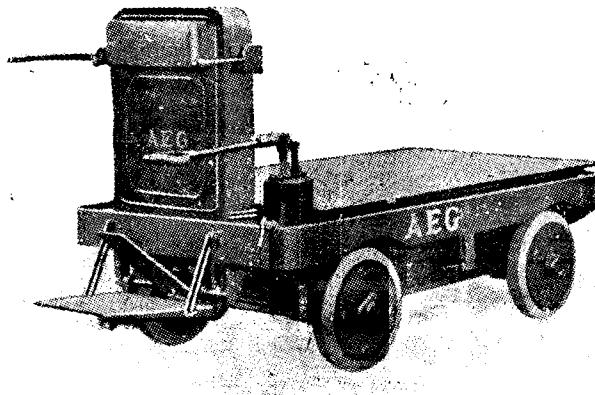


Рис. 3. Новейшая электротележка AEG.

Ниже приводятся основные данные для электротележки AEG грузоподъемностью в 2 000 kg (рис. 2 и 3).

Длина пробега по ровной местности	около 32 km
Скорость движения на площадке при полной нагрузке	9 km/h
Скорость движения на площадке без нагрузки	11,5 "
Вес тележки без батареи	1 000 kg
Вес тележки с батареей	1 440 "
Число элементов батареи	40 шт.
Емкость батареи	1,32 Ah
Число электродвигателей (серийных)	1,44 л. с.
Рабочее напряжение	78 V
Пятиминутная перегрузка двигателей	160%

Оба двигателя соединены с передними (ведущими) колесами (рис. 2). Контроллер управления имеет 3 ездовых и 1 тормозное положение как для переднего, так и для заднего хода. Помимо электрического тормоза (короткое замыкание) имеется еще механический тормоз с внутренними колодками на задних колесах. Рулевое управление действует на все четыре колеса. Сигнальное устройство состоит из педального звонка на площадке для вожатого.

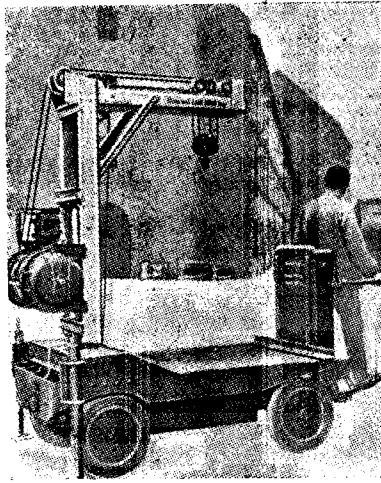


Рис. 4. Электротележка с электрическим вращающимся краном для 1 000 kg полезной нагрузки.

Весьма удобны для перевозки „штучных“ грузов (например электромашины) аккумуляторные тележки с поворотным краном. Подобная тележка AEG с электрическим приводом для крана, грузоподъемностью в 1 000 kg, показана на рис. 4. Согласно утверждению фирмы AEG электротележки с подъем-

ным устройством дают возможность повысить „транспортную производительность“ по сравнению с обычными тележками на 43%.

Необходимо критически изучить заграничные образцы электротележек для использования передовых достижений в нашей электропромышленности.

В. Коновалов

Техника высокого напряжения и линии передач

27. Восемнадцатипроводная линия. „The Electrical Review“ 4 декабря 1931, стр. 841

Три двухцепных линии, принадлежащие к разным электрическим системам, нужно было подвести с западного берега реки Severn (Англия) к генераторной станции, находящейся в Stourport на восточном берегу этой реки.

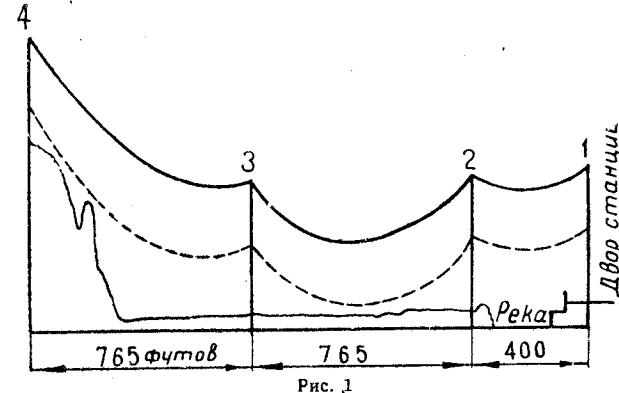


Рис. 1

Вначале предполагалось уложить по дну реки 18 однофазных кабелей, но затем остановились на том, чтобы этот переход произвести на опорах.

На рис. 1 показана установка опор по профилю.

Во дворе станции установлена концевая опора 1, от которой все 18 проводов идут через промежуточные опоры 2 и 3 к концевой опоре 4, находящейся на западном берегу. От этой опоры линии расходятся по трем направлениям.

Схема промежуточной опоры на 18 проводов показана на рис. 2. Тяжение проводов допущено пониженное, а именно 3 640 фунтов вместо допускаемых 4 500.

