

1932

„Коммунизм есть советская власть плюс электрификация всей страны“.

ЛЕНИН

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 2

ЯНВАРЬ

В Ы П У С К II



МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.bookske.ru

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1932 год
НА ЖУРНАЛЫ

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“ Год издания 52-й

Двухнедельный орган электроэнергетических учреждений и организаций ВЭО, Энергоцентр ВСНХ СССР и ВЭК

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным руководящим научно-технич. 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.

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 письмомосцами

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Орган Всесоюзного электротехнического объединения (ВЭО), Всесоюзного объединения 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, Ипатьевский пер., д. 2, помещ. 12, 1-й этаж. Телеф.: 72-46 и 1-57-19

Январь 1932 г.

№ 2

Январь 1932 г.

Содержание

	Стр.		Стр.
<i>Передовая</i> —Выше темпы и качество социалистической электрификации	69	<i>А. Чаплыгин</i> —Проблема большой Волги	85
Годовщина речи т. Сталина об овладении техникой	73	<i>П. И. Сазанов</i> —Устойчивость параллельной работы электростанций	91
О схеме электрификации железных дорог на второе пятилетие	74	<i>С. А. Лебедев</i> —Регулирование сложных электрических систем	105
Резолюция Оргкомитета о схеме электрификации железных дорог	78	<i>П. С. Жданов</i> —Синхронизация электрических систем	113
Генеральный план электрификации Северного края	78	Выводы по основным научно-техническим проблемам ЕВС	114
Резолюция по генеральному плану электрификации Северного края	84	<i>Б. Л. Розинг</i> —Новейшие достижения в области теории и практики фотоэлементов	117
		Из книг и журналов	122

Выше темпы и качество социалистической электрификации! К XVII Всесоюзной конференции ВКП(б)

Под руководством Ленинского ЦК во главе с т. Сталиным партия и рабочий класс добились гигантских успехов в социалистической реконструкции и индустриализации народного хозяйства страны. Фундамент социалистической экономики построен.

1931 г.—третий решающий год пятилетки—явился годом всемирно-исторических побед пролетариата Советского союза. Коллективизацией охвачено 62% бедняцко-середняцких хозяйств, занимающих 79% всех крестьянских посевных площадей, и на этой основе идет решительная ликвидация кулачества, как класса. Полностью уничтожена безработица.

„Победа социализма в нашей стране обеспечена, хотя классовая борьба еще далеко не закончена, кулачество, как класс, окончательно не ликвидировано“ („Правда“, 1 января 1932 г.).

Этих успехов мы добились не самотеком, а в настойчивой борьбе за большевистские темпы индустриализации на основе ленинского плана электрификации всей страны, в упорной и непримиримой борьбе со всеми уклонами от генеральной линии партии и вредительством.

Круто восходящая вверх кривая нашего социалистического роста ярко вырисовывается на

мрачном фоне загнивания монополистического капитализма, охваченного тисками величайшего кризиса. В 1932 г. капиталистический мир вступил под знаком резко растущего распада своего хозяйства, со все увеличивающейся огромной армией безработных в десятки миллионов человек, с дальнейшим снижением промышленной продукции. По объему промышленной продукции Германия отброшена на уровень ниже 1900 г., в области металлургии, САСШ отодвинулись на уровень 1900 г.

Заживо гниет и разлагается буржуазная культура. Закрываются учебные заведения, библиотеки, научно-исследовательские институты. Массы научно-технической интеллигенции захвачены свирепой безработицей. Неприкрытая поповщина и средневековый католицизм проникают при содействии социалфашистов в школы и в область философии, литературы и искусства, неизгладимо отмеченную печатью беспросветного пессимизма. Буржуазные философы типа Шпенглера предвещают гибель техники, отображая этим глубочайшие противоречия между достигнутым уровнем производительных сил и системой капиталистического хозяйства.

Эти противоречия с особой силой вырисовываются на участке передовой техники, на электрифи-

кации, достижения которой не могут быть органически освоены капитализмом в народнохозяйственном масштабе. Глубокая неравномерность технико-экономического развития выступает на этом участке капиталистического хозяйства особенно резко. Наряду с отдельными достижениями энергетики в деле полезного использования топливных ресурсов,—средний коэффициент использования потребленных в народном хозяйстве энергетических ресурсов по данным буржуазных исследователей составляет в САСШ около 8%, в Англии—3,8%, в Германии—6%.

Экономический кризис повлек за собою дальнейшее снижение производства электрической энергии во всех без исключения капиталистических странах. Например отпуск электроэнергии одних только станций общего пользования в САСШ сократился в 1930 г. на 3 млрд. kWh и лишь за первую половину 1931 г.—также на 3 млрд. kWh. Неразрывно вместе с этим идет неудержимый процесс и дальнейшего снижения коэффициентов использования электрических мощностей, которые даже в наиболее благоприятные послевоенные годы капитализма были весьма низки и измерялись в 20—30%. В тех же САСШ число часов работы установленной мощности на станциях общего пользования сократилось в 1930 г. на 300 час. по сравнению с 1929 г., а в 1931 г. кривая нагрузки еще более стремительно пошла вниз, наглядно иллюстрируя характерный для капиталистического хозяйства глубокий разрыв между потенциальной мощностью энергетического аппарата и уровнем его использования.

На примере загнивания капиталистической электрификации видно, как трещит по всем швам здание капитализма, все глубже и острее подтачиваемое противоречиями. Из этого кризиса капиталисты ищут выхода в усиливающемся контрреволюционном наступлении на рабочий класс и в подготовке новой империалистической войны против Страны советов. Пролетариат и угнетенное колониальное крестьянство капиталистических стран готовят силы и мобилизуются под знаменами компартий для борьбы за мировой Октябрь.

В свете борьбы двух систем становится понятно величайшее значение наших достижений на пути к полной технико-экономической независимости СССР.

Особенно важно подчеркнуть наши успехи на важнейших участках народного хозяйства, в области энергетики и электрификации. Новая мощность районных электроцентралей, введенная в 1931 г., составляет 800 тыс. kW, а общий прирост мощностей—свыше 1,1 миллиона kW, что немногим менее наметки всего плана ГОЭЛРО, рассчитанного на 10—15 лет. Прирост выработки электроэнергии за 1931 г. составляет около 3 млрд. kWh¹.

На электростанциях СССР, выстроенных в 1931 г., основным стандартом мощностей явился турбогенератор в 24 тыс. kW и наметился решительный переход к агрегатам в 50 тыс. kW. Введена значительная мощность теплоэлектроцентралей, и дан толчок развитию теплофикации. Велики успехи и в части производства собственного

энергетического оборудования: 300 тыс. m² поверхности нагрева паровых котлов, 880 тыс. kW паровых турбин, 70 тыс. kW гидротурбин, 3,415 тыс. kVA трансформаторов около 2 млн. kW мощностей моторов переменного и постоянного токов.

Эти количественные показатели говорят о значительных качественных сдвигах в нашей энергетике. О том же говорят яркие факты овладения техникой и постановки совершенно новых производств энергетического оборудования в промышленном масштабе. Это—производство паротурбин в 24 и 50 тыс. kW, теплофикационных турбин 12 тыс. kW, гидротурбин в 12 тыс. kW, автоматических регуляторов к ним, высоковольтных трансформаторов на 115 тыс. kV, кабели на 220 kV, высоковольтных масляных выключателей, изоляторов и аппаратуры высокого напряжения, мощных ртутных выпрямителей, крановых моторов и крановой аппаратуры, магнето, индукционных печей для плавки металлов, автотракторного электрооборудования, электрооборудования для тепловозов, электросварочного оборудования, машин высокой частоты, машин закрытого типа для шахт, сверхмощных электромоторов и сложного электрооборудования для блюмингов, турбогенераторов в 24 тыс. kW, гидрогенераторов в 10 тыс. kW и т. п. Наконец, приступлено к производству турбогенераторов в 50 тыс. kW и гидрогенераторов в 62,5 тыс. kW для Днепростроя (эти объекты производятся впервые в мире также и американской фирмой Джeneral Электрик по нашему заказу). Таков далеко неполный перечень наших достижений, свидетельствующих об успешном ходе реализации лозунга партии „догнать и перегнать“ на одном из важнейших фронтов техники.

1932 г. является четвертым заключительным годом победоносной большевистской пятилетки. Принятый недавней сессией ЦИК СССР народнохозяйственный план (контрольные цифры) на 1932 г. намечает дальнейшие крупнейшие сдвиги на пути технической реконструкции Союза. Главные звенья этого плана: топливо, металл, машиностроение, транспорт, организационно-хозяйственное укрепление социалистического сектора сельского хозяйства и урожайность. В основу плана положено дальнейшее форсированное развитие электрификации. Контрольные цифры определяют новый огромный прирост мощности электрических станций страны от 4,1 млн. kW 1931 г. до 5,6 млн. kW, в том числе по районным станциям до 3,15 млн. kW. В части производства электрической энергии утвержден рост с 11 млрд. 1931 г. до 17 млрд. kWh, в том числе по районным станциям—10 млрд. kWh.

Народнохозяйственный план включает в себе предпосылки для его перевыполнения в порядке встречного плана социалистического соревнования трудящихся масс и путем мобилизации внутренних ресурсов. Таким образом и контрольная цифра производства электрической энергии—17 млрд. kWh не является пределом возможных достижений четвертого года пятилетки, в плане которой на последний год зафиксирована цифра в 22 млрд. kWh.

В 1932 г. должен вступить в строй один из основных индустриальных гигантов пятилетки—Днепрокомбинат, величайшая гидроцентральный

¹ Для сравнения можно указать, что в предкризисный 1928 г. в Англии было введено новых мощностей 450 тыс. kW, в Германии—900 тыс. kW, а в САСШ—2 млн. kW. В связи с экономическим кризисом прирост мощностей во всех капиталистических странах резко сократился.

которого 1 мая должна дать ток. Своевременный пуск Днепрокомбината—дело чести всего Советского Союза. Готовясь к этому, следует вспомнить, что лишь 5 лет отделяют нас от пуска первенца советского гидроэлектростроительства—Волховстроя. Это был первый мощный объект ГОЭЛРО. В истории индустриализации Союза Волховстрой занимает почетное место. Происки вредителей и жалкие наскоки оппортунистов на план ГОЭЛРО были разбиты успехами этого первого строительства. Волховстрой явился конденсатором нашего опыта, кузницей кадров электрификации и дал мощный толчок развитию советской электропромышленности и турбостроению. От Волховстроя—к Днепрострою, каждая из турбин которого—целый Волховстрой,—таковы знаменательный путь и подлинно большевистские темпы социалистической индустриализации.

В 1932 г. должна быть во всю ширь развернута электрификация железнодорожного транспорта, являющаяся ведущим звеном его технической реконструкции, с тем чтобы по директиве июньского пленума ЦК ВКП(б) дать 3700 км электрических железных дорог к 1933 г.

Дальнейшее внедрение электрического привода во все отрасли промышленности, всесторонняя автоматизация процессов производства на электрической основе и автоматизация управления самими электрическими установками, развертывание новых отраслей электрометаллургии и электрохимии, решительное применение электросварки и электрорезки и вытеснение ими других менее эффективных методов металлообработки,—таково общее направление качественных сдвигов в технической реконструкции нашей промышленности на базе электрификации.

Рост и укрепление социалистического сектора сельского хозяйства, широкая его тракторизация и механизация, организация в ряде районов машино-электрических станций создают в 1932 г. предпосылки для постановки на прочной основе мероприятий по электрификации сельского хозяйства.

Мощный подъем городского хозяйства и рост социалистических городов требуют дальнейшего внедрения электричества во все области коммунального строительства и широкой электрификации и теплофикации быта.

В 1932 г. должен быть составлен генеральный план электрификации Союза. Огромная работа по его подготовке проделана во всех основных районах страны. Научно-технические кадры промышленности, транспорта и сельского хозяйства привлечены для разработки этого плана, который явится одним из важнейших элементов второй пятилетки народного хозяйства, стержнем дальнейшего развернутого социалистического строительства. Генплан электрификации должен стать достоянием широких масс трудящихся нашей страны и перед лицом кризиса капитализма продемонстрировать образец единой плановой социалистической системы. Одной из руководящих технических идей генплана является создание единой высоковольтной сети Союза, проблемы которой были выдвинуты на широкое обсуждение в 1931 г.

Важнейшие из этих проблем—передача постоянным током высокого напряжения больших мощностей, устойчи-

вость параллельной работы крупных электрических систем и автоматизация их управления на расстоянии, построение трансформаторов и другой аппаратуры сверхвысокого напряжения, вопросы изоляции и комплекс методологических и технико-экономических вопросов единой высоковольтной сети. Эти проблемы должны занять видное место в работе научно-исследовательских электротехнических институтов в 1932 г.

Электростроительство Союза и разработка нового плана электрификации должны быть тесно увязаны с своевременным исследованием и подготовкой наших огромных природных энергетических ресурсов, отличающихся слабой разведанностью, главным образом, по линии местных топлив (торф, сланцы и др.), а также водных ресурсов, положение с изучением которых особенно напряженно. Гидроэлектростроительство должно получить более быстрое развитие.

Рационализация топливноиспользования, комбинированное производство и расходование тепла на энергетические, промышленные и хозяйственные нужды (теплофикация), повышение всех качественных показателей электроэнергетического хозяйства (cos φ, к. п. д., коэффициентов использования и т. д.) и полное технико-экономическое освоение уже построенных новых объектов—вот отличительные задачи 1932 г. по линии борьбы за качество электрификации.

Значительных сдвигов мы добились в области подготовки кадров высшего и среднего технического состава электрохозяйства путем решительной перестройки и расширения электротехнического образования и производственного обучения, выполняя блестяще оправдавшую себя директиву партии о передаче вузов и техникумов в ведение хозобъединений. В еще более широком масштабе задача подготовки кадров, выработки правильных профилей специалистов и методологически проверенных программ будет стоять в 1932 г.

Все эти задачи, характеризующие гигантский подъем социалистической реконструкции народного хозяйства на высшую ступень, должны решаться методами работы по новому, сформулированным в 6 исторических указаниях т. Сталина.

Под знаком реализации этих указаний перестраивается организационная система управления промышленностью страны. В порядке разукрупнения ВСНХ СССР создано три комиссариата—тяжелой, легкой и лесной промышленности, три боевых рычага социалистической стройки. Из объединения ВЭО выделена электропромышленность слабых токов (ВЭСО).

Эти мероприятия должны обеспечить перестройку хозяйственного руководства в новой обстановке. Живое и гибкое руководство требует, чтобы наши хозяйственные руководители руководили предприятиями не „вообще“, не „с воздуха“, а конкретно, предметно, чтобы они подходили к каждому вопросу не с точки зрения общей болтовни, а строго деловым образом, чтобы они не ограничива-

лись бумажной отпиской или общими фразами и лозунгами, а входили в технику дела, вникали в „мелочи“, ибо из „мелочей“ строятся теперь великие дела» (Сталин).

При наличии крупнейших успехов мы имеем целый ряд недочетов и прорывов в области электрификации. Уравниловка в зарплате и обезличка в работе не ликвидированы полностью в электропромышленности и электростроительстве. Хозрасчет и технический промфинплан не внедрены со всей последовательностью в наши предприятия и стройки. Электропромышленность по ряду отраслей не довыполнила своих заданий, и ее развитие все еще отстает от бурных темпов роста всего народного хозяйства. Энергомашиностроение (турбин, котлов и т. п.) еще не добилося полного освобождения от иностранной зависимости и от импорта. Ввод новых мощностей электростанций сильно запаздывает против установленных сроков. Производство электрической энергии отстает от плановых заданий: вместо намеченных 12,7 млрд. кВт в 1931 г. выработано 1,1 млрд. Мы имеем в электрохозяйстве значительные потери на реактивную мощность. $\cos \varphi$ в среднем по Союзу равен 0,6 вместо 0,8, что свидетельствует о недостаточном уровне рационализации наших электроустановок. Проектирование энергостроительства еще не перестроилось в соответствии с новой обстановкой. Стандартизация основных объектов строительства еще не внедрена в практику проектирования.

Наконец, мы имеем ряд серьезнейших прорывов в области эксплуатации некоторых крупных электростанций. Прорывы на НИГРЭС обнаружили со всей отчетливостью совершенную недостаточность подготовки топливных баз для наших районных электроцентралей, работающих на местном топливе, безобразно плохую систему торфозаготовок и огромные недочеты особенно в части водоснабжения.

Развернутая большевистская самокритика и борьба с правым и „левым“ оппортунизмом должны явиться мощным орудием ликвидации прорывов, отставания и недочетов по всему фронту электрификации.

Решительной перестройки мы должны добиться во всей научно-исследовательской и теоретической работе.

Указания т. Кагановича в его речи на торжественном заседании, посвященном десятилетию институтов красной профессуры, являются важнейшей директивой в этом направлении.

«Партия требует конкретного подхода, ясной целеустремленности в теоретической работе. Проводя борьбу с разрывом между практикой и теорией, борьбу на два фронта—с делчеством, узким практицизмом, с одной стороны, со схоластикой, формализмом—с другой, партия требует от теоретических кадров углубленного изучения марксистско-ленинской теории и тактики и теснейшей увязки практики с теорией, увязки теоретической учебы со всем опытом и задачами социалистического строительства».

Нужно проявлять большевистскую партийную воинственность при разрешении

всех проблем техники. Сокрушительные удары должны быть направлены в первую очередь направо, в сторону тех, кто недооценивает возможностей технической реконструкции социалистического хозяйства. Вместе с тем необходимо ударить по „левым“ загибщикам, смазывающим задачи быстрого освоения действительно передовых достижений капиталистической техники и по-троцкистски предлагающим некритически перепрыгивать через отдельные ступени в области техники.¹

Недавно организованный по постановлению ЦК ВКП(б) Институт техники и технической политики призван руководить непосредственной борьбой за марксистско-ленинскую методологию на теоретическом фронте в области техники. При активном участии института и его секции электрификации в течение второй половины 1931 г. шла перестройка журнала „Электричество“ в боевой научно-технический орган социалистической электрификации под руководством новой редакции. Задачи этой перестройки полностью далеко еще не разрешены, но ярким показателем верности взятого курса являются злобные выпады наших врагов за рубежом. Благополучно скончавшийся белогвардейский „Руль“ высказывал резкое недовольство перестройкой „Электричества“. Эта газетка метала гром и молнии по случаю того, что „секция технической реконструкции и электрификации прибрала к своим рукам специальные издательства в целях обеспечения нужной политической направленности и разработки всех очередных проблем под углом зрения генеральной линии партии“. „Руль“, проливая крокодиловы слезы над „погибающими научно-техническими журналами“!

В ряде своих выступлений (в „Правде“, на I Всесоюзной конференции по высокому напряжению, на специально организованных совещаниях в Комакадемии, в самом журнале и т. д.) новая редакция являлась одним из инициаторов большевистской перестройки фронта научно-технической периодики и достаточно четко характеризовала все крупнейшие недочеты прежнего руководства журнала: его вредительское окружение, аполитичность, шедшую на-руку вредителям, прямой оппортунизм в ряде вопросов и т. д.

Мы напомним читателям „Электричества“, как прежде руководство журналом пыталось замазать в свое время острое политическое неблагополучие в электро-технической периодической литературе. В передовой № 21 „Электричества“ за 1930 г. в связи с процессом промпартии и разоблачением вредительства Горева, Кужель-Кравевского, Осадчего, Фридмана и других бывших редакторов и авторов „Электричества“, редакция успокаивала читательскую массу, доказывая невозможность проникновения вредительского влияния в журнал, ибо „редакция журналов, издаваемых ВЭО, руководствовались существовавшей общей установкой советской политики в соответствующих государственных учреждениях,

¹ В одном из ближайших номеров „Электричества“ будет помещена статья, в развернутом виде рисующая наши задачи на теоретическом фронте в области электрификации.

а также научным способом изложения". Далее прямо говорилось что редакция „констатирует политическое благополучие в отношении печатания на протяжении ряда лет (в особенности в журнале „Электричество“) в электротехнических журналах статей и информационных сообщений“.

Таким образом неприкрытый правый оппортунизм и гнилой либерализм по отношению к вскрытию вредительского влияния на работу журнала преподносился в качестве установок руководящей передовой статьи.

Нашей задачей должно стать разоблачение всех видов гнилого либерализма, правого оппортунизма и вылазок троцкистских контрабандистов на научно-техническом и теоретическом фронте электрификации. Письмо т. Сталина „О некоторых вопросах истории большевизма“ мобилизует бдительность всей партии и рабочего класса в борьбе за чистоту марксистско-ленинской теории на всех участках социалистического строительства. Под этим углом зрения должна быть тщательно просмотрена работа всех наших научно-исследовательских учреждений, технических журналов и издательств.

Годовщина речи т. Сталина об овладении техникой проходит под знаком растущего под'ема массовой технической пропаганды. Центральный орган партии—„Правда“, и первая большевистская техническая газета „Техника“ ставят основные проблемы электрификации. Трехмиллионная армия ленинского комсомола несет на своих знаменах лозунги электрификации и практически осваивает ее задачи. „Комсомольская правда“ посвящает целые страницы борьбе за улучшение соц ф и других показателей электрохозяйства, доводя их до сознания широких масс трудящейся молодежи. Такова насыщенная творческими возможностями окруженная вниманием рабочей общественности, обстановка для интенсивной работы советских специалистов, для под'ема среди них подлинного трудового героизма и социалистического соревнования, для мобилизации на преодоление всех трудностей и овладение техникой в области электрификации.

Выше темпы и качество социалистической электрификации!

Пламенный привет XVII Всесоюзной конференции ВКП(б)!

Годовщина речи т. Сталина об овладении техникой

на первой Всесоюзной конференции работников социалистической промышленности

(4 февраля 1931 г.—4 февраля 1932 г.)

„Максимум в десять лет мы должны пробежать то расстояние, на которое мы отстали от передовых стран капитализма. Для этого есть у нас все „объективные“ возможности. Нехватает только умения использовать по-настоящему эти возможности. А это зависит от нас! Пора нам научиться использовать эти возможности. Пора покончить с гнилой установкой невмешательства в производство. Пора усвоить другую, новую соответствующую нынешнему периоду, установку: вмешиваться во все. Если ты директор завода,—вмешивайся во все дела, вникай во все, не упускай ничего, учись и еще раз учись. Большевики должны овладеть техникой. Техника в период реконструкции решает все. И хозяйственник, не желающий изучать технику, не желающий овладеть техникой,—это анекдот, а не хозяйственник.

Говорят, что трудно овладеть техникой. Неверно! Нет таких крепостей, которых большевики не могли бы взять. Мы решили ряд труднейших задач. Мы свергли капитализм. Мы взяли власть. Мы построили крупнейшую социалистическую индустрию. Мы повернули середняка на путь социализма. Самое важное с точки зрения строительства мы уже сделали. Нам осталось немного: изучить технику, овладеть наукой. И когда мы сделаем это, у нас пойдут такие темпы, о которых



сейчас мы не смеем и мечтать. И мы это сделаем, если захотим этого по-настоящему!“.

СТАЛИН

МАТЕРИАЛЫ К ГЕНПЛАНУ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

О схеме электрификации железных дорог СССР на вторую пятилетку¹

Докладчик тов. Тверской. Мы считаем необходимым доложить Оргкомитету о тех материалах, которые в настоящее время имеются по электрификации железных дорог на второе пятилетие. Необходимо утверждение этих материалов или принятие их за основу дальнейшей работы по электрификации.

Какие были трудности при определении тех магистралей, которые подлежат электрификации? Во-первых нет более или менее ясной картины грузовых потоков. Это основная причина. На данной стадии проработки плана второй пятилетки сейчас очень трудно указать точную цифру в отношении грузовых потоков по основным магистралям для второго пятилетия. Мы в свое время прорабатывали грузовые потоки в рамках УКК и в некоторых других направлениях, но эта проработка базировалась на предварительных показателях и соображениях, которые сейчас в основу второй пятилетки не кладутся. Поэтому, когда мы подходим к общей сети электрификационных железных дорог, мы учитываем те важнейшие линии, на которых грузооборот, несомненно, будет возрастать весьма сильно. Кроме того, мы учитывали следующую промышленную базу второго пятилетия: завод „Динамо“ и один новый мощный электровозостроительный завод. Исходя из этого, мы считали возможным запроектировать схему электрификации железных дорог на второе пятилетие. Общий план у нас определялся, примерно, в 29,5 км, включая пригородное движение.

При определении схемы электрификации железных дорог, мы исходили из следующего. Одно время выявлялся взгляд, что электрификация транспорта должна проводиться, главным образом, во внутрирайонном масштабе, включая небольшие горные участки. Ряд товарищей доказывал, что электрификация во внутрирайонном масштабе есть решение будущих транспортных проблем. Мы считаем, что ограничивать электрификацию транспорта только внутрирайонной сетью, не захватывая основных магистралей, было бы неправильно. Наша установка была такова, чтобы перенести центр тяжести электрификации на основные магистрали линии. При решении вопроса, какие дороги надо электрифицировать, мы исходили из необходимости максимально обеспечить электрификацией железные дороги угольно-металлургической базы—Донбасс Кривой Рог, УКК, а также обеспечить вывоз нефти из нефтепроизводящих районов. В основу нашего плана и были положены эти три фактора. Мы обеспечиваем электрификацией внутридонбассовскую сеть, выход Донбасса к Москве и Ленинграду, затем мы обеспечиваем электрификацию УКК и выход из него к нашим центральным промышленным районам. Если говорить об этих линиях конкретно, то надо обратиться к прилагаемой схеме. Если мы начнем с УКК, то сеть Кузбасса придется дотянуть до Красноярска.

Такое положение мотивируется тем, что немного дальше, на востоке, строится Агинская линия, которая на запад даст большие потоки леса. Тут очень тяжелый профиль и большие трудности для паровой тяги. Поэтому конечным пунктом на востоке был взят Красноярск. Таким образом электрифицируется кузбассовская сеть, затем Урал, от Кургана электрификация ответвляется на Свердловск и от Свердловска—через Нижний на Москву. В плане второй пятилетки тут как раз и намечается новое железнодорожное строительство. Мы считали, что главная магистраль, связывающая Урал с Москвой, должна идти через Нижний Новгород.

В плане также зафиксирована Южно-сибирская магистраль, которую необходимо полностью электрифицировать, чтобы обеспечить выход карагандинских углей через Акмолинск на Каргалы-Магнитную. Из Сибири намечаются в основном два выхода: один—на Москву и другой—на электрифицированную сеть европейской части Союза в Орле. Причем на этих двух сибирских магистралях предполагается сделать взаимные переходы. Здесь у нас есть, с одной стороны, переход через Акмолинск на Каргалы-Магнитная-Уфа-Казань, с другой стороны, предполагается необходимым сделать выход в обратном направлении, именно на Курган.

В отношении европейской части Союза проектируется следующее.

Кривой Рог необходимо соединить с Донбассом, дать выход из Донбасса на Москву, электрифицируя Курскую линию, довольно сильно загруженную. Курскую линию мы заканчиваем Запорожьем, в Александровске. Был проект, электрифицировать всю Курскую магистраль вплоть до Севастополя, но по целому ряду соображений мы на второе пятилетие решили от этого временно отказаться и ограничиться исключительно Кривым Рогом, соединив его с Донбассом и дав выход на Волгу.

Наряду с этой магистралью у нас также идет другая магистраль из Москвы через Рязань, по юго-восточному направлению на Ростов. От Ростова мы направляем электрифицированную линию в Запавказье. Тут намечается перевальная дорога в Тифлис, которая должна значительно сократить пробег в район Тифлиса и выход к портам. Из Сибири по Южно-сибирской магистрали намечен прямой выход в Мариупольский порт. С другой стороны, нашей задачей было соединить электрифицированные линии и Мурманский порт. Ленинград с Черным морем. Было предусмотрено электрифицировать и Московское кольцо.

Если посмотреть на указанную схему, то видно, что здесь дана идея электрифицировать важнейшие магистрали, которые составляют 29 тыс. км. Эти важнейшие магистральные линии берут на себя значительно более высокие грузовые потоки, чем любые магистрали, которые не охвачены планом электрификации.

Наша программа базируется на той производственной основе, о которой было сказано выше, т. е. на базе завода „Динамо“, который построен в 1931 г., и на базе электровозостроительного завода. Если речь будет идти о том, чтобы плану электрификации все же придать больший размах, то тогда, конечно, придется строить третий электровозный завод.

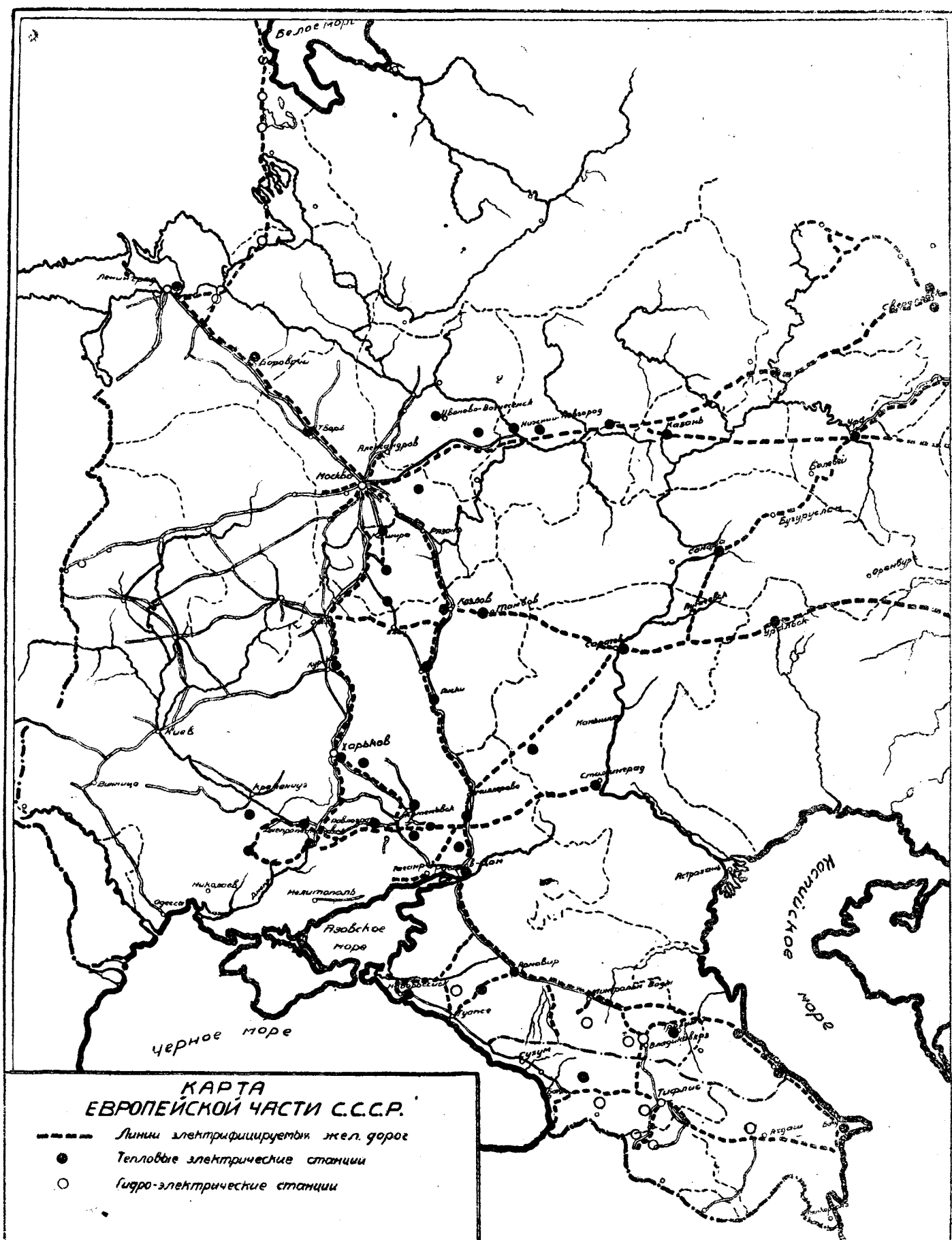
Теперь желательно было бы ответить на следующий вопрос. В решениях июньского Пленума ЦК ВКП (б) говорится, что электрификация является ведущим звеном реконструкции транспорта. Некоторые товарищи говорят, что если мы будем иметь 110—115 тыс. км сети, то 30 тыс. км электрификации составляет около 26% всей сети, что противоречит решению июньского Пленума ЦК.

Несмотря на это, мы утверждаем, что при нашем решении электрификация действительно является ведущим звеном. Мы выполняем решение июньского Пленума потому, что охватываем основные магистрали, на которых будут иметься самые сильные, самые большие грузовые потоки. Если размер этих электрифицированных линий по длине доходит приблизительно до 26% (сейчас трудно сказать об удельном весе электрифицированных линий, поскольку еще окончательно не решен вопрос относительно цифры общей протяженности сети), то грузопоток будет на этих линиях более высокий, удельный вес их будет около 40%. Этим самым и подтверждается роль электрификации как ведущего звена, так мы охватываем наиболее важные магистрали и соответственно важнейшие народнохозяйственные районы и центры производства. В основном мы охватываем угольно-металлургические центры и нефтепроизводящие районы. Не совсем правильно было бы принимать роль ведущего звена электрификации чисто механически, т. е. обязательно должно быть больше 50% электрифицированных линий и т. д.

С другой стороны, мы знаем, что в это пятилетие работы по электрификации не заканчиваются, что работы будут и в следующем пятилетии. 29,5 км—это даже несколько высокая цифра. Приблизительная цифра электрифицированных дорог во всех капиталистических странах составляет от 15 до 20 тыс. км.

Следовательно, если мы на второе пятилетие проектируем 29,5 тыс. км электрифицированных дорог, и если эта цифра будет утверждена высшими органами это значит, что мы намечаем в два раза больше той сети, которая существует в настоящее время во всех капиталистических странах мира. Отсюда видно, какие темпы электрификации намечаются на второе пятилетие и какие в связи с этим большие задачи стоят перед нашей электротехнической промышленностью.

¹ Доклад секции электрификации транспорта на заседании Оргкомитета по составлению генплана электрификации СССР.



В нашей схеме не указано пригородное пассажирское движение, которое будет в районе Москвы, Ленинграда, Харькова и Свердловска. Электрификация пригородных дорог также входит в общую нашу цифру.

Когда мы прорабатывали этот план, у нас были некоторые разногласия, которые все же были преодолены в процессе

разработки. Имелись некоторые разногласия с представителями НКПС, хотя товарищи, которые принимали участие в нашей работе, просили считать, что они не отражают мнение НКПС, что это их личное мнение, мнение работников по электрификации. В результате они присоединились к предлагаемому нами списку электрифицируемых линий. Конечно, на этом работа

не может быть закончена. Необходима исходная база для дальнейшей работы. Нужно договориться, о каких линиях будет идти речь в плане второго пятилетия, какие линии необходимо будет электрифицировать.

Дальнейшая работа по линии электрификации транспорта мыслится нами следующим образом. Необходимо наш план электрификации сети связать с электрическими станциями, с линиями передач и т. д. С этой целью должна быть налажена связь с сектором энергетики по части снабжения электроэнергией, что обеспечивало бы во втором пятилетии всю электрифицируемую сеть. Но, к сожалению, более или менее подробного расчета мощности для старых станций и т. п. нет.

Для второго пятилетия потребность в электростанциях приблизительно определяется в 3, 5 тыс. Это есть то количество, которое может дать завод „Динамо“ и новый электровозостроительный завод.

Кроме того, необходимо установить очередность, т. е. наметить первую и вторую очередь для того, чтобы иметь твердый базис электрификации транспорта, и наряду с очередностью установить срок пуска тех или других линий. Сроки пуска зависят от темпов нарастания грузовых потоков. Когда мы будем иметь ясную картину о грузовых потоках на второе пятилетие и когда мы уточним темпы роста грузооборота, тогда можно будет составить план электрификации по годам. Для того чтобы электрификация той или иной сети, дала бы максимальную эффективность, необходимо внести некоторые реконструктивные мероприятия. Здесь встает вопрос о внедрении автоблокировки. Когда мы прорабатывали план УКК, то было такое положение, что на всех электрифицированных линиях нужно дать автоблокировку, провести реконструкцию пути и внедрить целый ряд других реконструктивных мероприятий.

Содокладчик т. Широкогоров (Госплан).

Ориентировочная оценка возможности осуществить тот план электрификации, который был указан тов. Тверским, показывает, что это вполне достижимо.

Однако при дальнейшей проработке мы должны увязать сроки сооружения отдельных железных дорог и ввода отдельных линий в эксплуатацию на электрической тяге и наоборот. Сейчас, не останавливаясь на сроках, мы постараемся охарактеризовать ту энергетическую базу, на которой будет основано электроснабжение отдельных электрифицируемых железных дорог.

Начнем с северного участка, с линии Ленинград-Мурманск. Здесь электроснабжение будет базироваться в северной части от Кандалякша до Мурманска, от станции Нива и на гидростанции Тулома, которую мы сооружаем на самом севере. Так как последняя гидростанция не будет построена к намеченному сроку, поэтому в Мурманске придется расширить тепловую станцию, которая временно обеспечила бы этот участок, вводимый в эксплуатацию, на электрифицированной тяге в первую очередь. Что касается второй части от Кандалякша до Ленинграда, то здесь мы будем базировать нашу линию на станциях Ковда, Кемь, Сегета, Кондокога, Свирь 2-я и 3-я и Ленинград. Таким образом среднее расстояние между точками питания составит около 155 км. Повидимому, простой 110-kV линией можно обеспечить питание этой магистрали.

Следующий участок — Ленинград-Москва-Харьков-Киев. Эта линия базируется, с одной стороны, на электрических станциях ленинградского Электроток и Малой Вишере, с другой — на Тври и МОГЭС.

Далее мы имеем Каширскую станцию, Бобрики и, наконец, Курскую станцию. Следующая точка — Харьков и, наконец, Днепр. Повидимому, на участке Ленинград-Москва можно было бы обойтись питанием простой 110-kV линией, но поскольку эта линия магистральная, очевидно, будет целесообразнее иметь линию в 220 kV с продолжением к югу до Александровска.

Следующий участок Кривой Рог-Сталинград. Здесь мы имеем, с одной стороны, Днепр, как основную станцию. Все Заднепровское кольцо должно быть подперто сверху Александровской электростанцией, скрученной с рядом станций, расположенных по Днепру. Следующими опорными центрами являются станции Гришино и Донбассок. С другой стороны, мы имеем линию Лихая-Сталинград, которая, повидимому, должна иметь своей базой Краснодонецкую станцию и Сталинград. Таким образом вместе со станциями, входящими в сеть Донбассока, мы обеспечиваем и эту магистраль.

Затем следует линия — Харьков-Донбасс-Ростов и все полукольцо, проходящее по Северному Кавказу и Закавказью. Здесь мы базируемся на Харьковской станции Эсхар и на мощных станциях Донбасса, а также на Ростовской станции, которая будет, с одной стороны, подпирать эту магистраль к югу, а с другой — служить основной базой для линии Ростов-Мариуполь. Затем на Северном Кавказе станции Армавир,

Грозненская и ряд других станций, которые скручены с Грозненской и Свляк. Возможно, что возникнет вопрос о Самуре, хотя последний требует с точки зрения энергоснабжения электрических дорог проработки. Так как особый необходимости в этой станции для железных дорог не будет, то следующей опорной централью является Бакинская сеть и одна из новых мощных гидростанций (вероятнее всего Мингакурская). Далее Закавказская электростанция, РИОН и, наконец, станция Тквибульская или в другом месте, на местном топливе Закавказья.

Для обеспечения электрификации перевальной дорогой необходимо создать энергетическую базу на Северном Кавказе в виде комбината Ардон-Терек. Повидимому этот вариант наиболее с точки зрения энергоснабжения рационален.

Следующие линии — Новороссийск-Тихорецкая, Краснодар-Туапсе и Туапсе-Армавир. Они должны базироваться на электрических станциях Новороссийск-Краснодар-Майкоп. Выдвигается также станция на р. Белой. Довольно сложный вопрос с электроснабжением линии Москва-Воронеж-Ростов и затем новостройки от Таганрога или от Должанской до Саратова. Для энергоснабжения магистрали Должанская-Саратов придется обеспечить сооружение специальной станции, которая подперет линию в центре. В Саратове мы будем иметь мощную станцию и, с другой стороны, линия будет обеспечена донбассовским током, а также мощной станцией, сооруженной в восточной части Донбасса. Середина же требует подпора.

Здесь является целесообразным сооружение станции в районе Усть-Медведицы с тем, чтобы эта станция питалась привозным топливом из Донбасса, на первое время подаваемым разными путями, а потом по линии электрифицированной магистрали. Для энергоснабжения линии Москва-Ростов (до Донбасса) является целесообразным сооружение в средней части Ликсинской станции. Кроме того мы будем иметь Ворожскую станцию, Липецкую и, наконец, Бобрики.

Во всяком случае, линии передачи, которые будут проходить вдоль этой железнодорожной магистрали, обеспечивают энергоснабжение вполне удовлетворительно.

Теперь перейдем к широтным линиям. Прежде всего, Москва-Нижний-Шемордан-Свердловск. Говорить относительно степени обеспеченности линии Москва-Нижний не приходится. Этот район уже в настоящее время имеет в высшей степени благоприятные объективные условия для электрификации. Что касается участка от Нижнего и дальше, то здесь мы имеем, с одной стороны, НИГРЭС, затем Марийскую гидростанцию, которая уже входит в план строительства 1932 г., далее Саранул и, наконец, Свердловск. Расстояние между опорными точками получается достаточно большое. Поэтому вопрос о величине напряжения передачи по магистралям должен быть разрешен особо.

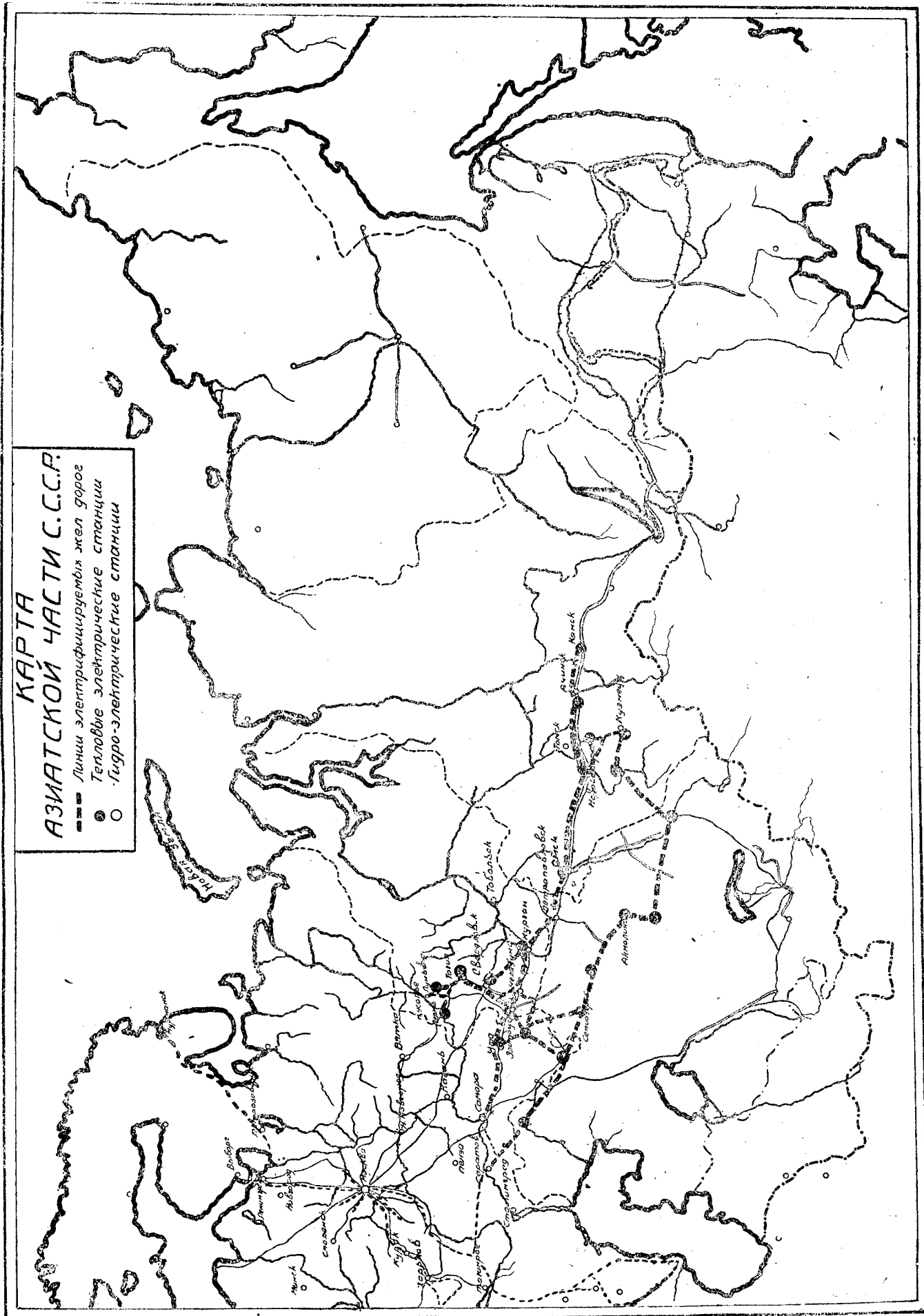
Далее, участок — Орел-Козлов-Саратов. Здесь не предполагается строить специальной станции. Повидимому, это возможно, так как с одной стороны Орел будет подпираться с юга Курской станцией, а с другой стороны — Бобриками. Козлов будет иметь Липецкую базу, а также линию передачи Липецк-Бобрики.

Что касается участка линии Козлов-Саратов, то повидимому, это расстояние будет перекрыто путем сооружения мощной электропередачи. Затем Саратов-Уральск-Халилов. Что касается Саратовской станции, то она будет развита еще больше. Следующая станция, которая должна быть выдвинута в связи с электрификацией этого участка — это станция в Уральске, которая может иметь свою энергетическую базу в сланцах, находящихся в Общем Сырте.

Выходом со сланцами на Уральск мы получаем достаточно серьезную базу для электрификации этой линии. Следующая станция — в районе Халилова. Здесь, очевидно, также неизбежна мощная передача порядка 220 kV. Двигаясь по этому направлению из Хомикова, мы можем иметь электростанцию на Ишиме, затем Акмолинск и далее непосредственно Караганда-Семипалатинск-Барнаул. Сосредоточить здесь точки расположения станций, повидимому, будет довольно трудно, но во всяком случае расстояния получаются не такими, чтобы с помощью магистральной 220-kV линии мы могли полностью обеспечить энергией этот участок.

Далее следует главная магистраль УКК, которая уже прорабатывалась в виде проекта. Здесь электроснабжение предполагалось сосредоточить, с одной стороны, на Челябинской станции и Свердловской, затем, путем сооружения Курганской или Петропавловской станций, Омской-Новосибирской, а далее Кузбасс. Электроснабжение этой линии мыслится при наличии сооружения распределительной 110-kV линии и 220 kV линии передачи, являющейся магистральной.