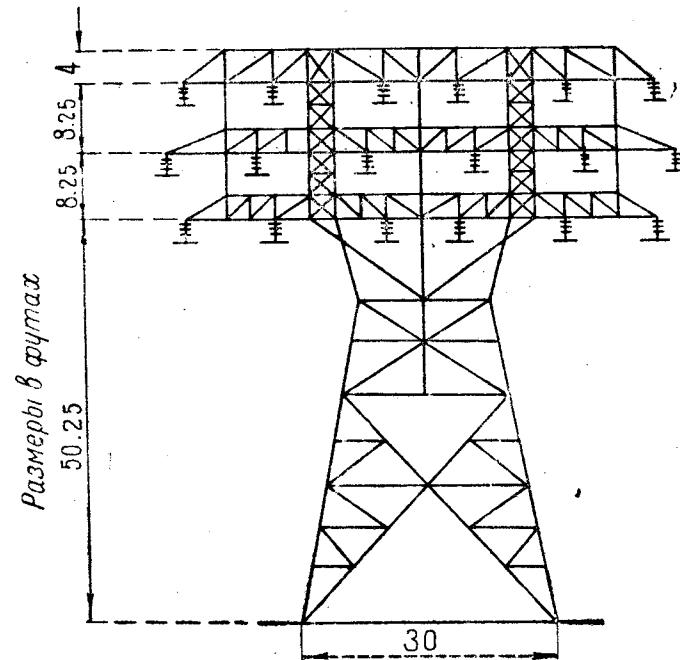


Рис. 2

Опоры для этой линии имеют много интересных особенностей. Так, для возможности починки или осмотра любой линии без отключения других внутрирешетчатых стоек, несущих тяжелые, сделаны лестницы до площадки, находящейся на верху опоры.

На этой площадке имеются люки, ведущие к проводам одной цепи; ключи от люков хранятся на станции.

Расстояния от проводов до частей опоры рассчитаны для напряжения в 66 kV, хотя линия работает при 33 kV.

Провода применены сталеалюминиевые. Стальная сердцевина имеет 7 проволок (диаметр проводки 0,07 дюйма).

Алюминиевая часть состоит из двух слоев, имеющих по 26 проволок диаметром 0,0893 дюйма каждая.

Д. Казарновский

28. W. R. ELLIS. **Новые методы защиты гирлянд от дуги**
"EI. Journal", декабрь 1931, стр. 638.

Защитные кольца и рога следует выбирать, строго сообразуясь с геометрическими соотношениями гирлянды и опоры; назначение их—отвести дугу от гирлянды и, следовательно, предупредить возможность повреждения последней, а также провода и места подвеса на опоре. Прелагаемая автором конструкция, приведенная на рисунке, дает идею его защитного устройства: металлическая дуга *b*, укрепленная на опоре с помощью держателя *c*, образует с частью *a*, прикрепленной к проводу, искровой промежуток, гарантирующий прибой воздуха именно в этом месте, раньше чем искра может перекрыть гирлянду.

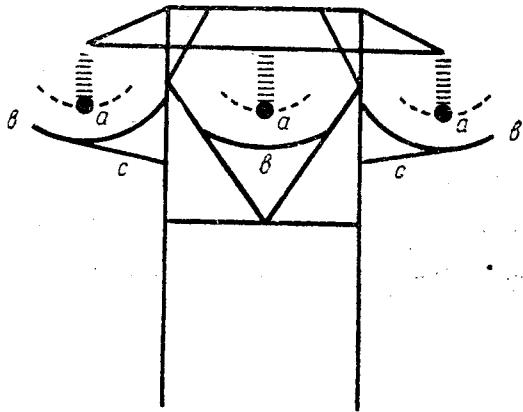


Рис. 1

Преимущество заключается в том, что дуга вспыхивает всегда далеко от гирлянды и не может повредить последней. Кривизна части *b* гарантирует неизменность искрового промежутка при отклонении гирлянды от вертикального положения (ветер, угловая опора). Очертания *a* и *c* могут быть выбраны из металла легкого и дешевого профиля, что, очевидно, может оказаться дешевле специальной арматуры на гирляндах; перекос этих частей по причине дешевизны не повлечет заметного возрастания эксплуатационных расходов. Еще более приемлемой и дешевой будет эта конструкция в опорах с вертикальным расположением проводов. Важно отметить, что эта конструкция может уменьшить размеры траверс сравнительно с траверсами для гирлянд, снабженных кольцами, так как наличие колец делает необходимым увеличение длины траверс.

К. Стефанов

29. G. W. STANE и O. H. CALDWELL. **Передача энергии постоянным током высокого напряжения**. "Electronics", III и 30/X 1931.

Как известно, преимущества передачи энергии постоянным током следующие: а) повышение при данной изоляции линии рабочего напряжения при постоянном токе до максимальной величины напряжения при переменном токе с вытекающими отсюда следствиями—лучшим использованием изоляции устройства и понижением почти вдвое потерь в активном сопротивлении линии для одного и того же количества передаваемой энергии, б) колебания напряжения при изменении нагрузки при переменном токе представляют очень серьезное затруднение при передаче энергии вследствие большой величины полного сопротивления линии. Этим обстоятельством объясняется небольшая нагрузка линий переменного тока сравнительно с наибольшей возможной. При постоянном токе можно идти на эту наибольшую нагрузку (увеличение пропускной способности линии от 3 до 6 раз). В настоящее время так называемые газотронные сконструированы на 30 000 V и 100 A при к. п. д. 90—95%. Пустотные выпрямители могут работать до 100 000 V. Целительность жизни этих приборов от

1 000 до 10 000 h и эксплуатационные расходы одного порядка с умформерными установками.