Отрезок от Новосибирска до Красноярска должен будет иметь базой, с одной стороны, Красноярскую станцию, которая в первое время может снабжаться топливом из района Канска,



затем Марининскую станцию, топливо которой может быть подано из Минусинского района, и Кемеровскую станцию, которая уже сооружается. Таким образом этот отрезок имеет возможность получить достаточно большую энергетическую базу.

Далее у нас остаются такие скрещивающиеся направления. В первую очередь, линия от Иркутска до Владивостока. Она, по идее, должна быть имела базу, с одной стороны, Ершов, подпертый двумя станциями: Усть-Илимской и Слюдянской. Мош

ную Самарскую станцию мы можем получить на базе тех же сланцев, которые имеются в районе Общего Сырта. Здесь встает лишь вопрос о сооружении, в связи с развитием Самарской и Уральской станций, линий железной дороги от Самары до Урала через Общий Сырт.

Следующая станция—Уфимская, которая, как известно, намечается в связи с тем, что Уфа будет крупнейшим промышленным центром. Вопрос об электроснабжении линии Уфа-Челябинск и Уфа-Магнитная не приходится затрагивать, поскольку мы будем иметь станции на Магнитной, в Уфе и Челябинске. Что касается северного участка Уральской сети—Соликамск-Кизел-Чусовская-Нижний Тагиль-Свердловск, то здесь мы будем иметь базой Кизеловские станции, станцию на Нижнем Тагиле и затем Свердловскую. Возможно, что будет стоять вопрос о создании станции на самом Нижне-Тагильском заводе или в новой Салде. Таким образом все эти линии в смысле питания электроэнергией целиком оказываются надежными.

Если суммировать все станции, на которых мы можем создать энергоснабжение сети, то получается, что нами используется около 60—70 электрических станций, из коих около 30 уже существует. Примерно 20—25 из них составляют титула, проектируемые и намечаемые к сооружению в значи-

тельной части вне зависимости от электрификации железных дорог, и только 8 титулов может быть выдвинуто вновь. В числе этих новых 8 титулов имеется Ростовская станция. Правда, там намечается теплоэлектроцентр, но нам нужна мощная станция. Затем станция Лиски, Усть-Медведицкая, Уральская, Красноярская, Ишимская и Курганская или Петропавловская. Вдоль этих линий, которые намечены к электрификации, должны будут идти распределительные 100-kV линии передач, и кроме того, часть магистральных линий должна иметь передачу порядка 220 kV. Сейчас трудно установить величину напряжения, которая является функцией передаваемой мощности и расстояния, но уже сейчас ясно, что некоторые линии выкристаллизовываются как магистральные.

Такие линии как Москва-Нижний-Свердловск, затем линии УСК должны иметь передачу порядка 220 тыс. kW. Сюда же относится Южно-сибирская магистраль, которая также должна иметь передачу порядка 220 тыс. kW. По остальным объектам нам придется уточнить цифры в связи с проектировкой грузовых потоков, с учетом передаваемых мощностей, с проектировкой электрификации районов, по которым проходят электрифицированные магистрали, так как последние, очевидно, должны будут принять на себя питание и районных потребителей.

Резолюция Оргкомитета о схеме электрификации железных дорог

1. Титульный список электрифицируемых железных дорог, разработанный Секцией электрификации транспорта Оргкомитета и НКПС, как ориентировочный принять за основу.

2. Просить коллегию НКПС рассмотреть указанную схему электрификации железных дорог и сообщить Оргкомитету по электрификации вариант НКПС.

3. Предложить Оргкомитетам республик и местным комиссиям по плану электрификации СССР разработать и представить в Транспортную секцию титульные списки электрифицируемых линий в пределах, намеченных без титульных фондов, с указанием сроков ввода в эксплуатацию, и дать заключение по титульному списку.

4. Поручить секции электрификации транспорта Оргкомитета совместно с НКПС разработать календарный план работ по титульному списку в декадный срок.

5. Просить сектор транспорта Госплана СССР представить Оргкомитету по электрификации данные о предполагаемом грузообороте на 1937 г.

6. Поручить НКПС произвести расчет потребности в электровозах, стационарном оборудовании, установленной мощности, а также электроэнергии применительно к титульному списку с разбивкой по годам.

7. Предложить ВСНХ СССР совместно с НКПС представить план покрытия потребности в оборудовании и подвижном составе для электрификации железных дорог, согласно титульному списку, выделив необходимое импортное оборудование.

8. Предложить ВСНХ СССР по линии Энергоцентра проработать план строительства станций и электропередач, обеспечивающие снабжение указанных в титульном списке линий электроэнергией.

9. Предложить НКПС совместно с ВСНХ СССР представить ориентировочный расчет капиталовложений в железные дороги и промышленности для осуществления намечаемого согласно титульному списку плана электрификации железных дорог.

10. Поручить секции электрификации районов при рассмотрении плана электрификации республик и областей учесть схему электрификации железных дорог.

Генеральный план электрификации Северного края¹

Территория и население

Северный край занимает северо-восточный угол европейской части СССР. Общая площадь края составляет 1 230 тыс. км², а без островов—около 1 млн. км². Население края по переписи 1926 г. составляло 2 376 тыс. чел., или 2,1 чел. на 1 км², в среднем 2,4 чел. по материковой части края.

Современное территориальное расселение сложилось под влиянием колонизации края в прошлом, которая шла вдоль речных систем, по берегам которых и сосредоточены почти все населенные пункты.

По отдельным частям территории население распределяется весьма неравномерно. При относительной густоте заселения юго-западных районов края, северные и восточные районы заселены крайне слабо. Плотность населения на 1 км² в бассейне р. Северной Двины—5,7 чел., в бассейне р. Онега—3,3 чел., в бассейне р. Мезени—0,6 чел., в бассейне р. Печоры и по берегам Белого моря и Северного Ледовитого океана—0,2 чел. и на островах—0,04 чел.

В пределах Северодвинского бассейна по наибольшей густоте населения выделяется юго-западная часть по течению рр. Сухоны, Кубины и Малой Двины, где на 1/10 часть территории края сконцентрировано 60% его населения, с плотностью 10—11 чел. на 1 км². В восточной половине по бассейнам рр. Мезени и Печоры, территория которых составляет 40% территории края, живет всего 4% его населения.

Лесные ресурсы

Общая лесная площадь края составляет 78,8 млн. га, из которых 56,3 млн. лесопокрытой. По своей площади леса Северного края равняются лесам Финляндии, Швеции и Норвегии, вместе взятым (56 млн. га).

Крупнотоварные насаждения составляют 59,5%, мелкотоварные—40,5%. Господство сосны в крупнотоварных насаждениях составляет 39%, ели—50,4%, лиственных пород—10,6%. В мелкотоварных насаждениях господствует ель—68,5%.

Наименование районов	П л о щ а д ь	
	В тыс. га	В % к итогу
Экспортная зона		
Северо-двинский бассейн	21 650	41,0
Онежский бассейн	2 143	4,5
Мезенский бассейн	10 080	18,7
Печорский бассейн	14 580	27,6
Всего по тяготению к северным портам . .	48 453	91,8
Ленинградская зона	199	0,3
Итого . . .	48 652	92,1
Железнодорожный район	1 960	3,7
Волжская зона	2 223	4,2
Всего . . .	52 835	100,0

Удельный вес спелых и перестойных лесов в крупнотоварных насаждениях—45%, в мелкотоварных—95,6%.

При принятом в плане использования лесов, построенном на принципе постепенного перехода к сплошным рубкам во

¹ Конспект доклада Л. Рослова (Северный крайплан) в секции районов Оргкомитета по электрификации железных дорог СССР.

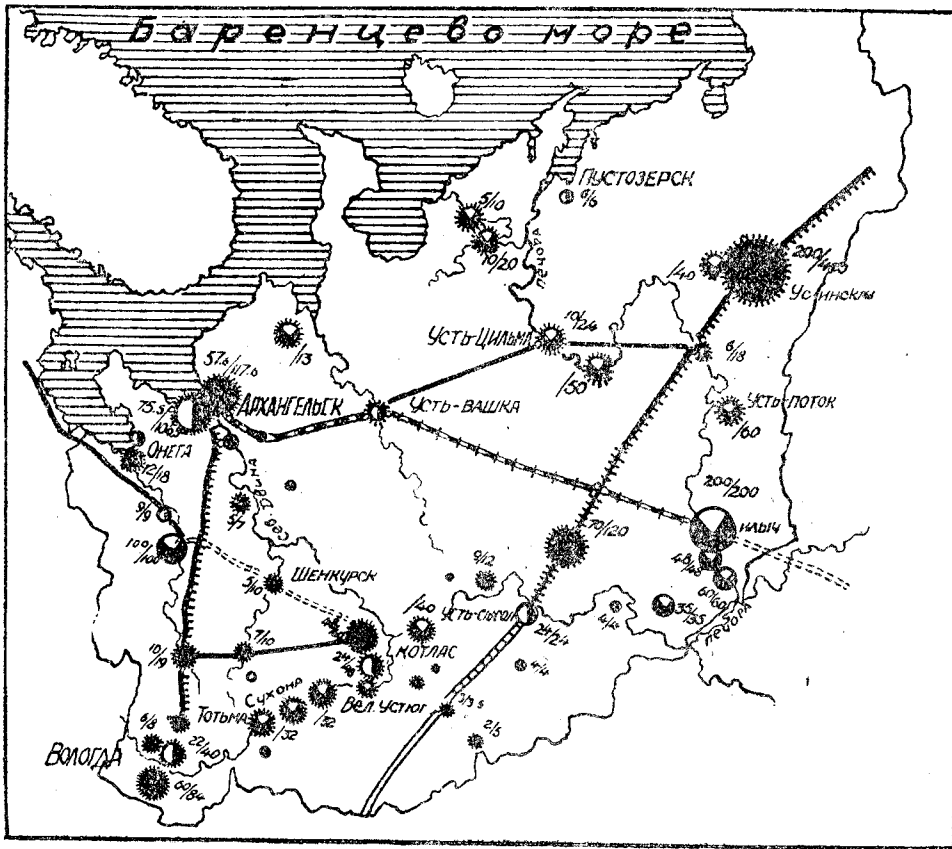
всех районах, с учетом обеспечения непрерывного снабжения крупных лесопильных заводов и целлюлозно-бумажных комбинатов в течение их амортизационного срока на ближайший период времени (15 лет) размер ежегодно возможного отпуска выражается в 58 490 тыс. м³ в том числе 28 470 тыс. м³ крупной и средней и 45 845 тыс. м³ всего делового.

Вне учета остаются необследованные лесные площади в количестве примерно 5 млн. га по Мезенскому бассейну и 10 млн. га по Печорскому.

Медные, серебряно-свинцовые, свинцово-цинковые руды, серный колчедан и ряд других полезных ископаемых обнаружены также на островах Новая Земля и Вайгаче.

Сельскохозяйственные и промысловые ресурсы

Климатические, метеорологические и почвенные условия мало благоприятствуют широкому развитию полеводства. Только южные районы края позволяют более широкое его



ЖЕЛ.-ДОРОЖНОСТРОЙКА		ЭЛЕКТРИФИЦИРОВ. ЖЕЛ. ДОР.	
СРОК ОКОНЧ. 1933 г.	=====	СРОК ОКОНЧ. 34 г.	=====
" 34 г.	=====	" 37 г.	=====
" 35 г.	=====	ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ в тыс. кВт. УСТАНОВЛ. МОЩНОСТИ	
" 36 г.	=====	Тепло-электроцентрали	1937 г. ●●●●●
" 39 г.	=====	Гидростанции	1940 г. ●●●●●
ЗАПРОЕКТИРОВАН. =====		Конденсационные станции	1937 г. ●●●●●
			1940 г. ●●●●●

Геологические ресурсы

Несмотря на слабую обследованность края в геологическом отношении, уже вполне рельефно определяется богатая минеральная сырьевая база, создавая предпосылки для горной, металлургической и химической промышленности.

Колоссальные запасы высококачественного гипса (до полу-миллиарда тонн), известняки, кварцевые пески, поваренная соль, иод, целестин сосредоточены по преимуществу в западной части края, по бассейнам рр. Северной Двины и Онеги.

Бассейн р. Вычегды с Сысолой концентрирует около себя значительные запасы железных руд, серного колчедана, горючих сланцев, калийной и глауберовой соли, точильного камня, красочные глины, фосфориты, а также гипсы, известняки и соляные растворы.

Печорский район наиболее богат полезными ископаемыми. Огромные запасы каменного, коксующегося угля в районе р. Беркуты (до 3 млрд. т), колоссальные запасы бурого угля по притокам р. Усы (свыше 15 млрд. т), нефти в районе р. Ухты (выявлено свыше 150 млн. т) и по среднему течению р. Печоры горючие сланцы, в сочетании с рядом других рудных и нерудных ископаемых района, в особенности западного склона Северного Урала, в числе которых имеются железные, медные, серебряно-свинцовые руды, минеральные краски, гипсы, точильный камень, кровельный сланец, радиоактивные минералы и пр., представляют собой мощную базу для быстрого развития промышленности.

развитие, и представляют собой достаточную базу для дальнейшего развития льноводства.

Основной же отраслью сельского хозяйства в Северном крае является молочное животноводство, развивающееся на базе богатых естественных кормовых ресурсов (луга и пастбища), сосредоточенное в настоящее время в юго-западных районах, а также в Холмогорском и ряде других. Оно имеет широкое будущее и должно получить повсеместное распространение, в особенности в бассейне р. Печоры. По данным проф. Самбука в средней полосе р. Печоры имеется 500 тыс. га неосвоенной еще сенокосной площади, которая может дать 1 250 т сена.

Притундровая полоса края служит базой для оленеводства; лесные районы богаты пушниной и дичью; речные и морские водоемы имеют богатые запасы рыбы (треска с ее спутниками, сельдь, навага, семга) и морского зверя. Рыбные ресурсы Баренцева моря, по данным ГОИН, составляют 5 млн. т.

Энергетические ресурсы

В настоящее время теоретически учтенные источники энергии приводятся в таблице на стр. 80.

К наиболее крупным и сравнительно лучше известным источникам гидроэнергии надо отнести Бирючевские пороги на р. Онеге, позволяющие рассчитывать на мощность в 100 тыс. кВт, р. Сухону (на 121 тыс. кВт), нижнее течение р. Вы-

Источники энергии	В тыс. kW	В млн. kW в год	В млн. т условн. топлива	% к общ. запасам по СССР
Белый уголь . . .	1 238	5 500	—	—
Торф	—	—	10 805	21,0
Каменный уголь . .	—	—	2 900	2,2
Бурые угли	—	—	9 720	—
Нефть	—	—	215	4,3
Дрова	—	—	850	5,1
Отбросы лесозаготовок	—	—	400	} 22,5
Отбросы лесопиления ¹	—	—	250	
Всего	1 238	5 500	25 140	4,7

чегды (на 70 тыс. kW), Верхне-Печорский-Вычегодский район (на 343 тыс. kW) и Печоро-Усинский район (на 70 тыс. kW) и др.

Торфяные ресурсы имеются по всему краю; наиболее выявленные и реально осваиваемые расположены в районах Архангельском (на 200 тыс. kW), Котласском (на 280 тыс. kW), в Сыктывкарском (на 185 тыс. kW), в Вологодско-Сухонском (на 140 тыс. kW) и др. Дрова и древесные отходы получают в тех районах, где происходят лесозаготовки и переработка древесины.

Нефтеносные площади расположены в районе р. Ухты и по среднему течению р. Печоры, бурые и каменные угли сосредоточены по правым и левым притокам р. Усы.

Транспортные связи

Основными путями сообщения в крае являются водные речные и морские пути.

Общее протяжение главных внутренних водных путей 94 253 km, в том числе судоходных—9,632 km, сплавных судами—1,395 km, сплавных плотами—11,974 km, сплавных россыпью—58,577 km, не пригодных к сплаву—18,675 km.

На 1 km² территории речных путей приходится 0,1 km (в том числе судоходных—0,01 km и сплавных—0,07 km).

Речные системы края внутренне замкнуты и не связаны друг с другом. Протекая с юга на север, они обособлены по отношению к внутренним районам страны; в направлении же к северным внешним портам они представляют мощные средства передвижения и грузооборота.

Морской транспорт обслуживается портами: Архангельским, Онежским, Мезенским и Печорским. Все они замерзают. Навигационный период для Архангельского порта—205 дней, для Онежского—212 дней, для Мезенского—185 дней, для Печорского—148 дней.

В бухте Индига предполагается создание нового порта, обслуживающего восточную часть края.

Железнодорожный транспорт в крае не соответствует как размерам его территории, так и задачам развития народного хозяйства.

Общая протяженность железнодорожной сети—1 136 km эксплуатируемых и 369 km строящихся.

На 1 000 km² площади приходится 1,17 km, и на 1 000 чел. населения—0,43 km.

Общее протяжение основных гужевых путей—32,325 km. На 1 000 km²—32,2 km путей и на 1 000 чел. населения—14,5 km.

Автотранспорт обслуживает пока лишь внутригородские нужды.

Аэротранспорт имеет одну линию—Архангельск-Сыктывкар.

Основные линии развития народного хозяйства и производственные комплексы

Богатейшие сырьевые ресурсы вместе с наличными запасами энергии создают необходимые предпосылки для социалистической реконструкции края. Это сочетание, в увязке с соответствующими путями сообщения и при условии сооружения необходимой сети железных дорог и искусственных водных сооружений, обеспечивает самые благоприятные условия для наиболее эффективного использования производительных сил и предопределяет создание целого ряда крупных энерго-производственно-транспортных комплексов в различных районах края.

Основные комплексы ясно вырисовываются уже в настоящее время в ряде районов, образуя узлы: Архангельский,

Котласский Сыктывкарский, Сухано-Вологодский, Онежский, Бирючевский, Емецкий, Усть-Вашский, Усть-Цылемский, Печоро-Усинский, Верхне-Печорский и ряд других, в свою очередь обеспечивая развитие отдельных отраслей народного хозяйства.

Лесная промышленность. Географическое размещение лесов края, их качественный состав и направление транспортных путей древесины определяют преимущественно их экспортное значение, которое сохраняется в основном и на период Генплана.

Являясь валютным цехом Союза, лесная промышленность Северного края должна обеспечить за ним господствующее положение на лесоэкспортном рынке.

Однако при современном состоянии лесной промышленности с ее односторонним развитием лесопиления, мы неизбежно имеем слабое и неравномерное использование лесных богатств края, крайне нерациональные формы ведения лесного хозяйства, огромные потери древесины при ее переработке. В этих условиях она не может дать той эффективности, которая необходима в интересах социалистического строительства и требует коренной реконструкции, основными линиями которой являются:

а) повышение использования лесной сырьевой базы за счет интенсивной рубки высоковозрастных насаждений в частности, вовлечения лесных массивов Кулоя, Мезени и Печоры;

б) вовлечение в эксплуатацию мелкотоварных насаждений путем развития в крае мощной целлюлозно-бумажной промышленности и ряда других производств, работающих на мелкотоварной древесине;

в) повышение рационального использования древесины путем организации производств по механической и химической переработке отходов лесопиления и лесозаготовок;

г) расширение и повышение ценностного состава лесоэкспорта путем включения в экспортный ассортимент новых видов продукции и готовых изделий и облагораживания продукции лесопиления;

д) развитие лесной промышленности в районах, связанных с внутренними районами страны, для снабжения последних продукцией лесной промышленности, не могущей быть в настоящее время эффективно использованной для экспорта;

е) механизация и электрификация процессов лесозаготовок, сплава и первичной обработки древесины.

Лесопиление и деревообработка

Темпы роста лесопильной промышленности и ее размещение в отношении сбыта представляются в следующем виде: (числитель—число рам, знаменатель—продукция в тыс. стандартов):

	1931 г.	1933 г.	1937 г.	1940 г.
Экспортные районы	164/759	199	339	245
Смешанные районы	37/182	59/278	82/658	75/633
Районы внутреннего значения . . .	—	—	31/210	42/331
Всего	201/941	258/1 392	355/2 673	362/2 819

При общем росте производства пиломатериалов за 10 лет почти на 200%, рост в чисто экспортных районах составляет 144,4% (прежде всего за счет восточных районов края). Все же значительное преобладание лесопиления остается за чисто экспортными районами (Архангельск, Онега, Усть-Вашка, Усть-Цыльма), хотя удельный вес их в общекрайевой продукции падает в 1931 г.—80,7%, в 1933 г.—80,0%, в 1938 г.—67,5%, в 1940 г.—65,8%.

За счет роста смешанных районов (Котлас, Сыктывкар и др.) лесная промышленность получает возможность легкого маневрирования путем направления своей продукции на экспорт или на внутренний рынок, в зависимости от мировой конъюнктуры.

Одновременно с количественным ростом производства идет развитие деревообрабатывающей промышленности по пути выработки конечной продукции в облагороженном виде и в форме готовых изделий, повышая эффективное использование сырья и удовлетворяя одновременно задаче повышения конкурентной способности в экспорте и потребностям внутреннего рынка.

Поскольку в настоящее время выпускающих один пиломатериал, как это имело место ранее, почти не остается. Все они обра-

стают вспомогательными цехами и комбинируются с другими деревообрабатывающими предприятиями, качественно повышая лесопильную продукцию (сушка, строжка), перерабатывая ее на готовую продукцию (строительные детали, стандартные части здания) или утилизируя отходы лесопиления (плиты, древесная мука).

Вместе с механической переработкой древесины развивается химическая переработка отходов, дающая максимальные результаты в смысле рационального использования сырья и повышения ценности продукции (крафтцеллюлоза, глюкоза, шпигопопорошков и т. д.).

Удельный вес этих производств по отношению к валовой продукции пиломатериалов в кубатуре составляет (в %):

	1933 г.	1937 г.	1940 г.
Сушка	15,6	51,8	53,7
Облагороженная продукция в том числе:			
а) строжка	6,1	13,1	13,6
б) ящичные комплекты	2,3	6,0	6,0
в) строит. детали	2,4	10,1	10,5
г) стандартные части зданий	1,8	11,4	12,1
д) прочая	0,1	2,2	2,2
Механич. и химич. перераб. отходов	—	2,4	5,1
Всего	12,7	45,2	49,5

Сверх этого, комбинируясь с лесопилением и независимо от него, развертывается ряд специальных деревообрабатывающих производств: деревянное судостроение, мебельные и лыжные фабрики, фабрики обозных деталей, бондарные, фанерные заводы и т. д.

Общая ценность продукции деревообрабатывающей промышленности по ориентировочным подсчетам выражается в следующих цифрах (в млн. руб. по ценам 1926/27 г.):

	1931 г.	1933 г.	1937 г.	1940 г.
Пиломатериалы	96,8	116	125	126
Облагороженн. пиломатериалы	1	30	245	270
Переработка отходов	—	—	10	24
Специальные производства	1,2	5	40	60

Целлюлозно-бумажная промышленность

Быстро растущая потребность страны в продукции бумажной промышленности и задача расширения и повышения цен-

	1931 г.	1933 г.	1937 г.	1940 г.
Бумага в тыс. т	—	65	312	629
Сульфит-целлюлоза в тыс. т	—	25	180	375
Сульфат-целлюлоза в тыс. т	—	—	—	40
Крафтбумага в тыс. т	—	—	30	90
Картон в тыс. т	—	—	—	20
Вискозная целлюлоза в тыс. т	—	12	32	82
Всего в млн. руб.	—	30	156	312
(В том числе переработок на искусств. шелк)	—	—	12	12

ностного состава лесозаготовки при наличии в крае огромных площадей (до 10 млн. га) мелкотоварной еловой древесины, почти исключительно (95,5%) спелых и перестойных, создают предпосылки и диктуют необходимость широкого и быстрого развития целлюлозно-бумажной промышленности. Рост производства намечается.

Лесохимическая промышленность

Эта промышленность базируется на прижизненном использовании древесины (добыча живицы), переработке мелкотоварных насаждений и использовании пня и отходов.

Намечается к постройке ряд заводов канифольно-терпентинных, канифольно-экстракционных, канифольно-мыльных, спирто-порошковых, смолокурных, древесного угля, угольно-брикетных и т. д. Рост промышленности представляется в следующем виде (не считая установок на отходах лесопиления и кустарной кооперации).

Г о д ы	По количеству переработ. сырья в тыс. т ³	По продукции в млн. руб.
1933	57	0,6
1937	1 091	32,9
1940	2 454	60,9

Лесозаготовки. Общий размер лесозаготовок по основным сортаментам выражается (в тыс. т³):

	1933 г.	1937 г.	1940 г.
Пиловой	22 770	29 190	29 270
Прочей деловой	10 330	16 650	19 060
Дровяной	6 200	10 160	12 230
Всего	39 300	56 000	60 760

Роль отдельных бассейнов по их удельному весу в общем размере лесозаготовок изменяется (в процентах):

	1930/31 г.	1933 г.	1937 г.	1940 г.
Северо-Двинский (с Кулаем) без Сухона-Волжск.	47,5	55,7	55,2	51,1
Онежский	4,7	6,4	6	5,4
Мезенский	2,5	3	8,7	8,6
Печорский	1,6	3,1	8,5	10,3
Прочие	43,7	31,8	24,6	24,6
Всего	100	100	100	100

К 1937 г. будет электрифицировано 35,7% лесозаготовок по кубатуре, или 20 млн. т³.

Основная химическая промышленность базируется исключительно на местном сырье и хибинских апатитах, и рассчитана на покрытие внутрикраевых потребностей (целлюлозно-бумажная промышленность, химизация сельского хозяйства и пр.). Проектируются заводы: сернокислотные на 465 тыс. т, глиноземные—на 12 тыс. т, серноуглеродные, суперфосфатные на 700 тыс. т суперфосфата и 300 тыс. т термофосфата и пр. заводы.

Горная промышленность имеет богатейшую сырьевую базу в Печорском районе (западный склон и отроги Северного Урала), где проектируется добыча в 1937 г. 10 млн. т каменного и бурого угля и 1,3 млн. т нефти и в 1940 г. — до 25 млн. т угля и 2 млн. т нефти, с переработкой первого на кокс, а бурого угля и нефти на продукты химической переработки. В том же районе, а также в бассейне р. Вычегды развертывается железнорудная и металлургическая промышленность. Одновременно в крупном масштабе будет производиться добыча других полезных ископаемых: свинца, цинка, меди, гипса, точильного камня, асфальтита, огнеупорных глин и др.

Размер валовой продукции определяется для 1937 г. в 275 млн. руб., а для 1940 г.—773 млн. руб.

Металлообрабатывающая промышленность, обслуживающая лесную промышленность, транспорт, сельское хозяйство и прочие потребности края, возрастает до 44 млн. руб. в 1937 г. и до 50 млн. руб. в 1940 г.

Промышленность строительных материалов развивается в соответствии с потребностями строительства в крае. Широкое развитие получает цементное производство, использующее отходы сернокислотного производства из гипса.

В составе лесной индустрии широкое развитие получает лѐнообрабатывающая промышленность, а также другие отрасли, преимущественно на базе местного сырья.

Общие размеры валовой продукции промышленности возрастают в 1933 г.—272 млн. руб., в 1937 г.—677 млн. руб., в 1940 г.—2 931 млн. руб.

Сельское хозяйство. Общая посевная площадь возрастает с 1126 тыс. га в 1931 г. до 2189 тыс. га в 1937 г. и 3107 тыс. га в 1940 г., в том числе подо льном 67 250 и 350 тыс. га.

Стадо коров увеличивается с 628 тыс. голов в 1931 г. до 1112 тыс. в 1937 г. и 1 608 тыс. в 1940 г.

Товарная продукция сельского хозяйства увеличивается с 42 млн. руб. до 186 млн. руб. в 1937 г. и до 297 млн. руб. в 1940 г.

Число молочных фабрик повышается с 11 до 171, лѐнозаводов с 16 до 50, картофельно-перерабатывающих заводов до 5, мощность тракторного парка с 3,8 тыс. л. с. до 98 тыс. в 1937 г. и до 116 тыс. в 1940 г.

К 1940 г. вся посевная площадь будет охвачена тракторной обработкой. Все производственные процессы (кроме пахоты) в совхозах и пригородных фермах полностью электрифицируются. Также полностью электрифицируются крупные молокоперерабатывающие, лѐнообрабатывающие и маслобойные заводы. Поддающиеся механизации процессы обслуживания животноводства электрифицируются на 60% (кроме кормодобывания).

Такое внедрение механизации и электрификации позволит освободить из сельского хозяйства до 30—40% рабочих рук.

Рыбозверинные промысла увеличивают продукцию с 277 тыс. центнеров в 1931 г. до 2 млн. центнеров в 1937 г. и 4 млн. центнеров в 1940 г.

Коммунальное хозяйство. В соответствии с ростом народного хозяйства края быстро растет и городское население как в существующих, так и в новых промышленных узлах. Общая численность городского населения с 386 тыс. чел. в 1931 достигнет 1 215,5 тыс. чел. в 1937 г. и 1 575 тыс. чел. в 1940 г.

Рост городов сопровождается коренной реконструкцией коммунального хозяйства и бытового уклада жизни городского населения. Жилищная площадь возрастает с 4,1—4,5 м² до 9 м² на чел. Все население в поселениях свыше 10 тыс. чел. обеспечивается водоснабжением. Канализация будет проведена во всех крупных поселениях.

Освещение электрифицируется на 100%, бытовые нужды на 50%. Общее коммунально-бытовое потребление энергии достигает 362 kWh на 1 жит. к 1937 г. и 592 kWh к 1940 г.

Транспорт. Программа железнодорожного строительства намечает сооружение к 1937 г. 2 800 и к 1937 г.—3 828 км новых путей, в том числе 1 125 км электрифицированных, а также электрификацию линии Архангельск-Вологда (636 км). Основные трассы свяжут Печорский угольный район через Усть-Кажву, Усть-Цыльму, Усть-Вашку, Онегу-Сороку с северными портами края, с Мурманском и Ленинградом, и через Ухту-Сыктывкар-Пинюг-Шекшеву с внутренними районами Союза. Линии Коноша-Вельск-Котлас и Сорока-Плесецкая обеспечат путями сообщения Котласский и Брючевский промышленные узлы. Дорога от Ухты через Уральский перевал даст выход сибирским и уральским грузам к северным портам и через Сыктывкар в центральные районы Союза.

Строительство на внутренних водных путях предусматривает шлюзование р. Усы с Адышвой и Косью; соединение р. Индиги с Сулой; устройство Камо-Печорского и Камо-Вычегодского соединений; переустройство Северодвинской системы; шлюзование рр. Сухоны и Малой Двины; сооружение Шексна-Онега-Емецкого соединения.

Существующие морские порты расширяются и механизуются. Создается новый Индигский порт.

Автотранспорт получает широкое распространение, число автомашин достигнет к 1937 г. 3 800 шт.

Воздушные сообщения будут обслуживать все основные промышленные узлы и побережье Ледовитого океана.

Общий план электростроительства

На базе энергетических и сырьевых ресурсов, в соответствии с той ролью, которую Северный край должен играть в деле социалистического строительства страны, намечается генеральный план электрификации края, обеспечивающий развитие его производственных сил.

Общая установленная мощность электрических станций определяется для 1937 г.—1232 тыс. kW и для 1940 г.—2 084 тыс. kW.

В этом числе для удовлетворения нужд края предназначается соответственно 932 тыс. kW и 1 688 тыс. kW. Остальные мощности рассчитаны на экспорт энергии в соседние области, испытывающие недостаток в собственных энергоресурсах (Ивановская, Нижегородская, Уральская).

Процентное соотношение гидроэлектрических и тепловых станций с разбивкой последних на конденсационные и теплоэлектроцентрали представляется в следующем виде:

	1937 г. в тыс. kW	В %	1940 г. в тыс. kW	В %
Гидростанции	474	38,4	802	38,5
Тепловые станции	758	61,6	1 282	61,5
Всего	1 232	100	2 084	100,0
В числе тепловых станций:				
конденсационные	563	74	965	75,3
теплоэлектроцентрали .	195	26	317	24,7
	758	100	1 282	100,0

Все тепловые станции запроектированы на местном топливе (торф, бурый уголь, отходы лесопиления и лесозаготовок, дрова и в незначительном размере каменный уголь).

Валовой расход отдельных видов топлива составляет:

	В 1937 г. в тыс. т условно	В %	В 1940 г. в тыс. т условно	В %
Торф	1 750	43,3	2 800	46,5
Бурый уголь	800	19,8	1 300	21,5
Отходы лесопиления	1 200	29,6	1 140	19,0
Отходы лесозаготов. и дрова .	300	7,3	797	13,0
Всего	4 050	100,0	6 037	100,0

При стабильном в 1937—1940 гг. соотношении установленных мощных гидравлических и тепловых станций, роль станций на торфу и буром угле повышается за счет работающих на древесном топливе.

Все основные станции на торфяном топливе будут работать параллельно гидравлическим, что увеличивает степень надежности (в случае неблагоприятных метеорологических условий) электроснабжения районов и увеличивает общий коэффициент использования установленных мощностей.

Особенно мощных станций (свыше 100 тыс. kW) запроектировано четыре: Печорская — на бурых углях (200—400 тыс. kW), Синдарская — торфяная (70—120 тыс. kW), Илычская (200 тыс. kW) и Биркачевская (100 тыс. kW). Преобладающую роль играют станции средней мощности (от 18 до 84 тыс. kW).

Одновременно проектируется также ряд мелких (1—4 тыс. kW) станций, обслуживающих сельское хозяйство и лесозаготовки в районах, которые в силу больших расстояний и малонаселенности не могут быть электрифицированы. Наряду с ними ряд территорий будет обслуживаться мелкими установками, типа передвижных газогенераторных и т. д., работающих, преимущественно, на отходах производства (древесина, костра) и других видах местного топлива.

Энергоснабжение

Общая выработка энергии станциями, обслуживающими краевые нужды, составит в 1937 г. 4,5 млрд. и в 1940 г.—8,5 млрд. kWh, и при полезном использовании установленной мощности—4 850 час. и 4 870 час. в год.

Потребление энергии по отдельным отраслям народного хозяйства и промышленности (без потерь в сети) составляет:

	1933 г. в млн. кВт	В % к итогу	1937 г. в млн. кВт	В % к итогу	1940 г. в млн. кВт	В % к итогу
Промышленность . . .	435	52,0	2 133	52,5	4 416	59,5
В том числе:						
а) лесн. и дерев. . . .	212	—	750	—	950	—
б) цел. бум.	106	—	575	—	1 170	—
в) горная (топлив. . . и метал.)	22	—	400	—	1 400	—
г) химическая	5	—	90	—	175	—
д) прочая	90	—	318	—	721	—
Сельское хозяйство . .	33	4,0	375	9,2	492	6,7
Транспорт и связь . . .	298	35,7	1 100	27,0	1 540	20,8
Коммунально-бытовые потребности	70	8,3	448	11,2	952	13,0
Всего	836	100,0	4 056	100	7 400	100,0

Расход электрической энергии на 1 рабочего в год достигнет по основным видам промышленности в киловаттчасах:

	1933 г.	1937 г.	1940 г.
Лесная и деревообрабатывающая	4 000	5 600	6 700
Целлюлозно-бумажная . .	30 000	31 000	35 500
Химическая	5 000	6 900	7 000
Горная	2 000	2 300	4 250
По всей промышленности	3 960	4 960	5 900

Производственно-энергетическая характеристика отдельных районов

Архангельский промышленный узел, центр хозяйственной, культурной и административно-политической жизни края,—крупнейший лесопромышленный и лесозаготовительный центр в Союзе. Находясь в устьевой водной артерии края Северной Двины и имея первоклассный порт, а с проведением дорог Архангельск-Онега-Сорока и Архангельск-Усть-Вашка-Усть-Цыльма, превратившись, таким образом, в крупный железнодорожный узел, он будет продолжать свое развитие в качестве лесозаготовительного района.

Число лесопильных рам доводится к 1937—1940 гг. до 150 с производством 1 150 тыс. стандартных пиломатериалов. Строится ряд деревообрабатывающих предприятий и цехов, сульфит- и сульфат-целлюлозные заводы, крупный целлюлозно-бумажный комбинат и ряд других предприятий с общей продукцией в 1937 г.—350 млн. руб. и в 1940 г. свыше 500 млн. руб.

Население возрастает до 320 тыс. чел. к 1937 г. и до 400 тыс. чел. к 1940 г. В районе, тяготеющем к Архангельску, к 1935 г. электрифицируются лесозаготовки Кулойско-Кипенского массива. Сельское хозяйство в радиусе до 40 км полностью электрифицируется к 1940 г. Железная дорога Архангельск-Вологда электрифицируется к 1937 г.

Общая потребная мощность определяется для 1933 г.—47,2 тыс. кВт, для 1937 г.—145,2 тыс. кВт и для 1940 г.—236 тыс. кВт.

Расположение промышленного района и порта на обоих берегах и на островах р. Северной Двины, при наличии теплоемких видов производства, заставляет проектировать ряд теплоцентралей вблизи потребителей, общая установленная мощность которых к 1940 г. составит 106,5 тыс. кВт. Две конденсационные станции на торфу в Талатах и в районе ст. Тундра будут иметь 10,8 тыс. кВт. Недостаток энергии покроют Биркачевская (100 тыс. кВт) и Соянская (13 тыс. кВт) гидростанции.

Котлас. Вследствие выгодного своего расположения при слиянии рек Северной Двины и Вычегды и намечающегося превращения его в железнодорожный узел с выходом к северным портам и на внутренние рынки, обеспеченный энергетическими ресурсами и имея богатую сырьевую базу, Котлас в ближайшие годы станет вторым по значению промышленным центром края, с продукцией в 1937 г.—215 млн. руб. и к 1940 г.—320 млн. руб. Количество населения достигнет в 1937 г.—94 тыс. чел. и к 1940 г.—140 тыс. чел. Общая потребная мощность в электроэнергии в 1937 г. выразится в 66,7 тыс. кВт

и в 1940 г.—120 тыс. кВт. Покрытие будет за счет ТЭС—48 тыс. кВт, конденсационных станций на торфу—60 тыс. кВт и 40 тыс. кВт с гидростанций на р. Вычегде.

Сыктывкар—национальный центр области Коми. Здесь развивается деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная и лесохимическая промышленность. Общая продукция промышленности в 1937 г. составит 150 млн. руб. и в 1940 г.—250 млн. руб. Население к 1937 г. достигнет 48 тыс. чел. и к 1940 г.—90 тыс. чел. Строящаяся железная дорога Сыктывкар-Пинюг будет продолжена как электрифицированная до Ухтинского нефтеносного района и далее до районов разработки печорских углей. Потребность в электроэнергии будет покрыта от ТЭС—34 тыс. кВт и от станции на Смирларском торфяном болоте—70 тыс. кВт, к 1937 г. и 120 тыс. кВт к 1940 г.

Вологда—железнодорожный узел и центр сельскохозяйственного района. Потребная мощность в электроэнергии к 1937 г. достигнет 50 тыс. кВт и к 1940 г.—70 тыс. кВт. Покрытие от ТЭС—9 тыс. кВт и конденсационной станцией на торфу—80 тыс. кВт.

Сокол. В районе Сокола расположены крупные Сухонские целлюлозно-бумажные фабрики и ряд других предприятий, перерабатывающих древесину. Проектируется расширение фабрик, постройка завода искусственного шелка и ряд других. Потребность в энергии к 1937 г. составит 23 тыс. кВт и к 1940 г.—41 тыс. кВт. Существующая ТЭС расширяется до 40 тыс. кВт, с переводом ее на торфяное топливо.

Онега. Порт и лесопромышленный узел. Проектируется развитие деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Потребность в энергии в 1937 г.—10 тыс. кВт и в 1940 г.—17,6 тыс. кВт. Проектируется ТЭС с установкой на ней дополнительной конденсационной мощности.

Бирючево. В связи с наличием богатых гидроресурсов в районе Бирючево будет развиваться деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная и лесохимическая промышленность на базе тяготеющих к району лесных массивов, заготовка которых электрифицируется к 1937 г., а также химическая на местных гипсах и хибинских апатитах.

Железная дорога Сорока-Плесецкая пересечет район при своем прохождении.

В районе строится мощная гидростанция на 100 тыс. кВт, отдающая избыток своей энергии для Архангельска и электрифицируемой железной дороги Архангельск-Вологда. Для нужд производства будет построен ТЭС на 9 тыс. кВт.

Усть-Вашка. В связи со слабой пропускной способностью Мезенского порта, центр лесной промышленности Мезенского бассейна будет перенесен в Усть-Вашку, через которую пройдет железнодорожная магистраль, с одной стороны, на Архангельск и Мурманск, с другой—в Печорский район и Сибирь. Потребность в электроэнергии—в 1937 г.—11 тыс. кВт и в 1940 г.—23 тыс. кВт—будет покрыта ТЭС с установкой дополнительной конденсационной мощности.

Печорский район представляет собой богатейший по своим сырьевым и энергетическим ресурсам край, связанный внутри себя течением реки Печоры и ее многочисленными притоками. В ближайшем будущем намечается широкое развитие промышленности на базе лесного сырья и полезных ископаемых, высокие темпы которого будут обеспечены постройкой железнодорожных магистралей. Последние свяжут край с внутренними районами Союза, Северными и Северо-западными портами, с Западной Сибирью и средним Уралом.

Внутри района вырастает ряд крупных промышленных узлов.

Усть-Цыльма—промышленный центр по переработке лесного сырья по преимуществу на экспорт. Усть-Кахза, или Троицко-Печорск,—такой же центр, но преимущественно внутреннего значения. Порты Печорский и Индигский. Ухтинский нефтепромышленный район. Углепромышленные районы в бассейне р. Усы. Западный склон Северного Урала.

Электроснабжение Устьцыльского района обеспечивается постройкой ТЭС мощностью 18 тыс. кВт. В Печорском порту будет построена ТЭС на 6 тыс. кВт, работающая параллельно с гидростанциями на рр. Сухо и Индиге, общей мощностью 30 тыс. кВт, которые должны обеспечить энергией оба порта, Ухтинский и Усинский районы, связанные между собой и с Северным Уралом электрифицированной железной дорогой с выходом ее в Сыктывкар, получают энергию в 1937 г. от электроцентрали на Синдарском торфяном болоте мощностью 70 тыс. кВт и на бурых углях в районе р. Неча—200 тыс. кВт.

К 1940 г. первая станция расширяется до 120 тыс. кВт, а вторая—до 400 тыс. кВт, а также входит в эксплуатацию ряд гидростанций на рр. Шугор, Уса, Ижма, мощность 150 тыс. кВт.

Прочие узлы и районы края будут удовлетворяться с одной стороны, более мелкими станциями, о которых упомянуто выше, с другой—от перечисленных районных станций. Гидростанции Сухонской системы и Камо-Печоро-Вычегодского пути с Ильичем будут работать на экспорт энергии в соседние области.

Высоковольтная сеть

В силу больших территориальных пространств края и расстояний между отдельными промышленными узлами электрическая сеть края будет связана линиями передач лишь незначительно. Общая протяженность высоковольтных электропередач определяется в 2000 км и свяжет между собой Архангельск—Бирючево—Вологду—Сухонские гидростанции—Котлас—Сыктывкар—Синдарское болото—Ухту—Воркуту. От Ухты эта линия своим ответвлением сойдет с гидростанциями верхней Печоры.

Кроме того, будут построены высоковольтные линии для передачи энергии в соседние области, потребляющие энергию Северного края.

Резолюция по генеральному плану электрификации Северного края¹

На основании доклада Северного крайплана (докладчик зам. пред. крайплана т. Рослов) о ходе работ по составлению плана электрификации Северного края, Районная секция Оргкомитета вынесла следующую резолюцию.

Отмечая:

а) что проделанная краем большая работа по выявлению естественных сырьевых и энергетических ресурсов края и по составлению плана их использования дала в результате принципиально правильную линию хозяйственного развития края и размещения отдельных производственных комплексов;

б) что поскольку основным богатством края является лес, крайпланом взята правильная линия на освоение новых лесных массивов и на качественную переработку лесных материалов;

в) что при сохранении за лесным хозяйством ведущей роли крайпланом учтена также необходимость развития и других отраслей промышленности, базирующихся на использовании сырьевых ресурсов края (целлюлозная, бумажная, льнопрядильная, горная, химическая промышленности);

г) что предложенной схемой во всю широту поставлен вопрос о скорейшем овладении горными богатствами Урало-Печорского края;

д) что в работе крайплана особого внимания заслуживает пионерская работа Севинили по выработке системы электрификации лесозаготовок.

Доклад одобрить и принять его за основу при дальнейшей проработке плана, не связывая однако оглашенных в докладе и приведенных в представленных материалах цифровых лимитов с определенными годами (1937—1940 г.г.).

Считая, что основными моментами генплана, определяющими все направление дальнейшего хозяйственного развития края и возможность более полного освоения его природных богатств при огромной территории и слабой населенности являются вопросы колонизации и транспорта, констатировать, что эти вопросы не получили достаточно глубокой проработки ни в докладе, ни в представленных материалах.

Констатировать также ряд внутренних неувязок и в представленных материалах, обусловленных незаконченностью работ и отсутствием окончательных балансовых данных (неопределенность потребителей каменного угля) в запроектированных планом количествах и непроработанности направления его вывоза, проектировка нового порта (Индиго) в Северном океане и без связи его с сетью железнодорожного транспорта, широкое развитие кустарной промышленности наряду с мощным размахом крупной промышленности при общем дефиците труда и т. д.

Принимая во внимание, что Северный край по степени изученности рудных и нерудных полезных ископаемых является одним из наиболее отсталых районов Союза при потенциально весьма богатых возможностях и что эта отсталость не только является тормозом для их промышленного освоения, но даже не дает возможности правильно подойти к планированию народного хозяйства края, поручить краевым органам и Союзгеологоразведке всемерно усилить геологоразведочные работы, главным образом, в северо-восточном районе края.

Учитывая, что представленный материал является лишь первым наброском, далеко еще не законченным проработкой, и что принятые темпы промышленного развития и электрификации края вышли за пределы первоначальных набросков майского совещания, предложить крайплану дальнейшую проработку вести в следующих направлениях:

1. В отношении общих установок и промышленности:

а) Проверить темпы развития как отдельных отраслей народного хозяйства, так и всего его в целом с точки зрения

Крайне напряженное положение в энергоснабжении края в настоящее время (электровооруженность на 1 рабочего—0,12 kW, на душу населения 0,015 kW) при остро-дефицитном трудовом балансе, тормозит нормальное развитие промышленности и лесозаготовок. Только быстрое энергостроительство, обеспечивая широкую электрификацию производственных процессов, может пополнить недостаточность живой силы для поднятия производительных сил края.

Предлагаемый план, намечая перспективы развития производительных сил края на базе электрификации, не претендует в данной стадии на окончательное определение содержания и темпов этого развития. В то же время этот план использования энергоресурсов является далеко не предельным по их потенциальной мощности, которая может обеспечить значительно большие темпы развития.

ния потребных капиталовложений, оборудования, потребности в живой человеческой силе, себестоимости и валового объема продукции в натуральном и в денежном выражении.

б) Проработать вопрос об увязке продукции народного хозяйства Северного края с остальными частями Союза как в отношении баланса обмена, так и в отношении направления транспортных связей.