В САСШ находятся в опытной эксплуатации передачи на 4 000—5 000 kW. Эти передачи питаются при 60 пер/сек; в месте же приема энергии можно получать любую частоту; последнее обстоятельство, т. е. возможность преобразовать постоянный ток в переменный любой частоты, особенно следует подчеркнуть и огметить.

Дальнейшие перспективы применения газотронов—замена ими масляников; разрыв тока в 100 A при 10 000 V осуществляется ими без искры и дуги. Скорость размыкания этими приборами—десятимиллионные доли секунды. Примером преимуществ перехода на постоянный ток является опыт Commonwealth Edison Company в Chicago: два трехфазных кабеля с изоляцией относительно земли на 1320 V_{eff}, при включении на постоянный ток могут держать двойное по величине напряжение. Если провода одного кабеля питать через выпрямитель при напряжении + 26 400, другого—при 26 400 kV относительно земли, то между обоими кабелями получим 52 800 V. Допустимый ток нагрузки кабелей 300 A.

При переменном токе можно передавать по нему 14 000 kW; при постоянном, принимая во внимание вышеизложенное,—45 000 kW. Если даже передавать постоянным током при вдвое меньшем напряжении, то и здесь передаваемая мощность будет 24 000 kW.

К. Стефанов

30. M. RUSEAV. **Применение деревянных опор для линий передач очень высокого напряжения**. RGE, 11 октября 1930, стр. 516—518.

С точки зрения электрической применения деревянных опор дает добавочную изоляцию. Еще большая надежность получается, когда траверсы делаются также из дерева. Автор описывает результаты опытов по определению прочности изоляции траверсы при высокочастотном загухающем напряжении 70 000 пер/сек и при импульсе крутого фронта. В обоих случаях разрядное напряжение изоляторов, смонтированных на дереве, чрезвычайно повышается. Например, при штыревом изоляторе, имеющем сухое разрядное напряжение при 60 пер/сек 245 kV_{eff} и при 70 000 пер/сек 238 kV_{max}, смонтированном на деревянной траверсе, столбе и подкосе, напряжение доводилось до 755 kV_{max}, причем разряда не наблюдалось. При импульсе крутого фронта напряжение на гирлянде из 7 изоляторов, смонтированной целиком на деревянной опоре, доводилось до 176 kV, причем разряда не наблюдалось. Кроме того, при деревянных опорах не возникает дуга нормальной частоты, когда крупные птицы шунтируют изолятор.

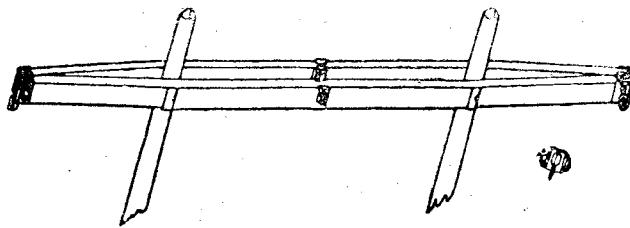


Рис. 1

Во всех случаях при применении деревянных опор выгодно допустить умеренное механическое тяжение проводов и большую стрелу провеса, в результате чего опоры становятся выше, но их надежность увеличивается. Гибкость деревянных опор ведет к уменьшению механических напряжений и особенно выгодна для амперных опор. Но, как показали наблюдения, сделанные в эксплуатации, если имеется уменьшенное число анкерных точек, то в линии могут развиваться кратковременные перенапряжения, во время которых (особенно при гололеде) крайние опоры могут получить сильные повреждения, в то время как промежуточные опоры остаются неповрежденными. С этой же точки зрения следует избегать слишком острых углов; предпочтительнее добавить лишний пролет. Также выгодно угловые опоры снабжать подвесными изоляторами, которые автоматически принимают направление, регулирующее усилия.

При конструировании 90-kV линии, проходящей в Америке в области Скалистых гор, были приняты во внимание указанные выше соображения. Применение дерева в качестве материала было вызвано чрезвычайной сухостью воздуха, а также тяжелыми условиями доставки материалов. С другими материалами, более тяжелыми чем дерево, встречались чрезвычай-

ные затруднения с доставкой, вследствие чего цена опор становилась слишком высокой. Сухость воздуха и высокое положение создавали дереву естественное воздействие, которое с течением времени оказалось тот же эффект, что и пропитка в вакууме, и чрезвычайно благоприятствовали долговечности дерева. Опоры применялись целиком деревянные, соединения арматур не производились и защитного троса не было, за исключением участков по 800 м с обеих сторон подстанции, где были заземлены арматуры изоляторов.