в) Учитывая, что намеченные темпы развития промышленности явно не соответствуют наличному населению края, проработать детально баланс труда и систему мероприятий по колонизации края (устройство водворенного населения, его снабжение, культурно-бытовое обслуживание и т. д.).

г) При окончательном выборе развиваемых отраслей промышленности и географических пунктов ее размещения базироваться на стоимости сырья и энергии.

д) Отмечая, что схема горнотопливной и горнометаллургической промышленности намечена только в общих чертах, считать необходимым конкретизировать ее с учетом результатов геологоразведочных работ текущего года.

е) Учитывая сложность проблемы развития химической промышленности края, техническую и экономическую новизну постановки ряда химических производств, особенно в условиях севера, тесную связь одних из них с целлюлозно-бумажной промышленностью и возможность увязки других с проблемой кайскомутнинских фосфоритов и сланцев, солякамских калийных солей и энергетикой Камо-Печоро-Вычегодского водного соединения, просить Комитет по химизации и Всехимпром поставить проработку комплексного изучения проблемы развития химической промышленности края.

ж) Учитывая, что внешняя торговля края базируется на фрахтовании иностранных судов, считать необходимым в связи с развитием экспорта и портового хозяйства проработать вопрос о возможности постройки в одном из портов края завода морского судостроения. Поручить Наркомводу и ВСНХ СССР к 1 января 1932 г. проработать этот вопрос и представить доклад в Оргкомитет.

2. В отношении транспорта:

а) Проработать схему транспортных связей с точки зрения обеспечения колонизации края, взаимной увязки железнодорожного и водного транспорта, в отношении направления и объема грузопотоков, обеспечения вывоза важнейшей продукции, особенно лесной, не только на экспорт, но и во внутренние районы Союза, в частности, проработать вопрос о меридиональном направлении железных дорог.

б) Внести ясность в вопрос о втором порте на Северном океане (обосновать его необходимость, сделать выбор между двумя намечаемыми вариантами—устье Печоры и Индиго—и связать его железной дорогой с общей сетью железных дорог).

в) Учитывая, что согласно принятой Оргкомитетом схеме электрификации транспорта в пределах Северного края на вторую пятилетку не предполагается перевода железнодорожного транспорта на электрическую тягу, обосновать подсчетом грузопотоков необходимость электрификации запроектированных крайпланом магистралей. В связи с этим просить транспортную секцию Оргкомитета учесть те материалы, которые будут представлены краем.

г) Принимая во внимание, что при громадном территориальном протяжении края особое значение для его хозяйственного развития приобретает автотранспорт, пересмотреть вопрос в сторону максимального расширения сети гужевого, дорожного и автотранспорта.

¹ Резолюция Районной секции Оргкомитета по составлению генплана электрификации.

3. В отношении сельского хозяйства:

а) Принять к сведению заявление крайплана, что им проработан и представлен в Наркомзем подробный доклад о специализации районов края по главным отраслям сельского хозяйства, и просить крайплан выслать этот доклад в Оргкомитет.

б) Поручить крайплану проработать вопрос о формах организации труда в сельскохозяйственных и лесных районах, в частности, проработать вопрос об организации сельскохозяйственных энергокомбинатов.

4. В отношении электростроительства и электрификации отдельных отраслей народного хозяйства:

а) Уточнить данные о потребных мощностях и количестве электроэнергии и тепла по отдельным отраслям народного хозяйства, по районам края и по годам пятилетки до 1937 г. включительно, в связи с пересмотром темпов его развития и уточнением норм удельного потребления электрической и тепловой энергии для отдельных электрифицированных отраслей и производственных процессов.

б) Проработать вопрос о капиталовложениях, потребности в основных строительных материалах и оборудовании, а также и себестоимости электроэнергии по отдельным видам электростанций в зависимости от намечаемых мощностей, топливной базы и характера станций (теплоцентрали, конденсационные и гидравлические станции).

в) Проработать вопрос об очередности строительства и ввода новых мощностей по годам второй пятилетки в зависимости от намечаемого вступления потребителей.

г) Учитывая большое количество запроектированных станций на торфяном топливе и слабую проработку вопроса о технических и экономических возможностях широкого развития торфодобычи в климатических и трудовых условиях края, просить Союзторф и Инсторф проработать торфяную проблему в условиях Северного края.

д) Проработать вопрос об основной схеме высоковольтных передач с учетом передаваемых мощностей и количества энергии.

е) Проработать порайонные электрические и топливные балансы края по годам пятилетки.

ж) Проработать вопрос о графиках параллельной работы гидравлических и тепловых станций.

з) Увязать электрификацию сельского хозяйства с мелиоративными работами и электрификацией лесного хозяйства.

и) Особо проработать вопрос о комплексном использовании тепла и электроэнергии в сельском хозяйстве края на базе специальной сети сельскохозяйственных теплоцентралей.

к) Принимая во внимание, что при разветвленных речных системах края имеются многочисленные возможности использования гидроресурсов на относительно небольших установках и получить от них дешевую энергию, поручить крайплану проработать вопрос о сети мелких гидроцентралей в условиях возможно большей автоматизации их управления.

СТАВИМ НА ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема Большой Волги

А. Чапалыгин

Величайшая река Европейской части СССР—Волга, в бассейне которой на площади около 1 500 000 km² живет до 1/4 населения СССР, лишь в послереволюционные годы в связи с бурным развитием социалистического строительства стала предметом реконструктивных исследований и проектировок. Выдвинуты и прорабатываются проблемы соединения основного Волжско-Камского пути с Ледовитым океаном (Камо-Печорское соединение), с Балтийским морем (Марининско-Свицкий путь), с Московским промышленным районом (Окский и Клязьминский водные пути), с Черным морем (Волго-Дон). В области сельскохозяйственной поставлены ирригационные проблемы Заволжья и Калмыкии и проблема Волго-Ахтубинской поймы. В области энергетической исследуются и проектируются гидроустановки на Капе у Перми, на Волге у Ярославля и на Самарской Луке. Общая сумма затрат на исследование этих проблем в 1931 г. превышает 8 млн. рублей.

Обширные исследовательские и проектировочные работы по перечисленным проблемам Волжского бассейна велись до настоящего времени без должной увязки как в гидротехническом и гидротехническом, так и в экономическом, народнохозяйственном отношении. Так, соединение Волги с морями и Москвой проектировалось на различные глубины от 1,2 м до 2,85 м, в то время как коренной Волжский путь предполагается в одних проектировках довести до 3 м, а в других до 4—5 м. Реконструктивные мероприятия по линии водного транспорта не учитывают энергетических возможностей Волги. Техническое решение Волго-Ахтубинской проблемы не связано с проблемой урегулирования стока вышерасположенными плотинами.

Таким образом нет гарантии, что разрабатываемые отдельными ведомствами частичные проблемы Волжского бассейна не встанут в коллизию друг с другом и что несогласованная проработка их может дать более дорогое решение.

Необходимо решение частных проблем Волжского бассейна подчинить общей народнохозяйственной и технической идее, имеющей целью извлечь из волжских вод наилучший результат, сочетающий наилучшим образом интересы всех отраслей народного хозяйства, связанные с использованием и регулированием волжских вод. Эта руководящая идея социалистической реконструкции волжского водного хозяйства заключается в том, что основные гидротехнические сооружения на Волге должны одновременно разрешать и транспортные, и энергетические, и ирригационные задачи и тем самым давать наибольший народнохозяйственный эффект. Это значит, что техническая реконструкция Волги должна осуществляться путем урегулирования тока ее вод плотинами и притом плотинами с высотой напора, достаточной для гидроэнергетического использования. Система таких высоконапорных плотин, решая вопросы волжской энергетики, наилучшим образом разрешит

и вопросы водного транспорта, так как даст возможность по всей длине пути иметь наибольшие экономически целесообразные глубины, наименьшие транзитные расстояния между пристанями и наилучшие для судоходства условия скорости течения воды. Вместе с тем ирригационные, забирающие воду устройства получают стабилизированные и поднятые на максимальную высоту горизонты воды у водоприемников.

Технически оформление изложенной общей идеи реконструкции Волги, т. е. установление мест расположения основных водных узлов, плотины которых обеспечат транспорт необходимыми глубинами, а энергетике—напорами на гидроустановке, зависит от предельной возможной высоты плотины, вида кривой подпора и местоположения таких ценных объектов народного хозяйства, о затоплении которых или перенесении на другое место не может быть и речи. Мировая практика постройки плотин с жесткими водосливами на песчаном основании дает максимальные цифры порядка 10—15 м. Предварительные проектные подсчеты, произведенные для волжских условий, дают предельную цифру высоты водослива на песчаном основании около 20 м. Такая высота подпора дает площадь зеркала водохранилища приблизительно равную площади зеркала максимального паводка в естественных условиях реки. Кривую подпора для волжских условий для такой высоты подпора в первом приближении можно считать близкой к горизонтальной. Исходя из этих положений, можно в качестве одного из наиболее вероятных вариантов размещения плотин по основному Волжско-Камскому пути наметить следующий.

Наиболее южным транспортно-энергетическим узлом является Сталинградский с расположением плотины высотой в 20 м несколько выше г. Сталинграда. Подпертый бьеф, вероятно, позволит наметить трассу Волго-Донского канала выше г. Сталинграда и также даст повышенный и устойчивый горизонт для подема оросительных вод на те части Арало-Каспийской низменности (в Заволжье), которые допускают орошение по почвенным условиям. Подпор этой плотины выклинивается выше Саратова, где ставится вторая плотина с подпором около 15 м. Подпертый бьеф с отметкой 22—23 м доходит до Самары, обеспечивая водный подход к ней, и по Иртуру до г. Пугачева, что дает возможность иметь глубоководный путь в глубь Заволжья, а также облегчает вывод воды для механического орошения сыртов Нижней Волги. Следующая плотина—на Самарской Луке с каналом, спрямляющим Луку. Высота этой плотины может быть назначена в 22—23 м, так как здесь имеются перспективы скального основания для водослива и гидроустановки. Выше Самарской Луки располагается на Волге плотина выше Казанского моста высотой в 20 м и такой же высоты плотина в районе Балахны. При

меньшей высоте Балахнинской плотины—13 м—понадобится для доведения подпорного горизонта до Рыбинска и Волго-

Балтийского соединения еще одна плотина выше гор. Костромы.

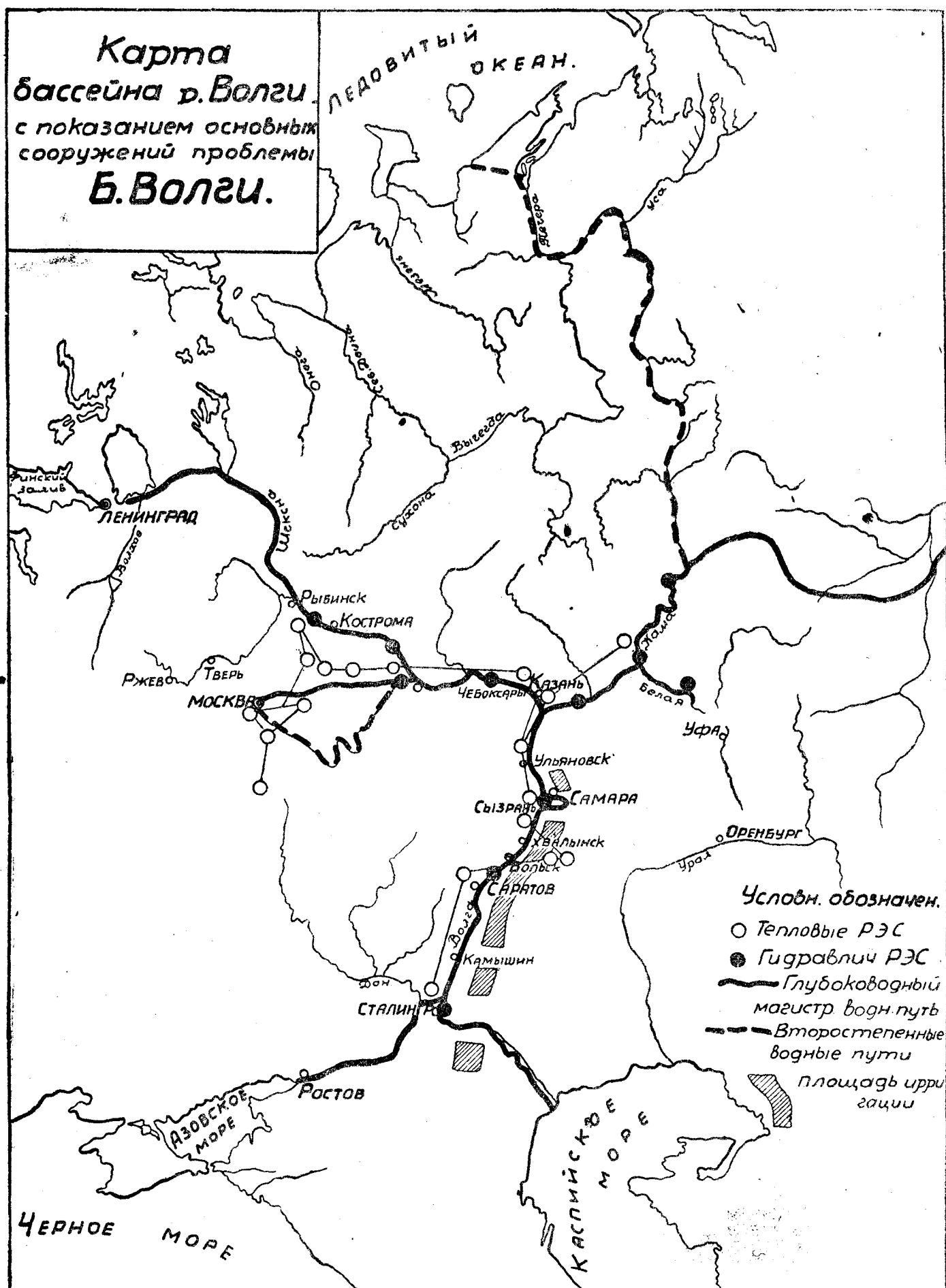


Рис. 1 Карта бассейна реки Волги с показанием основных сооружений проблемы Большой Волги.

На Каме первая плотина намечается выше г. Чистополя у Соколых гор высотой около 10 м, вторая плотина такой же высоты в районе Воткинского завода и третья у г. Перми, дающая выход на Камо-Печорское соединение. В эту же систему плотин войдет и плотина на р. Белой ниже г. Бирека. Наконец, плотина на Оке ниже впадения Клязьмы обеспечит выход на Московско-Клязьминское соединение.

выше результатов,—получение до 28 млрд. кВт гидроэнергии, в области водного транспорта будет достигнуто увеличение глубин до 5 м, что позволит перейти на суда 15 000—25 000 т. Это обстоятельство, а также сокращение длины транзитного пути и погашение скоростей течения в подпертых бьефах и, следовательно, снижение тяговой силы для буксирного вожа снизит себестоимость водных перевозок примерно на 50%.

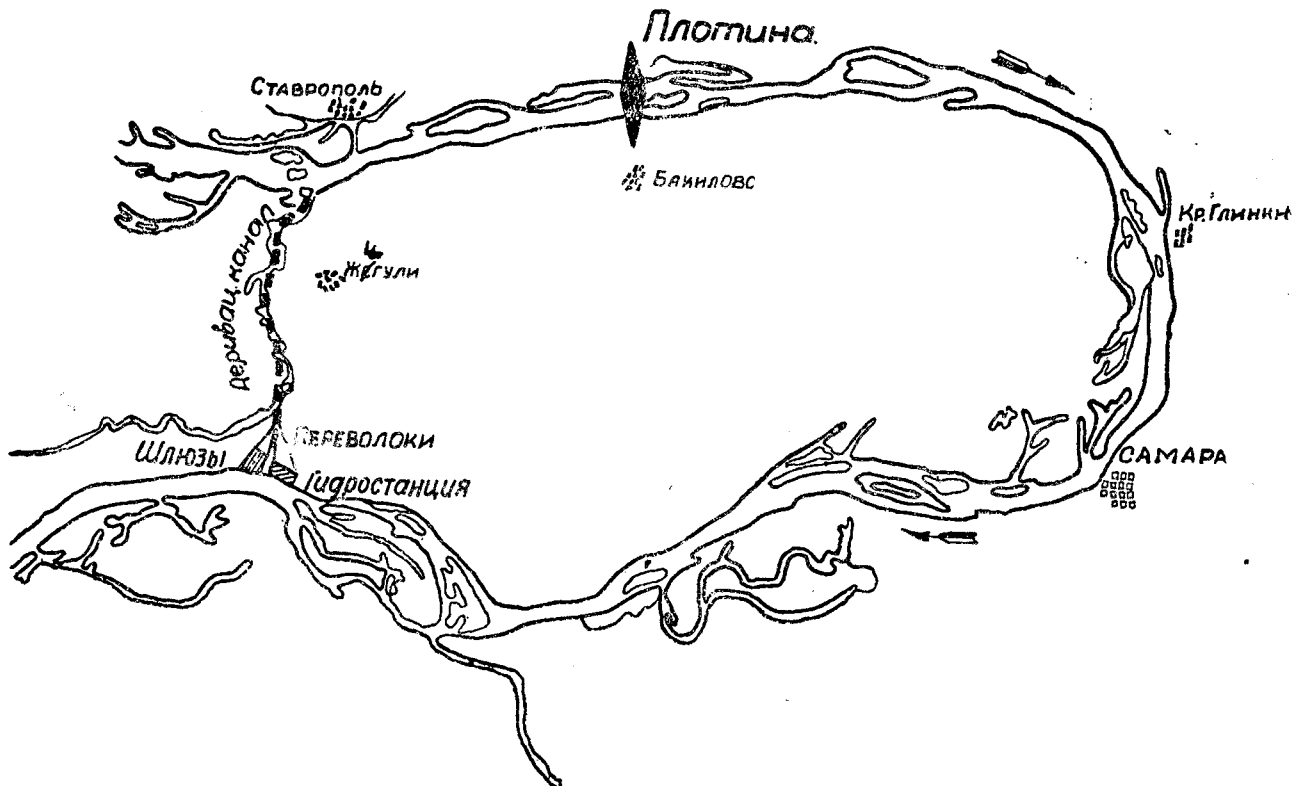


Рис. 2. План Самарской Луки с показанием проектируемых сооружений.

Намеченная система водных узлов с плотинами, шлюзами и гидроустановками обеспечит по всему коренному Волжско-Камскому пути глубины порядка 5 м и даст возможность довести мощность гидроустановок до 5 млн. кВт с годовой отдачей до 28 млрд. кВт.

Описанная реконструкция основного Волжско-Камского пути, дающая лишь тип мероприятий, так как в зависимости от уточнения проектировки расположение и напоры плотин могут измениться, коренным образом изменит его гидрологический режим. Гарантированные глубины для судоходства, в настоящее время равные 1,5 м выше Нижнего Новгорода, 1,85 м выше устья Камы и 2,15 м до Астрахани, окажутся на всем пути равными 5 м. В глубоководную речную сеть включаться не только 4 000 км основного Волжско-Камского пути, но и 6 000 км его притоков.

Вследствие значительного уширения зеркала подпертых бьефов и увеличения их глубин длина судоходного фарватера уменьшится на 120, а на Самарской Луке получится сокращение на 130 км. Средние скорости течения воды в паводок упадут с 5 км в час. до 3, а в межень с 3 до 0,5 км. Площадь водного зеркала с современных 4 000—5 000 км² в межень увеличится в подпертых бьефах до 20 000 км². Ширина подпертого бьефа в некоторых местах возрастет до 25—30 км при среднем размере около 5 км. Максимальный расход паводка снизится на участке ниже Сталинграда с 73 000 м³/сек до 40 000 км³/сек. Средний годовой сток Волги (250 км³), в огромной своей части (до 140 км³) стекающий в период паводка, получит в низовых частях реки значительно более равномерный характер, так как в подпертых бьефах будет задерживаться до 60 км³ паводка. Зимний жидкий сток, равный в настоящее время в среднем 2 500 км³/сек возрастет на Сталинградской плотине до 4 700 км³/сек.

Твердый сток Волги (взвешенные и влекомые наносы), равный примерно 10 000 000 м³ в год, на основном Волжско-Камском пути исчезнет, так как будет локализован в верхних частях притоков.

Поверхность ледообразования возрастет с 4 000—5 000 км² до 20 000 км². Толщина льда возрастет с 0,7 м до 1,0 м. Время и размер ледохода и срок освобождения реки от льда удлинится.

Описанные коренные изменения в режиме реки вызовут огромные последствия в отраслях народного хозяйства, связанных с волжским водным хозяйством. Кроме указанных

Озерность подпертых бьефов и, следовательно, возможность развития более сильной волны обусловит необходимость при реконструкции и развитии волжского флота предвидеть соответствующий тип судна. Удлинение периода ледостава и ледохода вызовет необходимость организации ледокольной службы. Подпертые воды Волги зальют сверх существующей волной поверхности и песков до 10 000 км² сельскохозяйственных угодий, крестьянских поселений и потопят некоторые промышленные предприятия и железнодорожные мосты.

Рыбное хозяйство, сосредоточенное, главным образом, в дельте Волги, где стоимость ежегодного улова оценивается цифрой до 80 000 000 руб., получит паводок в зарегулированном виде. Если начало и конец паводка будут сообразованы с потребностями рыбоводства, то рыбное хозяйство дельты ущерба не получит. Могут пострадать лишь некоторые сравнительно незначительные отрасли его в отношении рыб, плывущих из низовьев Волги в верховья Камы, так как плотины, несмотря на рыбоходы, могут оказаться для этого препятствием.

Общий размер капитальных вложений в гидротехнические сооружения плотины, гидроустановки и судоходные устройства, а также на возмещение ущерба от затопления и на вспомогательные сооружения ориентировочно определяется в 7,0 млрд. руб., из коих на энергетические сооружения можно отвести 3,5 млн. руб., на водотранспортные—2,3 млн. руб. и прочие (жилищное строительство, под'ездные пути и т. п.)—1,2 млн. руб. Средняя отпускная цена энергии 5 нижних станций будет не выше копейки за 1 кВт.

Наличие мощных источников дешевой гидроэнергии позволит осуществить в Поволжье широкое развитие промышленности, провести электрификацию приволжского железнодорожного транспорта и сельского хозяйства, ликвидировав бич последнего на юго-востоке—засуху—путем проведения широких ирригационных мероприятий, используя для под'ема воды дешевую электроэнергию.

На североволжском бассейне, на верхней Волге и Каме, гидроустановки сравнительно небольшого масштаба дадут возможность удовлетворить обозначившийся там энергетический дефицит на путях развития существующей промышленности.

На средней и нижней Волге, где сосредоточатся основные мощные гидроустановки с производительностью до 25 млрд.

kWh, наличие дешевой гидроэнергии, благоприятных сырьевых и транспортных показателей вызовет к жизни, как и на Днепре, огромные промэнергокомбинаты. Энергия теплоэлектростанций этих комбинатов и конденсационных станций, дополняя гидроэнергию, обусловит появление здесь в общем до 35 млрд. kWh комбинированной энергии, что соответствует примерно, 50% энергопроизводительности продукции Донбасса.



Рис. 3. Жигулевские ворота в межень.

Основными потребителями электроэнергии гидроэлектростанций являются промкомбинаты. Развитие этих промкомбинатов обусловлено удобным расположением на крупнейшей водной магистрали СССР и ее пересечениях с железнодорожными путями, обеспечивающими связь Поволжья как с районами расположения сырья, так и с потребителями продукции. В этом отношении следует отметить исключительную роль Самаро-Сызранского района, соединенного железнодорожными магистралями с Южным Уралом и Средней Азией, являющимися крупнейшими базами снабжения сырьем наиболее ответственных отраслей промышленности.