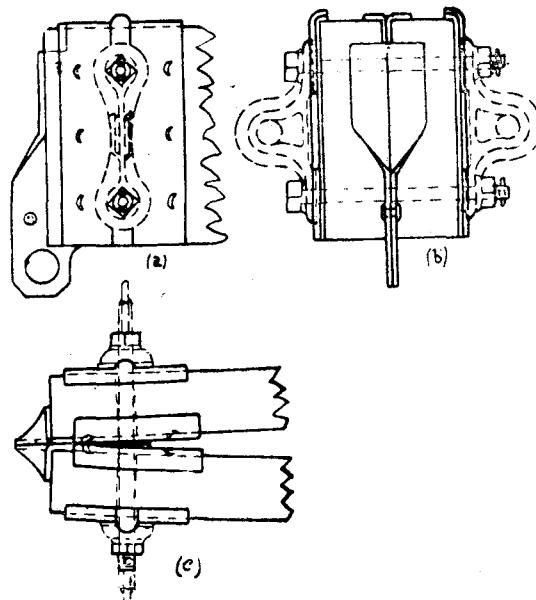


Рис. 2

Важной характеристикой линии является применение металлических пластин на траверсе, которые впервые были введены Ohio Brass Co.

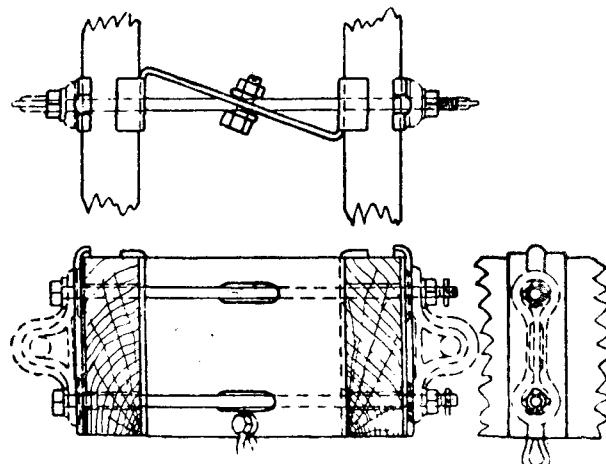


Рис. 3

Эти пластины крепятся в точках соединения деревянных частей и в точках присоединения изолятора. Вследствие сравнительно большой поверхности этих пластин концентрация тока, утечка у болтов исключаются и плотность его везде в дереве становится гораздо слабее, чем при системе с обычным креплением болтов, что создает прекрасную защиту против сгорания траверсы. Кроме того, эти планки можно устроить для увеличения прочности подвески изолятора. Эта механическая прочность подвески изолятора достигается посредством применения двухтраверс, скрепленных вместе таким образом, что они создают многоугольник. При таком устройстве хомуты на траверсах применять нет надобности, усилие же, которое она может выдержать, по крайней мере, в десять раз больше того, которое можно было бы допустить в случае крепления двумя бронзовыми тягами. Кроме планок на краю траверсы помещаются

два куска стали, снабженные зубьями, которые, воинзаясь в дерево, помогают болтами поддерживать прочность конструкции. Рис. 1, 2 и 3 показывают детали этой конструкции.

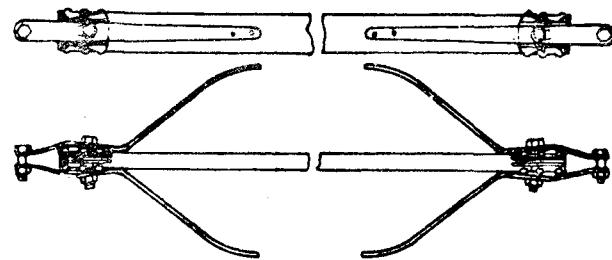


Рис. 4

Оттяжки линии изолированы посредством применения деревянных изоляторов, сечением 10×5 см и длиной 304,8 см, сделанных из дуба, прониганного креозотом и снабженных по краям защитными рогами (рис. 4). Разрядное расстояние между краями рогов установлено на 200 см. Усилие на дереве передается посредством железных скоб, присоединенных в середине остроумной конструкции, состоящей из клинообразных железных лап, скрепленных слегка изогнутыми болтами. Эти изоляторы могут работать после соответствующего испытания при усилии в 10 900 kg.

Е. В. Калинин

31. KOPELIOVITCH J. Импульсное испытание изоляторов. Bull Ass. Suisse des El^e, № 19, 1931, стр. 461—481.

Касаясь вначале характеристик перенапряжений атмосферного происхождения, автор выводит на основании опубликованных литературных данных, что амплитуда волн достигает

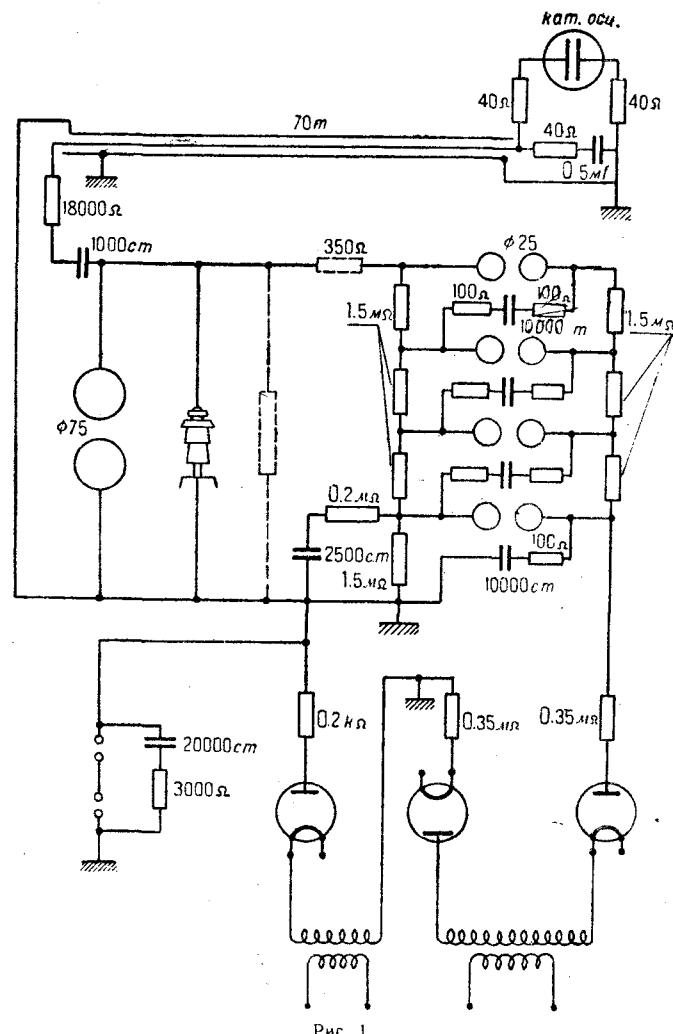


Рис. 1

2700—3 150 kV, а средняя крутизна волн редко превосходит 400 kV/μs. Воздействию такого рода волн изоляторы могут быть подвергнуты в лаборатории при импульсном испытании. Следует различать два вида испытаний: контрольное испытание, когда хотят подвергнуть изоляторы воздействиям, подобным тем, которые будут иметь место в эксплуатации, и испытание типа, когда хотят определить пробивное напряжение изолятора.

Для производства контрольных импульсных испытаний надо установить форму и амплитуду волны, число промежутков между разрядами и т. д. Для этого необходимо произвести исследование, как ведут себя изоляторы в эксплуатации, а также и при импульсном испытании. Среди предписаний, имеющихся в некоторых странах (пока еще не обязательных), нормы Союза немецких электриков позволяют вывести следующую формулу для подсчета амплитуды импульсной испытательной волны: $U_{imp} = (4,85 U + 41) kV_{max}$, где U — рабочее напряжение изолятора в kV_{eff} .

Импульсная установка, описание которой приводит далее автор, может работать по схеме упятерения (схема Маркса): ударная емкость равна 2 000 ст и наибольшее импульсное напряжение 1 250 kV_{max}. В большинстве случаев установка работает по схеме учетверения, а конденсаторы пятой ступени используются в качестве потенциометра для катодного осциллографа. На рис. 1 приведена схема этой установки. В этой схеме применены дополнительные мероприятия для уничтожения колебаний, налагающихся на основную волну. Как показали съемки катодным осциллографом, установка, работающая по обычной схеме Маркса как несимметричной, так и симметричной, дает волну с наложенными высокочастотными колебаниями (рис. 2). Включением последовательно с генерирующими разрядниками сопротивления порядка 700—1 000 Ω, расположенного на несколько отдельных сопротивлений, можно добиться уничтожения этих высокочастотных колебаний. Для этой цели может быть также применено сопротивление, включаемое параллельно испытываемому изолятору. При первом способе значительно сглаживается фронт волны, а при втором способе хвост волны становится более крутым; наибольшие напряжения установки при обоих способах уменьшаются. На рис. 3 показана волна, полученная при последовательно включенном сопротивлении 700 Ω и параллельно включенным сопротивлении 7 000 Ω. При такой неискаженной волне может быть достигнута средняя крутизна фронта в 1 000—1 200 kV/μs при длине фронта порядка 0,8 μs.