В районе гидроустановки Самарской Луки возможна организация крупнейших промышленных предприятий, которые являются потребителями гидроэнергии: а) предприятия цветных металлов в составе алюминиевого, медеплавильного, медеэлектролитного и медообрабатывающего заводов, б) предприятия химической промышленности, на которых крупнейшими являются азотный завод, хлорный, сернокислотный, в) предприятия качественных металлов и ферросплавов, г) металлообрабатывающая промышленность, д) производство стройматериалов, е) сланцевая промышленность, ж) синтетический каучук, автомашины, з) текстильные предприятия, и) мукомолье, мясные комбинаты и т. д.

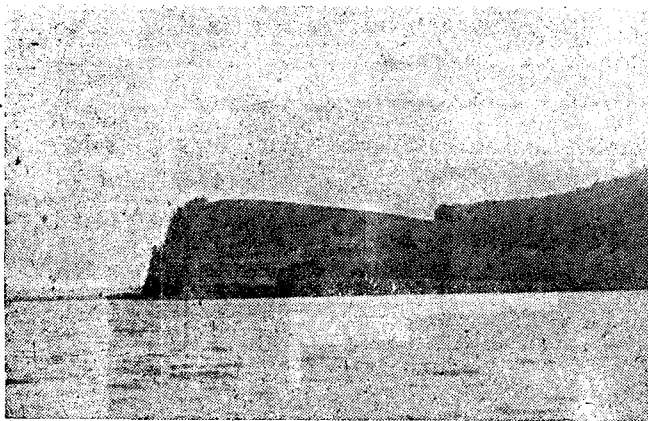


Рис. 4. Устье реки Усы.

Целесообразность создания выше охарактеризованных отраслей промышленности диктуется как наличием в районе дешевой гидроэнергии, так и благоприятными сырьевыми и транспортными показателями.

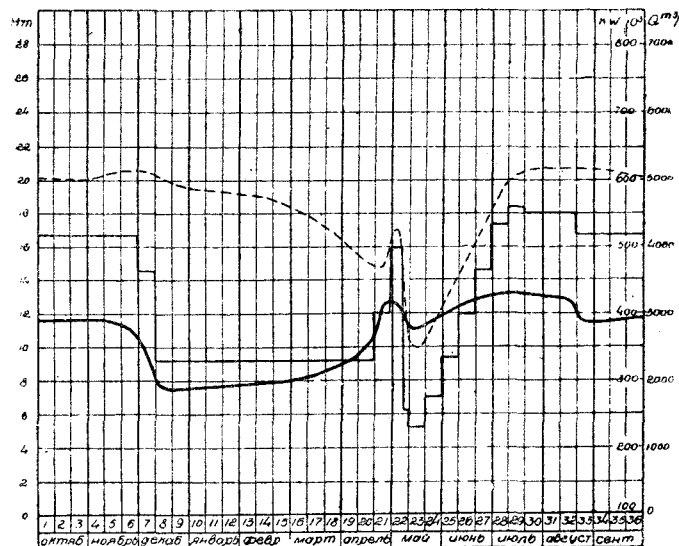
Среднеазиатское и южноуральское сырье — медные концентраты — подвергнутся здесь переработке и дадут сырье для сернокислотного производства, что обуславливает в свою очередь развитие связанной с водородом сланцевого газа и водородом электролиза азотной промышленности, важной и для

сельского хозяйства Поволжья и для военной промышленности, место для которой здесь стратегически весьма удобно. Алюминиевое сырье дадут местные глины в связи с крекингом нефти и получением сернокислого аммония. Кроме того, часть окиси алюминия может быть получена из Московской области. Готовый алюминий используется здесь же на кабельном, авио-авто-и тракторном заводах. Калиевые и магниевые соли Урала и соль Илецкой Защиты являются базой хлорного производства, связанного с крекингом нефти и получением окиси алюминия. Халиловский черный металл и дешевая энергия обуславливают создание заводов качественной стали. Зола горючих сланцев и высокосортные известняки выдвигают развитие строительной промышленности. Водный путь на Нижний Новгород и Сталинград и железнодорожные магистрали в Московский промышленный центр, Сибирь и Среднюю Азию свяжут промкомбинат с потребителями его продукции.

Промкомбинат в районе Сталинградской гидроэлектростанции, находясь на стыке Поволжского и Северо-Кавказского районов и в сравнительной близости к Донбассу, может рассчитывать на развитие металлургической и металлообрабатывающей промышленности. Хоперский металлурго-химический комбинат войдет в его состав. Химическая промышленность на базе заволжских соляных озер будет представлена хлорным и азотным производством. Магниевые соли обуславливают магниевую промышленность. Иригация заволжских степей, мелиорация Волго-Ахтубинской поймы вызовут широкое развитие консервной промышленности, мясокомбинатов, холодильников.

Общий размер потребления энергии этими двумя мощными промэнергокомбинатами намечается до 20 млрд. kWh. Ориентировочная стоимость комбинатов — 5 000 млн. рублей.

Крупным потребителем электроэнергии является приволжский железнодорожный транспорт. Сжигание в малоэкономичных



1878-79 год (средний)

Рис. 5. График мощностей, напоров и турбинных расходов для станции у плотины в варианте двух гидроэлектростанций. Подпор равен—19,75 м.

топках железных дорог дальнепривозного топлива будет прекращено с переходом железнодорожной тяги на электроэнергию, каковая потребует в количестве около 5—6 млрд. kWh.

Электрификация сельского хозяйства в первую очередь осуществится в районе 30-км полосы линий дальней передачи для электрификации железных дорог и в районах электропередач для подъема оросительной воды. Эта сельскохозяйственная электрификация первой очереди потребует до 2 млрд. kWh. Влияние этих энергетических ресурсов в сельское хозяйство Поволжья высвободит из сельскохозяйственной работы до 60 000 чел., которые смогут быть направлены в промышленность Поволжья, требующую в проектируемых промэнергокомбинатах до 650 000 рабочих.

Наличие дешевой гидроэнергии облегчает осуществление проблемы широкой иригации для борьбы с засухой в Заволжье и южном правобережье.

Заволжье в пределах от Самарской параллели на севере и до Волго-Ахтубинской поймы на юге является районом, где коллизия между засушливостью климата, обуславливающей неустойчивость земледелия и сельскохозяйственной освоенностью достигла максимальной напряженности. Этот район в

наибольшей степени периодически поражался ударами засухи, голода. На помощь пострадавшим от засухи здесь одних лишь государственных средств израсходовано за последние 40 лет свыше 200 млн. руб. Средний урожай основной культуры Заволжья—пшеницы—и в прошлом и в настоящее время весьма низок. В крестьянском хозяйстве он составлял от 4 цнт (на юге) до 6 цнт (на севере), с колебанием до 100% в ту и другую сторону. По Краснокутской опытной станции средний урожай за 37 лет составил 6,5 цнт, снижаясь в засушливые годы до 4 цнт, а в острозасушливые—до 1 цнт. Урожай совхозов Зернотреста в 1929 г. был от 1 цнт (на юге) до 2,2 цнт (на севере).

Низкий, неустойчивый урожай сельского хозяйства Заволжья и ограниченность культур, в нем применяемых, обуславливается всецело засушливостью климата. Среднее количество годовых осадков составляет 350 мм на севере, до 250 мм на юге. Летние осадки составляют от 200 мм на севере до 150 мм на юге, при летней испаряемости от 600 до 900 мм.

Поэтому искусственное орошение является здесь основным и наиболее действенным фактором поднятия урожайности существующих культур и широкого развития новых культур. Об этом свидетельствует опыт осуществлявшегося здесь пока в небольших размерах искусственного орошения. Так, урожай орошаемой пшеницы на Костычевской опытной станции в среднем за 24 года составил 15,7 цнт против 4,4 цнт, урожая пшеницы неорошаемой. Там же за 8 особенно засушливых лет урожай пшеницы орошаемой составлял 11 цнт против 1,2 цнт урожая неорошаемой пшеницы.

Таким образом орошение повысило здесь урожай в среднем в 3,8 раза, а в засушливые годы—почти в десять раз. Орошение дает возможность применять удобрение, не дающее эффекта в условиях неорошаемого хозяйства и дающее увеличение урожая на орошаемой площади на 35—40%.

В неменьшей степени реагируют на орошение и кормовые культуры. Так, урожай орошаемой люцерны составляет 70—80 цнт по сравнению с 15—16 цнт неорошаемых трав.

Орошение существенно расширяет круг технических культур. Овощные культуры возможны здесь исключительно лишь при орошении.

Орошение ликвидирует не только „почвенную засуху“. Сочетая орошение с лесозащитными полосами и дождевыми завесами (искусственное дождевание) можно получить заметное снижение температуры и увеличение влажности над орошаемыми территориями и, таким образом, парализовать действие суховея.

Таким образом орошение является тем основным рычагом, который на базе социалистического переустройства сельского хозяйства, механизации сельскохозяйственных процессов производства и усовершенствования агротехники позволит перевести сельское хозяйство Заволжья и южного Правобережья на высшую производственную ступень. Об огромном значении орошения в аналогичных естественно-исторических условиях свидетельствует опыт заграничной ирригации. В засушливых штатах САСШ—Колорадо, Айдаго, Монтана, Орегон, Юта, Вайоминг и пр.—орошено свыше 5 млн. га, причем 65% орошаемой площади занято кормовыми культурами, 25%—зерновыми, 5%—сахарной свеклой, 3,6%—под овощами и плодовыми деревьями, 1,4%—под прочими. В ряде стран—САСШ, Канаде, Австралии, Сев. Италии, Южной Франции и пр.—орошено до 20 млн. га в условиях климата и сельского хозяйства, весьма схожих с заволжскими.

С точки зрения народнохозяйственных задач ближайшего будущего перед ирригацией Поволжья должны быть поставлены следующие цели: а) разрешение кормовой, а следовательно, и животноводческой проблемы, б) снабжение крупных местных потребляющих центров овощной и молочной продукцией и в) развитие технических культур.

В связи с широким развитием в Поволжье производства пшеницы и занятием ею значительных новых территорий становится под удар обеспеченность животноводства Заволжья и смежных с ним районов как с точки зрения развития рационально поставленных мясооткормочных операций, так и с точки зрения производства грубых кормов в годы засухи с целью обеспечения скота от бескормицы. Значимость такой страховки поголовья достаточно ясна, если учесть, что поголовье крупного скота в Заволжье в ближайшее пятилетие достигнет 3—4 млн. голов и что в годы острой засухи гибнет свыше 50% скота.

Молочно-огородные орошаемые хозяйства будут иметь задачей снабжение как уже существующих крупных потребляющих центров (Самара, Саратов, Покровск, Сталинград), так и должествующих возникнуть на базе гидроэнергетических и сланцевых ресурсов новых промышленных центров. Технические культуры, составляя часть севооборота с кормовыми, в дальнейшем могут приобрести самостоятельное значение. Общая площадь орошения с точки зрения решения в ближайшее десятилетие вышеуказанных задач выразится площадью от

1,5 до 2,5 млн. га, в зависимости от объема задач, которые будут поставлены сельскому хозяйству Поволжья. При этом продукция на каждый затраченный человеко-день при условиях орошения хозяйства будет вчетверо выше, чем в хозяйствах, где орошение не применяется (16 руб. против 4 руб.) и стоимость основной продукции орошенных территорий—мяса—снизится на 50% против современной.

Технические возможности получения большей площади орошаемой территории связываются с проблемой использования волжской воды как в оросительных, так и в энергетических целях. Местный сток Заволжья невелик и в дальнейшем в связи с развитием приемов использования выпадающих осадков на полях (снегозадержание и т. п.) будет все более ограниченным ресурсом для ирригационных полей. Практически возможное использование в пределах Заволжья количеством местного стока обеспечит орошение площади в 200 000 га. Остальная орошаемая территория нуждается в волжской воде, поднимаемой на водораздельное плато Заволжья электронасосными установками.

По произведенным предварительным подсчетам стоимость заволжского орошения, принимая на государственный счет все земляные работы (в том числе и по мельчайшей сети), выразится в среднем в сумме 500—600 руб. на 1 га. В случае производства части земляных работ, составляющих до 400 т³ на 1 га, самим населением, государственные капитальные вложения соответственно уменьшаются.

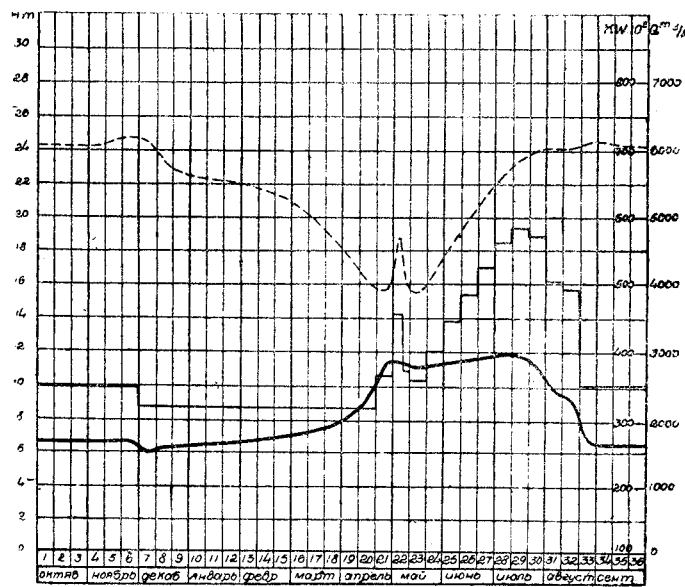


Рис. 6. График мощностей, напоров и турбинных расходов для станций на деривации в варианте двух гидростанций. Потпор равен—19,75 м.

Ежегодные расходы по орошению каждого га (не считая процентов на капитал) выразятся в сумме около 45 руб., считая в том числе и расходы на поливальщики. Ежегодные расходы выразятся цифрой 60—65 руб. на 1 га. Такой размер расходов по орошению вполне приемлем для хозяйств мясооткормочных и овощного типа, где удельный вес воды в себестоимости продукции невелик.

Основной технической задачей ирригационной проблемы Заволжья является обеспечение умеренной поливной нормы, что обуславливает уменьшение размера затрат на подъем и на распределение воды и обеспечивает почву от угрозы засоления, особенно действенной на юге Поволжья.

В этом отношении представляет большой интерес применение вместо самотечного выпуска воды из оросителя на поле выпуск ее через насадку, разбрызгивающую оросительную воду наподобие естественного дождя. При таком способе орошения не только обеспечивается умеренная норма полива и отсутствие засоления, но и становятся излишними работы по планировке орошаемого поля и вместе с тем создаются благоприятные условия для механизации сельскохозяйственных операций.

Предварительные подсчеты позволяют думать, что применение в условиях крупного орошаемого хозяйства и дешевой электроэнергии электродождевания с использованием дальнобойных насадок возможно будет в условиях Поволжья. Общее количество энергии, необходимое для ирригации и дождевания 2 500 000 га, определяется в 5 млрд. кВт·ч.

Вышеизложенное характеризует огромные народнохозяйственные последствия, которые вызовут гидротехнические соору-

жения Большой Волги по линии энергетической. Не менее значителен их эффект и в области водного транспорта.

Новые гидрологические условия, как указывалось, обуславливают снижение себестоимости водных перевозок на 50%. Если принять согласно предположениям Наркомвода, что к началу третьей пятилетки грузооборот в бассейне р. Волги составит 270 млн т при среднем пробеге 1 500 км, то вся работа волжского транспорта выразится цифрой 400 млрд. т/км.

При современной средней себестоимости перевозки по Волге 0,45 коп. вся стоимость таких перевозок выразилась бы в 1 800 млн. руб. в год.

Низконапорное шлюзование верхней части волжского бассейна, выправительные работы и землечерпание в средней части и землечерпание в нижней части обеспечат глубины порядка 3 м и по ориентировочным подсчетам снизят себестоимость перевозок до 0,2 коп.

Считая, что в зону влияния реконструируемого волжского пути попадет 80% предположенного 270 млн. т грузооборота и что средний пробег будет равен 1 500 км, получим работу транспорта в 324 млрд. т/км на сумму 648 млн. руб. в год.

Реконструкция высоконапорными плотинами по намеченной схеме снизит себестоимость на 50% или на 324 млн. руб. в год. Себестоимость перевозки 1 т/км составит 0,10 коп., а общая стоимость перевозок в год выразится в 324 млн. руб.

Размер капитальных вложений по двум указанным вариантам реконструкции ориентировочно предвзят в следующей таблице:

Назначение капитальных вложений	Капитальные вложения в млн. руб.		Примечание
	Вариант низконапор. шлюз. и землечерпан.	Вариант высоконапорных плотин	
1) Гидротехнические сооружения на основном Волжско-Камском пути	600	2 300	Считая половину стоимости плотин из затоплений на транспорте
2) Гидротехнические сооружения на притоках.	160	—	
3) Флот	3 000	2 000	
4) Мастерские, пристани, склады, и прочие расходы по флоту	1 000	800	
ВСЕГО	4 760	5 100	
5) Себестоимость перевозок в год	648	324	Экономия в пользу энергетического варианта 324 млн руб. в год
6) Себестоимость в копейках за тонно-километр	0,2	0,1	

Эти цифры свидетельствуют, что энергетический вариант и с точки зрения водного транспорта является более выгодным, так как при таком же почти размере капиталовложений дает значительно меньшую себестоимость перевозок.

Народнохозяйственное значение глубоководного Волжско-Камского пути на много увеличится при соединении его такими же глубоководными каналами с северными и южными морями, с Московским промышленным центром и с сибирскими водными путями.

Водная сверхмагистраль, соединяющая Балтийское, Черное и Каспийские моря, будет иметь еще большее, чем выше охарактеризовано, хозяйственное значение Мариинская система и Волго-Донской путь должны в этом варианте проектироваться совсем по другому.

Не менее важно и глубоководное соединение Волги с Московским промышленным центром по кратчайшему, клязьменскому направлению для дешевой перевозки не только наливных, но и массовых сухих грузов—хлеба и угля. Наличие высоконапорных плотин на верхней Волге позволит усилить водоснабжение московской части пути водами верховьев Волги.

Соединение Волги с сибирскими реками в целях выхода на Волгу сибирского леса и хлеба мыслится либо по Камоволжскому пути через водораздел Печора-Уса Сибь-Обь, либо по р. Белой до трансуральского водного пути.

Все это достаточно характеризует народно-хозяйственное значение проблемы Большой Волги. Преобладает все лицо Поволжья. Край малопродуктивного и неустойчивого сельского хозяйства, со слабой промышленностью, с неустраиваемыми пу-

тами сообщения, со слабой собственной энергетической базой и в далеком расстоянии от топливных гигантов—Кузбасса и Донбасса,—но край богатый по сырьевым ресурсам и весьма благоприятный по географическому положению, получит на всем своем протяжении исключительной глубины водный путь с глубоководными выходами в море и центры производства, получит энергобазу, равную половине Донбасса, получит мощную промышленность важнейшего для СССР значения, получит вдобавок к своему солнцу обильное увлажнение и, следовательно, твердый высокий урожай культур и устойчивое рациональное животноводство.

Как во всякой грандиозной проблеме есть и в этой проблеме свои большие трудности. На некоторых из них вкратце остановимся.

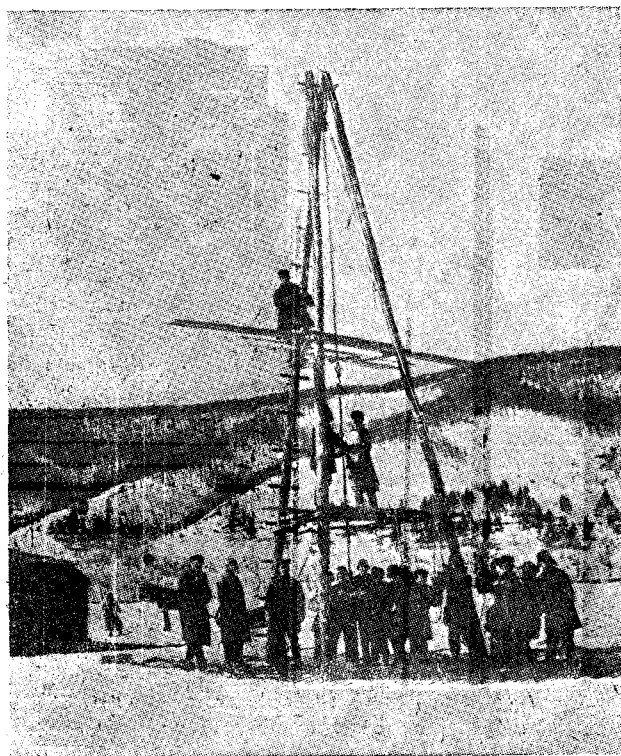


Рис. 7. Буровые работы на Волгострое.

Уже самая грандиозность проблемы является „трудностью“. Огромные капиталовложения в гидротехнические работы, промышленность, железнодорожный транспорт, ирригацию, вложения порядка 18—20 млрд. руб. ставят вопрос об очередности в осуществлении проблемы. Правда, вложения в промышленность, транспорт, сельское хозяйство будут иметь место и при другом энергетическом разрешении вопроса, да и сама энергетика при другом ее варианте (если он возможен) потребует также значительных вложений не только на устройство электроцентралей, но и на расходы по дополнительной добыче и транспорту топлива.

Таким образом специфическими для проблемы Большой Волги затратами являются капиталовложения в энергетическую часть гидросооружений, что оценивается значительно меньшей цифрой—порядка 2,5—3 млрд. руб. Далее, гидростроительство вполне допускает очередность. Сначала могут быть выполнены сравнительно небольшие сооружения в верховьях волжского бассейна. Мощные источники гидроэнергии средней и нижней Волги также могут строиться по очереди, причем при прочих равных условиях с технической точки зрения целесообразно начинать строительство с более высоко расположенных по реке сооружений.

Из числа технических трудностей, которых в этой проблеме немало, обращает на себя внимание вопрос сооружений огромных плотин на песчаном основании и вопрос создания широких, озерного типа, подпертых плотинами плесов, что вызывает затопление больших пространств волжской поймы и припойменных земель, значительные изменения в условиях ледохода и озерные условия плавания.

Как известно, устройство даже весьма крупных плотин на песчаном основании не является в гидротехнике чем-то небывалым и неоснованным. Знаменитые барражи построены на песке. В САСШ имеются гидроэлектростанции последнего времени (Висконсин, Шерман-Айленд), построенные на песке при относительно больших (10—15) на-

порах. Ряд плотин на песчаном основании построен для ирригационных целей в Индии. Имеются плотины на мелком песке и у нас (Кочетовская на р. Дон). Трудность, здесь, следовательно, не принципиального, но количественного порядка. Произведенные для волжских условий подсчеты приводят пока к выводу, что плотины высотой не свыше 20 м технически возможны даже в трудных условиях волжского песчаного русла.

Вопрос о размерах затопления подвергся некоторому изучению для плотины на Самарской Луке. Оказалось, что при подпоре в 20 м общая площадь водного зеркала составляет около 4 000 км², причем почти половина приходится на существующую водную поверхность, пески и другие бросовые угодья. Размер затоплений селений характеризуется цифрой порядка 10—15 тыс. дворов. Общая стоимость восстановления ущерба от затопления, считая перенос затопляемых строений, обвалование крупных промышленных устройств, восстановление затопляемых угодий и пр. выражается цифрой порядка трех-четырех десятков миллионов рублей, т. е. величиной относительно небольшой.

Менее ясны мероприятия по предотвращению заблачивания и подтопления. Здесь, вероятно, придется идти по пути обвалования площадей мелкого затопления. Работы такого низкого обвалования недороги и несложны.