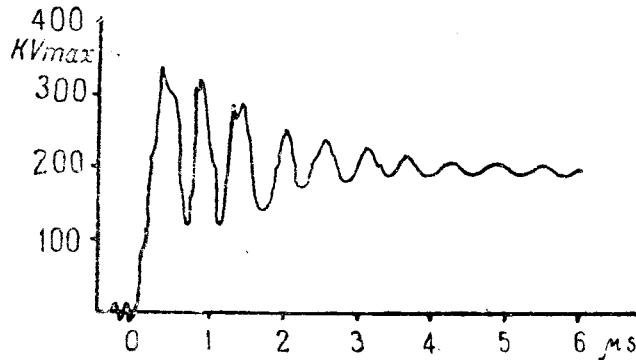


Рис. 2

Далее автор приводит результаты импульсных испытаний 16 штыревых изоляторов, новых и бывших в эксплуатации. Минимальное разрядное напряжение значительно более высоко для отрицательных волн, чем для положительных: для штыревых изоляторов гасождение составляет до 27% (для подвесных до 18%). Запаздывание разряда получается при одном и том же напряжении волны более высоким для отрицательных волн. Минимальное разрядное напряжение и соответственно коэффициент импульса сильно зависят от того, будет ли применена чистая волна или волна с наложенными высокочастотными колебаниями. В последнем случае были получены коэффициенты импульса до 1,53, т. е. той величины, которую получил и Маркса в своих опытах; при чистой же волне коэффициенты импульса получились значительно меньшими. При определении пробивных импульсных напряжений изоляторов выяснилось, что положение Маркса, что число ударов свыше 10—12 не влияет на пробивное напряжение, оказалось не совсем верным, так как некоторые испытанные изоляторы определенно были ослаблены большим числом ударов, а также несколько пробоев произошло в промежутке 40—80 ударов.

Пробивной коэффициент импульса колебался от самых малых величин порядка 1,04, до больших, порядка 2,3 (чистая волна некоторые же изоляторы не удалось пробить, несмотря на то что были достигнуты коэффициенты импульса 2,15 (чистая волна); дальнейшее повышение напряжения было невозможным вследствие больших ионизационных токов. Пробой проходил во всех случаях кроме одного таким образом: разряд по верхним юбкам на внутренний склеивающий слой, некоторый путь по этому слою и пробой внутренней части изолятора. При испытании же под маслом при 50 пер/сек пробой всегда проходил через головку изолятора.

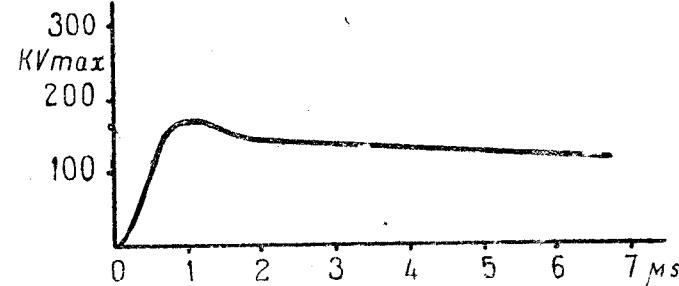


Рис. 3

Наконец, автор останавливается на явлении разряда в неоднородном поле и на импульсных характеристиках изоляторов. Пиком было выведено уравнение, дающее зависимость между запаздыванием разряда и коэффициентом импульса и имеющее вид: $t = \left(\frac{a}{k-1} \right)^2$, где t — время запаздывания разряда, k — коэффициент импульса и a — некоторый коэффициент. Пик нашел, что для подвесных изоляторов коэффициента a изменяется в пределах от 0,6 до 1,5 для положительных и отрицательных волн различной формы. Автором была произведена проверка уравнения Пика для штыревых изоляторов. Оказалось, что это уравнение применимо и для штыревых изоляторов времен запаздывания разряда, меньших 5 микросекунд; коэффициент a получился для нескольких штыревых изоляторов в пределах от 0,63 до 0,75.

А. Калантаров

32. W. M. DANN. Силовые трансформаторы противостоят грозовым переаппаратиям. „El. Journal“, декабрь 1931, стр. 657—659.

Автор описывает испытания, проведенные силовым трансформатором на 42 000 kVA. Нарастание фронта испытательной волны было 11,10 V/μs, т. е. втрое больше обычно встречающихся в практике измеренных величин при естественных грозовых условиях. Испытания имели назначением показать, что трансформатор удовлетворяет гарантированным условиям. В дальнейшем подобные испытания были проведены еще на трех единицах. Кроме того, имелась возможность выявить в процессе испытаний вопросы, важные для координации изоляции отдельных частей всего высоковольтного устройства: защитный искровой промежуток, изоляция линии, ввод трансформатора и изоляция последнего (внутренняя), подтверждение идеи, что волны с длинным фронтом не вызывают опасных колебаний в обмотке трансформатора. Для исследования использован был генератор импульсов на 3(0) kV. Волна имела фронт в 1,5 μs и длину ~40 μs (т. е. спад до 50% своего амплитудного значения). Емкость трансформатора значительно влияет на форму волны, поэтому мощность генератора импульсов была взята наибольшая. Автор заявляет, что его емкость была вдвое больше емкости самых последних генераторов в Америке (цифры не даны). Схема расположения при испытании была такова: искровой промежуток-провод (подвешенный на 14-элементной гирлянде)-трансформатор. Напряжение генератора постепенно повышалось вплоть до пробоя искрового промежутка в 64". Далее искровый промежуток убирали и поднимали напряжение до разряда на гирлянде. В первом случае амплитуда была 1 100 kV, во втором — 1 350 kV. Последний опыт был проделан после добавления в гирлянду еще 7 элементов (всего 21 элемент), когда при 1 500 kV произошел разряд на вводе трансформатора. Эта серия опытов подтвердила правильность подбора изоляции всего устройства.

Четвертый опыт имел целью выяснить поведение трансформатора при волне очень крутого фронта, что может иметь место в случае близкого к трансформатору прямого удара

молнии. Был установлен искровой промежуток в 64", гирлянда в 21 элемент. Волна после пробоя искрового промежутка, достигшая своего максимума в 2250 кВ, в 0,2 мс перекрыла ввод трансформатора. Это испытание самое жесткое, так как наибольшая крутизна фронта, зарегистрированная при исследованиях молний на линиях была 4 000 кВ/мс. И этот опыт не дал повреждений обмотки трансформатора. Испытание последнего по всем нормам и внимательное наблюдение во время испытаний показали высокое качество трансформатора этой конструкции (Swigeroof). Автор, к сожалению, не указывает принципов защиты этого трансформатора, построенного у Westinghouse.

К. Стефанов

Разное

33. P. FOURMAUER. **О существовании аномального магнитного потока** (доклад на заседании Общества в апреле 1931 г.). "Bull de la Soc. Française des Electriciens". № 12, 1931, стр. 1286—1297

Автор критикует работы акад. В. Ф. Миткевича, отпечатанные в "Известиях Академии наук СССР" в 1929 г. В. Ф. Миткевич возбуждает магнитный поток в кольце T , включая в цепь I постоянный ток i_1 . Кольцо T окружено железным экраном P . Катушка K , окружающая кольцо T , позволяет измерить при помощи гальванометра G поток $\Delta\Phi_1$ в T .

Другая обмотка $S_1S_2S_3$ позволяет измерить весь поток $\Delta\Phi_2$, создаваемый током i_1 . Наконец при включении этих обмоток навстречу друг другу и можно измерить разность указанных потоков, т. е. поток в экране P .

В. Ф. Миткевич наблюдал при включении тока i_1 кроме нормального потока

$$\Phi_n = M_n i_1$$

также и "аномальный" поток, пропорциональный производной тока

$$\Phi_a = -M_a \frac{di_1}{dt},$$

где M_a "аномальный" коэффициент взаимной индукции.

Автор утверждает, что опыты В. Ф. Миткевича отнюдь не доказывают существования нового явления, объясняемого только с точки зрения реального существования магнитных силовых линий в виде каких-то физических тел. Автор рассматривает экран P как вторичную обмотку, состоящую как бы из одного

витка, и показывает, что ток i_2 в этой обмотке на основании обычных законов индукции должен удовлетворять уравнению

$$r_2 i_2 = - \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \frac{n_2^2}{n_1} (E - r_1 i_1) + 4 \pi \frac{n_1 n_2}{R_2} \frac{di_1}{dt},$$

где r_1, r_2 — электрические сопротивления,

n_1, n_2 — числа витков первичной обмотки, I и вторичной обмотки, состоящей в данном случае из одного витка,

R_1, R_2 — магнитные сопротивления кольца T и экрана P .

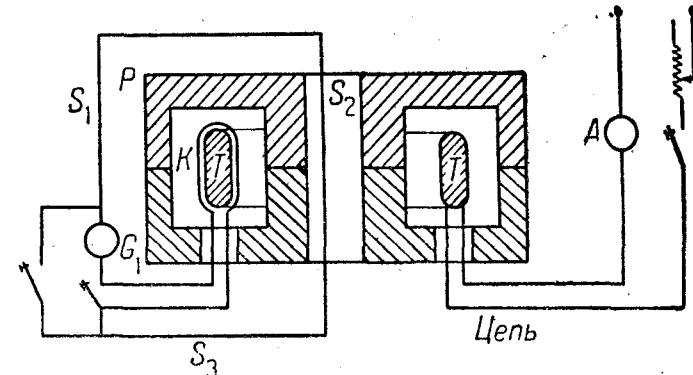


Рис. 1

Поток в P , пропорциональный i_2 , состоит из части, пропорциональной i_1 , и из части, пропорциональной $\frac{di_1}{dt}$.

Обычная теория дает более точное истолкование явления чем гипотезы В. Ф. Миткевича: при включении тока i_1 в экране P возникает ток i_2 , создающий поток, противоположный потоку $\Delta\Phi_1$. Ток i_2 постепенно доходит до нуля, но благодаря наличию гистерезиса часть потока остается в экране и может быть обнаружена гальванометром как разность потоков $\Delta\Phi$ и $\Delta\Phi_1$.

Автор критикует и другие опыты В. Ф. Миткевича, связанные с "аномальным" потоком.

В дискуссии приняли участие Лиенар, Бюне и Дарье (Darius), давшие истолкование с точки зрения обычной теории Максвелла возможности возникновения при высокой частоте так называемых "аномальных" потоков В. Ф. Миткевича.

Н. Шпильрейв

Ввиду ограниченности тиража

спешите подписаться на журнал

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Условия подписки см. на 2-й стр. обложки

ОНТИ — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
Техред Е. Чебышева

РЕДКОЛЛЕГИЯ: Е. С. Аваков, В. И. Вейц, М. Н. Грановская
Я. А. Климоцкий, И. С. Палицына, М. И. Рубинштейн, Н. А. Сазонова
М. А. Шатеден, Я. Н. Шпильрейв
ОТВ. РЕДАКТОР Я. А. Климоцкий

Сдано в набор 10/II. Подписано в печати 14/III. Бумага 62×94. Объем 7 лист. Колич. тип. знак. 7800 в листе.