Вопрос озерности плавания кардинально разрешится при переводе вновь создаваемого волжского флота на соответствующую конструкцию. Возможны и другие менее радикальные решения, как например, устройство в местах особого развития волны волноломов из каменной наброски, в большом количестве получающейся при работах по каналу Самарской Луки.

Трудным явится вопрос ледообразования в новых условиях. Здесь приходится опасаться затяжки в освобождении водной поверхности от льда и, следовательно, укорочения навигационного периода. Вероятно, придется выходить из положения путем организации ледокольной службы и, быть может, мириться с некоторым уменьшением навигационного периода за счет перехода к большему тоннажу судов и ускорения оборота в новых гидрологических условиях.

Наконец, сложным вопросом является переходный период, когда в одних частях волжского бассейна будут созданы новые условия, в то время как в других останутся еще старые. Здесь многое зависит от продолжительности этого

периода, что обуславливается экономически возможными темпами строительства. Подлежит также проработке и переходный период в районе сооружаемых гидростанций в связи с развитием промышленности и теплоэлектроцентралей.

Все вышеизложенное о гидрологических и народнохозяйственных последствиях предлагаемого решения проблемы Большой Волги относится и к отдельным звеньям проблемы и, следовательно, к проблеме реконструкции Самарской Луки.

Эта проблема, поставленная решением ЦК ВКП (б) от 15 февраля 1930 г., в настоящее время близится к концу схематического ее освещения. Проведены обширные изыскательные работы: топографические, гидрологические, гидрогеологические и буровые. В настоящее время центром тяжести полевых работ является завершение намеченной программы бурения, необходимого для составления схематического проекта сооружений и задерживающего вследствие недостатков оборудования.

Из отдельных моментов исследований можно отметить, что кроме решения вопроса с основанием плотины на песке, вырисовываются перспективы основания ответственной части плотины—водослива—на скале, которая обнаружена бурением в правой и левой части волжского русла. Закончены топографические и экономические обследования района затопления, причем, как уже упоминалось, выясняется, что и размеры затопления и ущерб от него относительно невелики. Незакончено еще вследствие задержки с бурением обследование карстовой угрозы. На этом вопросе, так же как и на оконтуривании скального основания, и сосредоточатся работы зимнего периода.

Проблема Большой Волги в отдельных ее звеньях, являющихся по своему масштабу также целыми проблемами, как явствует из вышеизложенного, меняет не только экономическое, но и физическое лицо громаднейшего нашего коренного района. Уже в самом начале проработки проблемы была принята установка—привлечь к ней наши основные научные технические и экономические силы. В настоящее время кроме специальных организаций, Энергоцентра, Гидроэлектростроя и Института Электрфикации, над проблемой работает особое совещание по Большой Волге при Госплане СССР, из представителей Наркомвода, НКПС, НКЗема и краевых организаций. К техническим проработкам привлечены также силы Днепростроя и Свирьстроя и ряд научно-исследовательских институтов. Необходимо к узловым вопросам проблемы привлечь внимание широкой рабочей общественности, Академии наук СССР и Комакадемии, и развернуть по ним дискуссию.

ПРОБЛЕМЫ ЕДИНОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ¹

Устойчивость параллельной работы электростанций

П. И. Сазанов

Исключительная важность обеспечения бесперебойности электроснабжения при авариях и вообще при резких переходных режимах сделала весьма актуальной проблему устойчивости параллельной работы электростанций для современных мощных и протяженных электрических систем.

Идея единой высоковольтной сети для нашей страны с ее огромными расстояниями и колоссальными по концентрации мощности источниками водной и угольной энергии (в несколько десятков миллионов киловатт), которая не может быть полностью используема на месте, выдвигает в небывалых масштабах проблему передачи больших количеств энергии на большое расстояние и, в частности, проблему устойчивости параллельной работы в такой системе.

Чем больше передаваемая мощность и расстояние передачи, тем труднее при авариях поддержать устойчивость параллельной работы станций, связанных такой передачей. Но вместе с тем, чем крупнее по мощности отдельные звенья сложной системы, тем важнее поддержание их бесперебойности работы с народнохозяйственной точки зрения.

Необеспеченность устойчивости параллельной работы таких крупных звеньев будущей ЕВС², как Волжстрой и Ангарстрой и Енисейстрой, привела бы к расстройству электроснабжения и приостановке народнохозяйственной деятельности на огромной

территории. Вот почему при проектировании ЕВС необходимо подвергнуть тщательному анализу поведение отдельных частей ее при авариях, их устойчивость параллельной работы и, если потребуется, обеспечить эту последнюю или технически совершенными и экономически выгодными специальными мерами, повышающими динамический предел мощности системы, или же переменной рода тока и способа передачи энергии.

Сложность проблемы устойчивости в теперешних объединенных системах обусловлена тем, что на явление качения станций, возникающее при резких нарушениях режима работы системы, влияют константы и характеристики всех звеньев системы, начиная от электрических характеристик нагрузок и кончая характеристиками регуляторов первичных двигателей.

Начав с исследования явлений качения станций и разработки методов анализа устойчивости их параллельной работы, мы в проблеме устойчивости подходим к активному воздействию на всю систему факторов, которые в совокупности и представляют современную электрическую систему. Если в прежних условиях со средними мощностями и протяженностями передач обычное нормальное проектирование (без учета устойчивости) все же обеспечивало сохранение синхронной работы системы при наиболее частых видах аварии, то в более мощных (а тем более в сверхмощных) и протяженных системах это проектирование, не обеспечивая важнейшего условия таких передач—бесперебойности электроснабжения,—должно быть признано несостоятельным. Таким образом проблема устойчивости из пассивной, констатирующей

¹ В этом разделе напечатаны доклады Всесоюзного электротехнического института (ВЭИ) представленные в Оргкомитет по составлению генерального плана электрификации при Госплане СССР.

² Единая высоковольтная сеть.

развилась в проблему проектирования, а в сверхмощных системах с передаваемой мощностью порядка 500–1000 MW и расстоянием передачи 500–1000 km предварительный анализ устойчивости передачи должен являться исходным пунктом нормального проектирования.

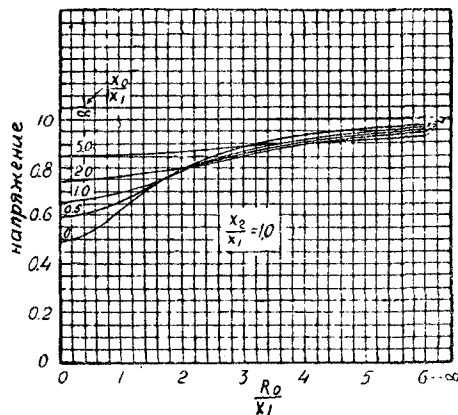


Рис. 1. R_0 и X_0 — омическое индуктивное сопротивление нулевой последовательности.
 X_2 — отрицательные последовательности.
 X_1 — положительные последовательности.
 $\frac{X_2}{X_1} = 1,0$ { однофазное замыкание на землю.
 { двухфазное замыкание на землю,
 (за единицу напряжения принято нормальное напряжение).

При проектировании мощных и протяженных звеньев будущей ЕВС следует иметь в виду, что для поддержания устойчивости параллельной работы могут быть предъявлены особые требования к реактансам системы и ее схеме коммутации, к способам компенсации реактивных мощностей, к системе возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов, к времени выключения аварии, к демпфирующим устройствам генераторов и синхронных компенсаторов, к особому управлению регуляторами первичных двигателей при авариях.

Влияние реактанца, системы и способы воздействия на последний.

Наиболее важным соотношением, позволяющим оценивать количественно и качественно главные факторы, влияющие на динамическую устойчивость системы, является формула для передаваемой мощности,

$$P = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \theta, \quad (1)$$

где E_1 , E_2 —соответственно напряжения в начале и конце системы, X —эквивалентный реактанс между началом и концом системы, θ —угол между E_1 и E_2 .

Из формулы (1) прежде всего следует, что возможная к передаче мощность при всех прочих равных условиях обратно пропорциональна реактанцу системы (омическим сопротивлением пренебрегаем). С возникновением аварии реактанц системы обычно резко меняется, и первым шагом при анализе устойчивости является определение этого последнего.

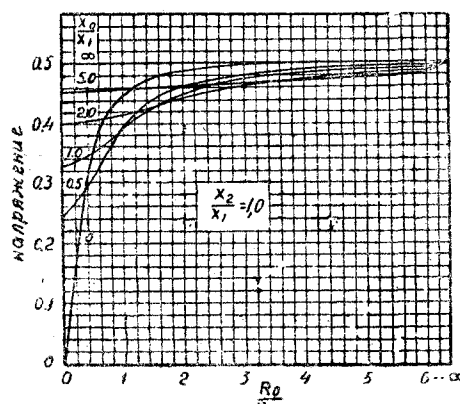


Рис. 2. Напряжение прямой последовательности при асимметричном коротком замыкании в зависимости от соотношения импедансов положительной и нулевой последовательностей системы.

При анализе динамической устойчивости имеются в виду, главным образом, различные типы асимметрических коротких замыканий в системе как наиболее частые и сравнительно тя-

желые нарушения ее работы: однофазное на землю, между-
фазовое, двухфазовое на землю.

В большинстве случаев расчеты устойчивости ведутся на однофазное короткое на землю как наиболее частый тип аварии высоковольтной системы, составляющий в некоторых системах 80—90% от общего числа аварий.

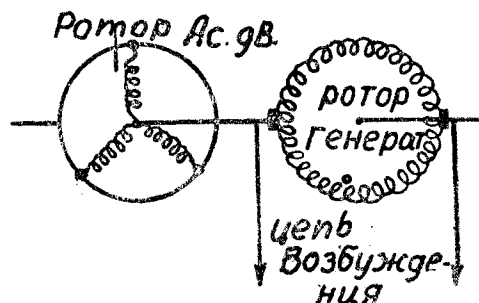
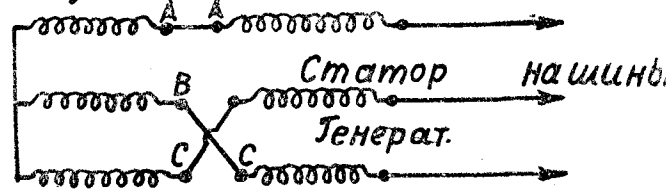


Рис. 3. Трехфазная схема включения асинхронного мотора по Щедрину.

Пользуясь методом симметричных составляющих и имея в виду, что определяющими динамическую устойчивость аварийными токами и напряжениями являются токи и напряжения, создаваемые генераторами, т. е. положительной последовательности, мы можем всякое асимметричное короткое в части его положительной последовательности представить эквивалентным

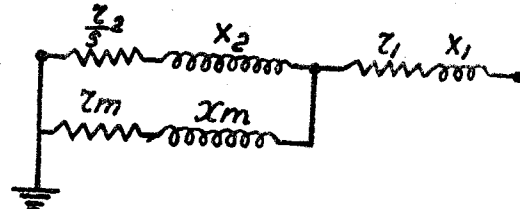


Рис. 3а. Эквивалентная схема замещения асинхронного мотора.

трехфазным шунтом в месте короткого. Этот эквивалентный импеданс для различных видов асимметричного короткого замыкания будет:

Однофазное короткое на землю	Двухфазное короткое на землю	Междуфазное короткое замыкание	Трехфазное короткое замыкание
$Z_{\text{эв. ш}} = Z_2 + Z_0$	$Z_{\text{эв. ш}} = \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}$	$Z_{\text{эв. ш}} = Z_2$	$Z_{\text{эв. ш}} = 0$

где: Z_2 —эквивалентный импеданс системы для отрицательной последовательности,
 Z_0 —эквивалентный импеданс системы для нулевой последовательности,
 $Z_{\text{экв. ш.}}$ —эквивалентный шунт в месте короткого замыкания.

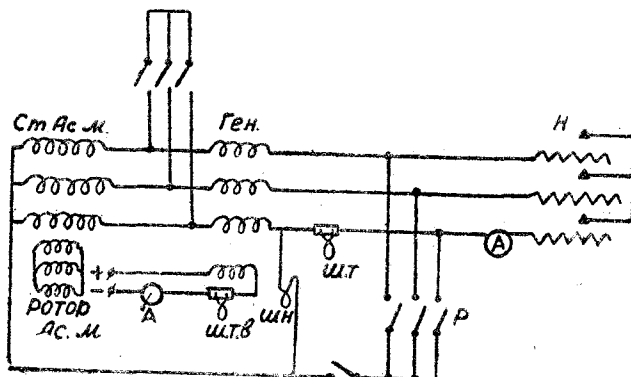


Рис. 4.

Таким образом при расчетах динамической устойчивости входят в рассмотрение реактансы системы всех последовательностей.

Требования, предъявляемые динамической устойчивости к реактансам различных последовательностей, диаметрально противоположны. Реактансы положительной последовательности, представляющий нормальную схему системы, как было отмечено, согласно формуле для мощности (1), должен быть наивозможно малым. Реактансы отрицательной и нулевой последовательностей должны, наоборот, быть наивозможно большими. Это явствует из того, что при низких значениях импедансов отрицательной и нулевой последовательностей с преобладанием в них реактивной составляющей в системе возникают большие реактивные (отстающие) токи, вызывающие большое падение напряжения, благодаря чему резко снижается синхронизирующая мощность системы. Таким образом чем больше импеданс нулевой и отрицательной последовательностей, тем меньше токи короткого замыкания, тем меньше падение напряжения в системе, а значит, тем устойчивее ведет себя эта последняя при аварии.

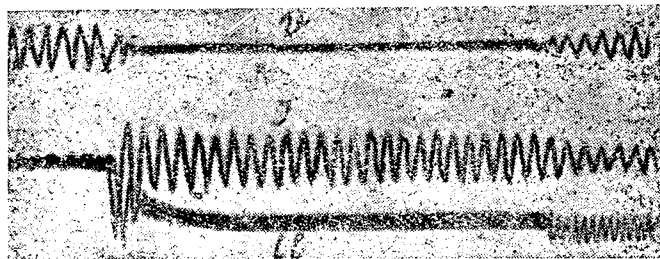


Рис. 6. Осциллограмма № 1. Трехфазное короткое замыкание с мотором Щедрина.

Рассматривая реактансы положительной последовательности (нормальные) отдельных элементов системы, следует констатировать, что практически их невозможно варьировать в сколько-нибудь заметных пределах. Реактансы линий, трансформаторов и генераторов жестко диктуются техническими и экономическими лимитами, обусловленными нормальным электрическим расчетом. Так например, незначительное отклонение от стандартного реактанса турбогенератора представило бы значительные технические затруднения, сильное удорожание в стоимости и снижение к. п. д.; положительный же эффект этой меры на динамическую устойчивость незначителен. Синхронные компенсаторы, в особенности те из них, которые предусмотрены как средство искусственного поддержания устойчивости работы системы при аварии (передача энергии по принципу Баума), должны обладать особенно низким реактансом, ибо чем ниже их реактанс, тем больше их отдача реактивной мощности, тем больше их поддерживающий эффект на напряжение системы, а значит, и на динамическую устойчивость.

Более выгодные условия имеют место для воздействия на величину импедансов отрицательной и нулевой последовательности системы.

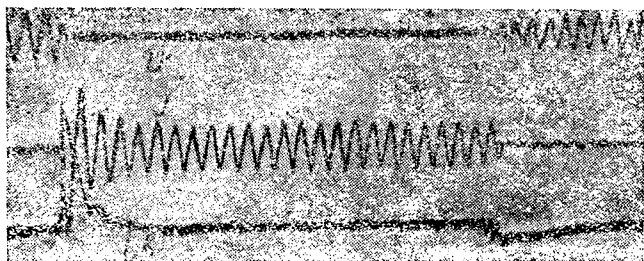


Рис. 6. Осциллограмма № 2. Трехфазное короткое замыкание без мотора Щедрина.

На сегодня имеются два средства искусственного увеличения импедансов отрицательной и нулевой последовательности.

Первое средство—заземление нейтрали через импеданс. Вообще говоря, чем больше этот импеданс, тем больше его поддерживающий эффект на динамическую устойчивость.

Максимальный эффект получится при незаземленной нейтрали. Однако при решении вопроса заземлять или не заземлять нейтраль системы приходится считаться с требованиями защиты от перенапряжений и сверхтоков. В решении этого вопроса, так же как и в ряде других электротехнических проблем, должен быть найден тот оптимум, который был бы приемлем обоим.

Как показало исследование этого вопроса, с точки зрения устойчивости вовсе не следует добиваться чрезмерных увеличений реактанса или соответственно импеданса нулевой по-

следовательности системы. Кривые рис. 1, заимствованные из работы Evans и Wright (Isacme effect of the unbalanced faults, El. Eng. 1931, г., июнь), показывают, что поддерживающий эффект реактанса и омического сопротивления нулевой последовательности особенно сильно сказывается при изменении $\frac{X_0}{X_1}$ и соответственно $\frac{R^0}{X_1}$ от 0 до 1. При изменении этих отношений от 1 до 4 поддерживающий эффект продолжает расти, но уже замедленно. Следовательно, с точки зрения динамической устойчивости желательно иметь указанные выше отношения в пределах не ниже единицы и совершенно излишне идти на значение их выше 4.

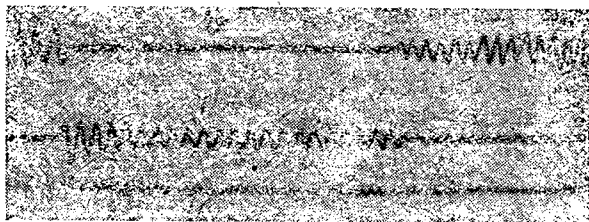


Рис. 7. Осциллограмма № 3. Однофазное короткое замыкание с мотором Щедрина.

Из этих же кривых видно, что при решении вопроса о величине заземляющего импеданса с точки зрения устойчивости следует, во-первых, исходить из общего импеданса нулевой последовательности системы, во-вторых, определять этот последний для короткого в таком месте системы, в котором короткое является наиболее тяжелым с точки зрения устойчивости. Как правило, наиболее тяжелое место короткого будет на одном из концов системы. Влияние места короткого хорошо видно из кривых рис. 2. Здесь представлены кривые качаний для одной и той же системы, но для различных мест короткого в этой последней. В данном случае наиболее тяжелым оказалось короткое в начале системы.

Однако в других случаях может оказаться наиболее тяжелым короткое в конце системы. На каком из концов системы передачи короткое окажется наиболее тяжелым, зависит от соотношений между мощностями присоединенных станций в начале и конце системы и их константами инерции.

Следовательно, вопрос выбора заземляющего импеданса должен решаться на основе тщательного анализа устойчивости данной проектируемой или существующей системы.

Второе средство—искусственное увеличение реактанса обратной последовательности системы. Для этой цели может

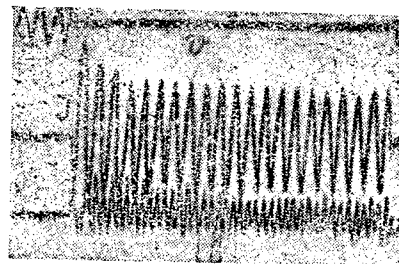


Рис. 8. Осциллограмма № 4. Однофазное короткое замыкание без мотора Щедрина.

быть использована схема, предложенная инж. Щедриным. Основой этой схемы—асинхронный мотор, являющийся электрическим продолжением генераторов системы. Роторная обмотка этого мотора коротко замкнута, статорная же обмотка присоединяется к разведенным концам нейтрали генератора (см. схему рис. 3).

Таким образом статорный ток генератора циркулирует и в статорной обмотке асинхронного двигателя. Концы статорной обмотки асинхронного двигателя и генератора присоединены так, что образующееся при нормальной работе и трехфазном коротком замыкании после асинхронного двигателя вращается в направлении, обратном вращению ротора. Число оборотов ротора равно числу оборотов вращающегося магнитного поля, т. е. при нормальной работе асинхронный двигатель имеет скольжение 200%. При таком скольжении асинхронный двигатель будет представлять лишь незначительный дополнительный импеданс $\left(\frac{r_2}{2} + x_2 + x_1\right)$ для токов прямой последовательности как для асинхронных (например трехфазном коротком замыкании, так и нормальных режимов системы (см. рис. 3а). При

возникновении в системе всякого рода асимметричных коротких замыканий (токи которых содержат в себе составляющую обратной последовательности) асинхронный мотор, включенный по схеме Щедрина, будет играть роль гасительного фильтра для токов обратной последовательности. Это явствует из того, что токи обратной последовательности создадут в асинхронном моторе поле, вращающееся синхронно с ротором, т. е. скольжение для этого поля будет равно нулю и таким образом асинхронный двигатель для токов обратной последовательности представит сопротивление, равное импедансу холостого хода мотора (250—300%). Лабораторией высоковольтных сетей ВЭИ проделан ряд опытов со схемой Щедрина. Испытания велись на лабораторной установке, схема которой представлена на рис. 4. Генератор грузился на реостат, а различные виды короткого замыкания устраивались с помощью 3 однополюсных рубильников А.

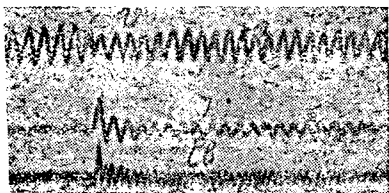


Рис. 9. Осциллограмма № 5. Двухфазное короткое замыкание с мотором Щедрина.

Для суждения об эффекте схемы Щедрина одни и те же опыты выполнялись в двух схемах с мотором и без мотора Щедрина при одних и тех же значениях тока и напряжения на клеммах генератора до короткого замыкания. Во всех опытах напряжение и ток осциллографировались в поврежденной фазе согласно схемы рис. 4. Осциллограммы 1 и 2 показывают изменение напряжения и тока возбуждения генератора при трехфазном коротком замыкании соответственно: с мотором и без мотора Щедрина (Осциллограммы 1 и 2 на рис. 5 и 6).

Сравнение этих осциллограмм показывает, что мотор Щедрина на трехфазный ток короткого замыкания никакого влияния не оказывает, что и следовало ожидать. Осциллограммы №№ 3 и 4 (см. рис. 7 и 8) дают изменение тех же величин при однофазном коротком замыкании. Из сравнения явствует снижающее действие мотора Щедрина на ток однофазного короткого замыкания.

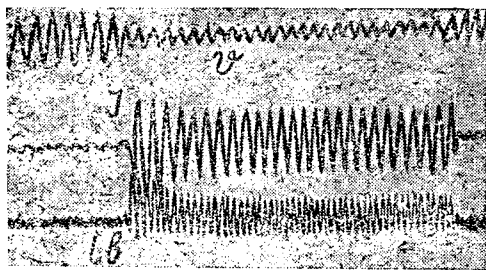


Рис. 10. Осциллограмма № 6. Двухфазное короткое замыкание без мотора Щедрина.

В кривой тока возбуждения осциллограммы 4 ясно видны наведенные токи обратной последовательности двойной частоты, которые в осциллограмме 3 погашены благодаря присутствию в цепи мотора Щедрина. Еще больший гасительный эффект мотора Щедрина виден из осциллограмм 5 и 6 (см. рис. 9 и 10) при двухфазном коротком замыкании. По сравнению с предыдущим случаем здесь отсутствует составляющая нулевой последовательности в токах короткого замыкания, на которую мотор Щедрина не реагирует. С удалением места короткого от генераторов с мотором Щедрина гасительный эффект последних на ток короткого замыкания быстро падает. Это объясняется тем, что с ростом удаленности места короткого замыкания удельный вес асинхронного реактанта мотора Щедрина в общем реактансе системы уменьшается. Кривые рис. 11, построенные по экспериментальным данным, показывают зависимость кратности снижения установившегося тока короткого замыкания от коэффициента удаленности для двухфазного и трехфазного короткого замыкания; снижающий эффект мотора Щедрина при трехфазном коротком замыкании следует отнести за счет его реактанта обратной последовательности (x_2 , $\text{АСМ} = 15\%$).