Уполн. Главлита № Б 18860

9-я тип. Мособлполиграфа, Москва, Ильинка, Юшков, 10. 1035

Тираж 12 000

ОНТИ

КНИГОЦЕНТР

ОНТИ

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1932 год
НА ЖУРНАЛЫ

„ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ“

Ежемесячный орган Всесоюзного электротехнического об'единения ВЭО

ЗАДАЧИ ЖУРНАЛА: достижения советской электропромышленности сильного тока, описание новых типов выпускаемых изделий с их технической характеристикой, результаты лабораторных испытаний, виды и условия применения, опыт эксплоатации и качество электротехнических изделий. Особый отдел—электродвигательные приводы к производственным станкам и машинам. Отделы планово-экономический.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН на инженеров, техников, квалифицированных рабочих и студентов вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год 10 р. — к.,
на 6 мес. 5 р. — к.,
на 3 мес. 2 р. 50 к.,
Отдельный номер 1 р. — к.

Льготная при коллективной подписке не менее 10 экз.

на год 9 р. — к.,
на 6 мес. 4 р. 50 к.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ ЭНЕРГОЦЕНТРА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ГОД ИЗДАНИЯ 3-й

ГОД ИЗДАНИЯ 3-й

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Описание проектов новых станций и сооружений. Освещение опыта эксплоатации станций и их отдельных частей. Вопросы организации строительства. Вопросы планирования электростроительства и распределения энергии. Разбор новых проблем эксплоатации и рационализации энерг хозяйства. Эксплоатация высоковольтных сетей и электропередач. Параллельная работа станций. Освещение достижений Запада в вопросах электростроительства.

Журнал рассчитан на инженера, техника и квалифицированного рабочего станции, учащихся вузов и вузов, библиотеки, научно-исследовательские и проектирующие институты.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год 15 р. — к.,
на 6 мес. 7 р. 50 к.,
на 3 мес. 3 р. 75 к.,
Отдельный номер 1 р. 50 к.

Льготная при коллективной подписке не менее 10 экз.:

на год 8 р. — к.,
на 6 мес. 4 р. — к.,
на 3 мес. 2 р. — к.

Подписка принимается во всех отделениях и магазинах Книгоцентра ОГИЗа, его уполномоченными и на почте.

ОНТИ

КНИГОЦЕНТР

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА НА 1932 ГОД
НА ЖУРНАЛ

„СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ И НАУКА“

НОВЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

(Издается по постановлению ЦК ВКП(б) о техпропаганде)

- „СО-РЕ-НА“ выходит толстыми книгами 10 раз в год.
- „СО-РЕ-НА“ издается органом Научно-исследовательского сектора и сектора технической пропаганды ВСНХ СССР.
- „СО-РЕ-НА“ рассчитан на научных работников, инженеров, хозяйственников, преподавателей и студентов вузов и втузов
- „СО-РЕ-НА“ издается при ближайшем участии наиболее крупных ученых, инженеров, хозяйственников и экономистов СССР. В журнале будут также даваться статьи выдающихся иностранных ученых.
- „СО-РЕ-НА“ помещает статьи руководящего характера, статьи по внедрению диалектического материализма в естественные и технические науки, теоретические статьи по всем общим дисциплинам, статьи по боевым вопросам современной техники, по организации научно-исследовательского и технического труда и т. п.
- „СО-РЕ-НА“ освещает главные основные проблемы и достижения зарубежной научной и технической мысли.
- „СО-РЕ-НА“ содержит помимо отдела статей, также отделы: Обзоры и рефераты, „Работа научно-исследовательских институтов СССР“, „Библиография русская и иностранная“, деятельность НИС и техпропа ВСНХ.

ЦЕНА

50 к. Отдельный номер—2 р.

ЖАЧНЫЙ ЖУРНАЛ

„ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ“

(МЕТОДИКА и ПРАКТИКА)

Орган сектора производственно-технической пропаганды ВСНХ СССР

ЖУРНАЛ СТАВИТ СВОЕЙ ЗАДАЧЕЙ:

Дать информационным органам нашей промышленности правильную установку работы, в соответствии с директивами партии о техпропаганде.

Дать инструктивный и методический материал по линии организации работы технических библиотек, групп технической информации и ячеек обмена опытом.

Организовать на страницах журнала обмен опытом в области этой работы. Поставить на широкое обсуждение спорные вопросы и новые предложения. Информировать читателя о формах и методах технической пропаганды на заводе.

Освещать новейшие советские и иностранные издания по вопросам технической информации. Держать читателя в курсе технической работы, проводимой в отдельных отраслях промышленности.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН

на работников органов технической информации, групп по обмену опытом и работников технических библиотек. Журнал представляет также интерес и для инж.-техн. работников нашей промышленности.

Подписка принимается во всех отделениях и магазинах Книгцентра ОГИЗа, его уполномоченными и на почте

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год 15 р.,
на 6 мес. 7 р. 50 к.
на 3 мес. 3 р. 75 к.

Цена отдельного номера—1 р. 50 к.