При прочих равных условиях чем больше мощность асинхронного мотора, тем больше его снижающий эффект на установившийся ток короткого замыкания.

Из рис. 12 явствует, что снижающий эффект мотора Щедрина на установившиеся токи короткого замыкания получается значительным лишь при мощности мотора, равной половинной мощности генераторов, с которыми он связан. Мотор Щедрина, снижая токи короткого замыкания, оказывает благодаря этому поддерживающий эффект на динамическую устойчивость.

На рис. 13 представлены результаты расчета динамической устойчивости системы, изображенной на рис. 14; длина линии передачи изменялась от 100 до 400 км. расчеты велись одновременно с мотором и без мотора Щедрина. Как видно из

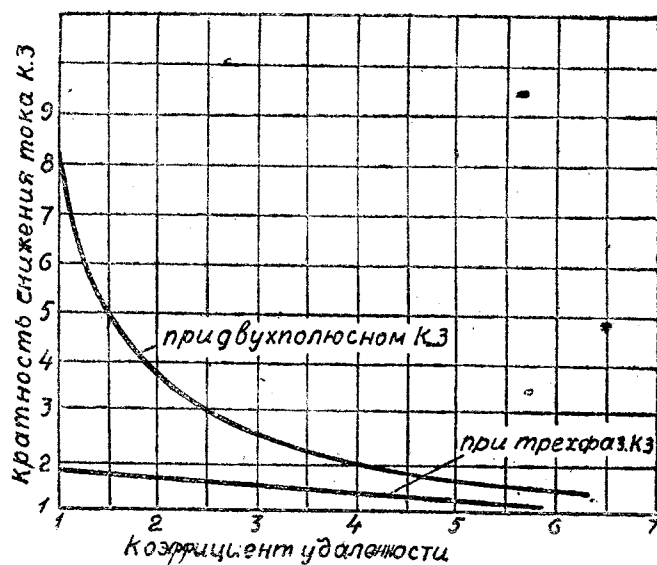
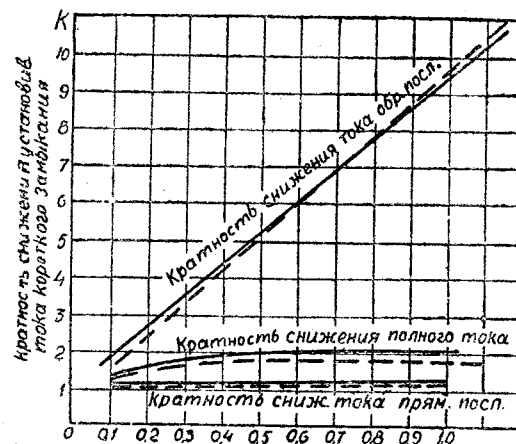


Рис. 11. Кратность снижения установившегося тока короткого замыкания в зависимости от коэффициента удаленности, полученная по экспериментальным данным.

кривых фиг. 13, мотор Щедрина оказывает существенный эффект на повышение динамической устойчивости. Причем при неизменном месте короткого замыкания на высоковольтных шинах станции чем больше длина линии передачи, тем больший поддерживающий эффект мотора на устойчивость. В рассмотренном случае кратность увеличения коэффициента запаса динамической устойчивости системы увеличивается с длиной линии передачи от 2 до 6 раз, при изменении длины линии передачи от 100 до 400 км.



Мощность мотора в долях мощности генератора
— Авария на шинах станции (коэф. удал. = 1.06)
--- " " подстанции (" " = 1.18)

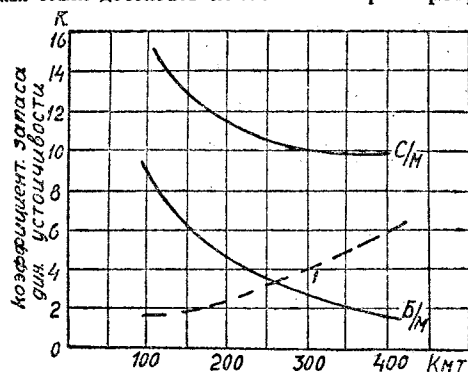
Рис. 12. Снижение величины установившегося тока короткого замыкания

Схема коммутации и устойчивости

Здесь мы рассмотрим следующие вопросы:

1. Влияние реакторов.
2. Секционирование линий.
3. Различные схемы включения на параллельную работу машин и станций с точки зрения устойчивости.

Влияние реакторов на устойчивость по мере роста мощности станций и объединения на параллельную работу на общие шины ряда таких мощных станций, близко расположенных друг от друга (например станций крупных промышленных и хозяйственно-политических центров), разрывные мощности, а также термические и электродинамические действия токов короткого замыкания в таких установках стали достигать колоссальных размеров, и вполне есте-



зависимость коэф. „К“ от длины линии

Рис. 13. Зависимость коэффициента К от длины линии.

ственно, возник вопрос об ограничении этих последних. С этой целью отдельные крупные агрегаты, а также и отдельные станции стали присоединять на общие шины не посредственно, а через реакторы. При выборе величины реактанта этих реакторов и схемы их включения проектирующие организации руководствовались не только соображениями ограничения указанных выше действий токов короткого замыкания, но и поддержания напряжения на здоровых секциях.

При создании таких реактивных связей между отдельными секциями системы, естественно, возникает вопрос об устойчивости их параллельной работы. Существуют три основные схемы включения реакторов: а) включение реакторов в цепь главного тока (вслед за генераторами или на отходящих фидерах — рис. 15а), в) включение реакторов по системе Скотта (рис. 15 в) и с) включение реакторов в рассечку шин между секциями (рис. 15 с).

Реакторы двух последних схем размещены на пути лишь уравнивающих токов, которые возникают всякий раз, когда между секциями происходит обмен энергией, причем этот последний может быть обусловлен как нормальным перераспределением нагрузки между секциями, так и аварией на одной из секций.

Первая схема (рис. 15а), которая применялась преимущественно в практике средних установок, является эффективной в отношении ограничения токов короткого замыкания и не вызывает никаких опасений об устойчивости между генераторами одной и той же станции. Однако устойчивость между генераторным и приемным концом системы ухудшается благодаря тому, что реакторы находятся на пути главного тока и тем самым увеличивают общий реактанс системы. Эта схема в мощных установках применяется почти исключительно для защиты отходящих фидеров.

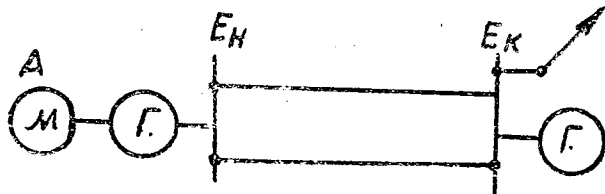


Рис. 14.

Остается рассмотреть схемы „в“ и „с“ (см. рис. 15в и 15с). Если мощность приключенных генераторов секции А в точности соответствует мощности, отбираемой с шин этой секции, и то же самое имеет место для секции В, то никакого обмена энергией между секциями не существует, уравнивающий ток $I_{ур} = 0$, а напряжения на шинах секции „А“ и „В“ равны по величине и фазе.

При нарушении симметрии между нагрузкой и приключенной мощностью генераторов на одной из секций, или на обоих вместе (будет ли это вызвано повреждением или обычным коммутаторным прессом) между генераторами секций „А“ и „В“ возникает обмен энергией.

Через реактансы машин и реакторов потекут уравнивающие токи, и напряжения секций А и В разойдутся по фазе. Изменяет фазное положение и внутренние э. д. с. генераторов отдельных секций (рис. 16).

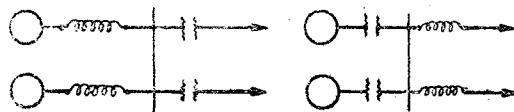


схема „а“ (включение реакторов в цепь главного тока)

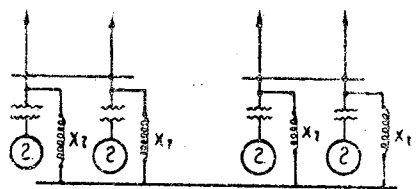


Схема „в“ (схема Скотта)

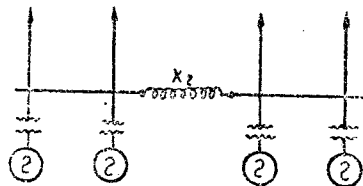


Рис. 15. Схема А—включение реакторов в цепь главного тока, схема В—схема Скотта, схема С—включение реактора в рассечку шин.

Формула для угла между внутренними э. д. с. генераторов секций А и В напишется:

$$\theta = \arcsin \frac{I_A X_A + \left(X_A + \frac{X_r}{2}\right) I_{ур}}{E_A} - \arcsin \frac{I_B X_B - \left(X_B + \frac{X_r}{2}\right) I_{ур}}{E_B} \quad (2)$$

где:

X_r — реактанс реакторов,
 X_A — реактанс генераторов секции А,
 X_B — реактанс генераторов секции В,
 I_A — ток, отдаваемый генераторами секции А,
 I_B — ток, отдаваемый генераторами секции В,
 $I_{ур}$ — уравнивающий ток (генераторный для секции А и моторный для секции В).

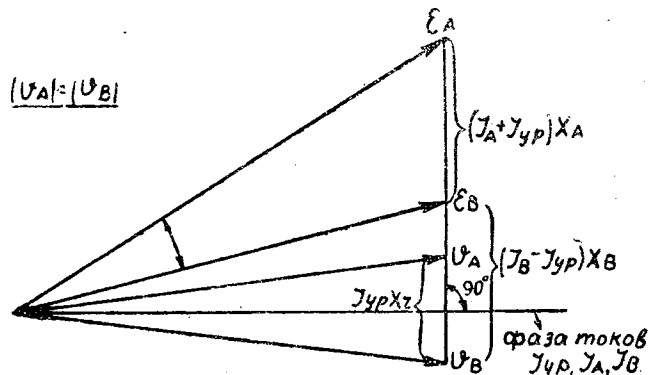


Рис. 16.

Из формулы (2) видно, что при всех прочих равных условиях угол θ тем больше, чем больше X_r .

Эта формула без дальнейшего анализа позволяет заключить, что при резких нарушениях в системе, которые по своему влиянию на отдельные секции резко асимметричны (например, короткое замыкание на шинах одной из секций), между генераторами различных секций возникнут колебательные процессы, при этом амплитуда этих колебаний при прочих равных условиях тем больше, чем больше реактансы

реакторов X_r . Кроме этого, при некотором соотношении между величиной реактансов X_r , X_d , X_B с возникновением аварии на одной из секций генераторы могут выйти из синхронизма.

Однако все предыдущие исследования влияния реакторов на устойчивость параллельной работы секций органичивались лишь приближенными грубыми оценками: как, допустимой величины реактанса реакторов, так и самой схемы выключения. Совершенно открытыми оставались такие вопросы, как: 1) окончательное и аналитически обоснованное суждение о выгоде с точки зрения устойчивости той или иной из двух схем B и C ; 2) количественная оценка влияния величины реактанса на устойчивость в той или другой схеме; 3) влияние асимметрии в установленной мощности секций и связанный с этим вопрос, на какой из секций, одна и та же авария будет наиболее тяжелой с точки зрения устойчивости параллельной работы секций и 4) влияние связей секционированной установки с остальной системой. Все эти вопросы получили свое разрешение в работе лаборатории высоковольтных сетей ВЭИ¹.

Секционирование линий передачи. При больших длинах передача разбивка их на ряд секций путем устройства вдоль линии переключательных постов может значительно увеличить устойчивость, в особенности в соединении с быстродействующим выключением. Дело в том, что при длинных линиях передачи реактанс линии составляет значительную часть в общем реактансе системы и оказывает весьма существенное влияние на предел передаваемой мощности. При этом простое выключение одной из цепей линий передачи полностью может уже повести к тяжелым условиям для устойчивости. Благодаря разбивке линии на секции коммутационное или аварийное выключение на линии можно свести к выключению лишь одной из секций цепи, условия устойчивости при этом будут значительно облегчены. Рассмотрим для примера систему передачи, длина двухцепной линии которой равна 1000 km.

Реактанс линии составит $X_d = 208 \Omega$ (на обе цепи), выключение одной из цепей увеличило бы реактанс системы на 208Ω . Разобьем теперь ту же линию на 10 участков по 100 km в каждом. В данном случае выключение одного из участков увеличило бы реактанс системы только на $20,8 \Omega$, и выключение не повлекло бы за собой сколько-нибудь заметного колебания в системе, тогда как в первом случае колебания были бы весьма значительны.

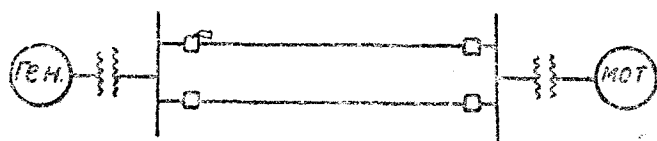


схема 1

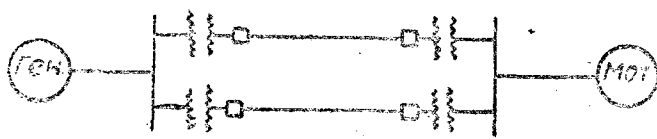


схема 2

Рис. 17.

Секционирование линии при коротких замыканиях на самой линии, вообще говоря, утяжеляет ток короткого замыкания, а следовательно, ухудшает условия устойчивости до выключения короткого замыкания. Однако, имея в виду, что при анализе устойчивости приходится рассматривать короткие замыкания вблизи начала или конца линии передачи как наиболее тяжелые условия для устойчивости, то в данном случае увеличение токов короткого замыкания из-за секционирования будет ничтожно, а следовательно, ничтожно будет и отрицательное влияние секционирования на устойчивость до выключения короткого замыкания.

Параллельная работа на высоком и низком напряжении с точки зрения устойчивости. Рассмотрим здесь две основные схемы включения на параллельную работу—схему 1 и схему 2. Обе они с точки зрения устойчивости имеют свои преимущества и недостатки.

Предположим, что схемы 1 и 2 представляют одну и ту же систему передачи (рис. 17). При возникновении на линии короткого замыкания условия для устойчивости для схем 1 и 2 различны. Толчок в системе от короткого замыкания будет сильнее при схеме 1, так как ток короткого замыкания и общий аварийный реактанс системы будут больше, чем при схеме 2. Следовательно, условия устойчивости будут тяжелее для схемы 1. После выключения короткого замыкания положение с точки зрения устойчивости изменится в пользу схемы 1, так как для нее общий реактанс системы после выключения короткого замыкания будет меньше. Чем короче линия передачи и меньше число цепей и время выключения

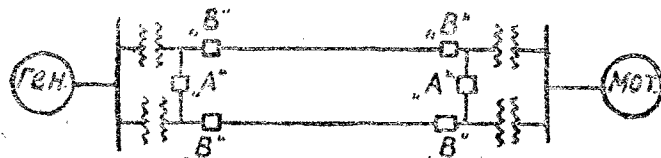


схема 3.

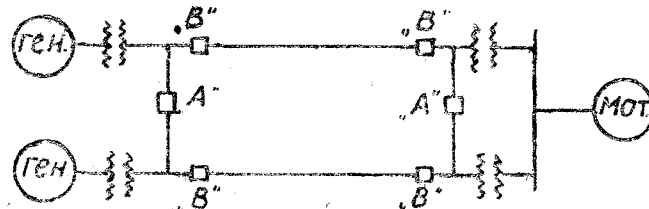


Рис. 18.

короткого замыкания, тем сильнее сказывается преимущество первой схемы и, наоборот, чем длительнее время выключения и больше длина и число цепей линии передачи, тем выгоднее вторая схема. Практически, однако, имея в виду, что в современных сложных системах быстродействующее выключение становится основным требованием обеспечения бесперебойности работы, преимущество будет всегда за первой схемой. Заслуживает быть отмеченной также схема 3 (рис. 18).

Эта последняя объединяет в себе преимущества первой и второй схем и не страдает недостатками ни одной из них. Достигается это двумя добавочными выключателями A . Нормально и при возникновении короткого замыкания в системе эти выключатели разомкнуты, т. е. фактически имеем схему 2. При отключении поврежденной цепи выключатели A замыкаются одновременно с размыканием выключателей B поврежденной цепи (выключатели A заблокированы с выключателями B) и тем самым позволяют использовать преимущества схемы 1.

Особенно выгодно будет применение выключателей A для схемы 4 (рис. 18), когда генератор, трансформаторы и линия представляют одно целое, а параллельная работа осуществляется на низковольтной стороне приемного конца системы. При этой схеме еще сильнее проявляются преимущества схемы 2, и в то же время она не лишена преимуществ схемы 1. Следует, конечно, оговориться, что последние две схемы дороже, чем первые две, и вообще окончательный выбор той или иной схемы будет в значительной мере обуславливаться соображениями нормального электрического расчета и экономикой. Проектирующий инженер должен, однако, всегда учитывать особенности приведенных выше схем коммутации с точки зрения устойчивости и при прочих равных условиях отдавать предпочтение той из них, которая наилучшим образом отвечает требованиям последней.

Однофазный резерв

Значительных выгод с точки зрения непрерывности работы больших передач и их динамической устойчивости при асимметричных коротких замыканиях можно достигнуть устройством для линии передачи однофазного резерва. При возникновении в системе асимметричного короткого замыкания эта резервная фаза должна автоматически включаться взамен поврежденной фазы вслед за отключением этой последней. Чем короче этот процесс переключения, тем больше эффект автоматического резерва на динамическую устойчивость.

Современные быстродействующие выключатели и реле позволяют выполнить процесс переключения в течение 0,15—0,25 сек. Такая быстрая ликвидация аварии с восстановлением полной пропускной (при однофазных коротких замыка-

¹ Опубликована в журн. Эл-во № 14, 1931 г.

ниях) способности системы позволит весьма значительно поднимать динамический предел мощности системы, не прибегая к другим средствам искусственного поддержания устойчивости. Имея же в виду, что значительный процент аварий по американской статистике аварий (75%) падает на однофазное короткое замыкание на линиях передачи, то однофазный автоматический резерв является весьма эффективной мерой в повышении надежности работы системы. Сам по себе автоматический резерв является наиболее здоровой мерой повышения устойчивости в системе, не связанной с увеличением в этой последний тока короткого замыкания, как это имеет место при использовании в качестве искусственного средства поддержания динамической устойчивости синхронных компенсаторов с ударным возбуждением. Следует также подчеркнуть еще одно ценное свойство автоматического резерва, а именно: при однофазных коротких замыканиях автоматический резерв исключает необходимость выключения поврежденной линии и тем освобождает систему от необходимости перераспределения мощностей между станциями в невыгодное для этого время. Устройство однофазного автоматического резерва как средства повышения устойчивости в системах необходимо подвергнуть дальнейшей технической и экономической разработкам. Настоящая работа вошла в план работы лаборатории высоковольтных сетей ВЭИ.

Эффект быстродействующего выключения

Быстродействующее выключение является наиболее эффективной мерой повышения динамической устойчивости системы. На сегодня в этой области достигнуты значительные успехи. Крупные фирмы Америки ОЕС и Вестингауз разработали особый тип быстродействующих (high speed) выключателей и реле, с помощью которых продолжительность нахождения короткого в системе может быть сведена до 0,15—0,2 сек. Работа в этой области продолжается весьма интенсивно, главным образом, в Америке, и есть основания полагать, что время выключения без особых затруднений и удорожания аппаратуры может быть сведено до 0,1 сек. Следует иметь в виду, что быстродействующее выключение является желательным не только с точки зрения устойчивости. Чем быстрее выключается короткое замыкание, тем меньше шансов на разрушительные последствия этого последнего на провода и изоляторы. Кроме этого быстрое выключение является лучшей мерой предотвращения развития аварии из одной, сравнительно легкой, ее формы в другую, более тяжелую.

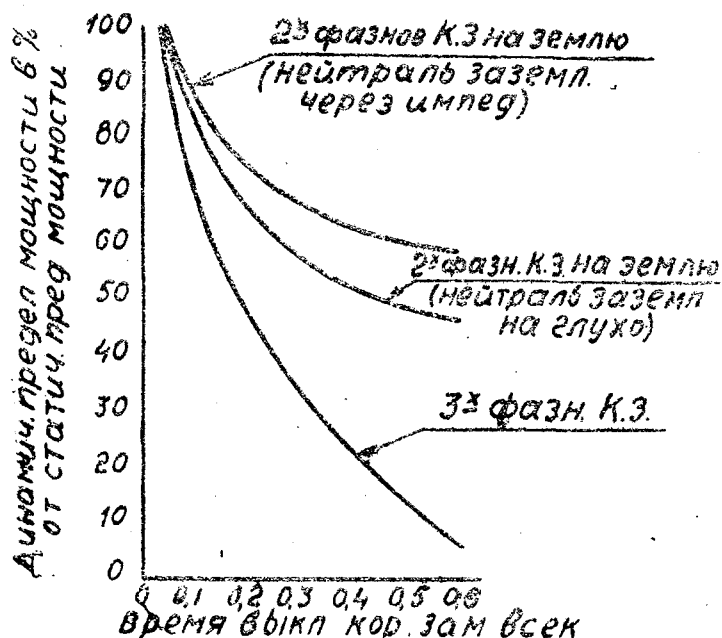


Рис. 19. Влияние быстродействующего выключения на динамический предел мощности системы.

Насколько может быть велик эффект быстродействующего выключения, можно судить из кривых рис. 19. Если, например, сравнить два времени выключения—0,2 сек. и 0,5 сек., то, допуская, что при $t=0,5$ сек. двухфазное короткое замыкание может перейти в трехфазное короткое замыкание, а выключение через 0,2 сек. исключает эту возможность, — выигрыш в процентах от быстродействующего выключения в данном частном случае достигнет 130%, т. е. динамический предел мощности системы увеличится почти в два с половиной раза. Однако если бы упомянутого перехода двухфазного ко-

роткого замыкания в трехфазное не имело места, то эффект от быстродействующего выключения все же был бы весьма значительным. В данном случае он составляет 40—50%.

Эффект быстродействующего возбуждения

Общезвестно, что короткое замыкание в системах переменного тока почти всегда сопровождается резким возрастанием реактивных токов в системе. Эти токи, протекая по обмоткам генераторов, оказывают размагничивающее действие на главный полюс машины и уменьшают синхронизирующий момент между началом и концом системы. Процесс этот (реакция якоря) благодаря наличию магнитной инерции (связь потока с обмоткой возбуждения) происходит не сразу, а с некоторой конечной скоростью, что позволяет воздействовать на него извне. Поддержание неизменным магнитного потока в воздушном зазоре и, в особенности, его увеличение при коротких замыканиях значительно повышают динамический предел мощности системы. С этой целью применяются автоматические быстродействующие регуляторы напряжения и быстродействующее возбуждение. Главный фактор, определяющий эффективность быстродействующего возбуждения, — это скорость подъема напряжения на клеммах возбудителя. В последних конструкциях возбудителей с ударным возбуждением скорость подъема возбуждения достигает порядка 6000—7000 В/сек¹. Однако и такие скорости возбуждения американцы считают допустимыми лишь для синхронных компенсаторов. Для генераторов же они считают приемлемыми скорости порядка 250—400 В/сек. Дело в том, что при чрезмерных скоростях возбуждения и, в особенности, при больших потолках самого напряжения возбуждения по выключению аварии напряжение генераторов может оказаться настолько большим, что в генераторах возникнут еще более сильные колебания, чем имели место до выключения аварии, и система может выпасть из синхронизма.

Следует признать, что вопрос о наивыгоднейших скоростях и потолках возбуждения, а также о длительности действия быстродействующего возбуждения на систему требует еще своего разрешения. Вопрос о роли ударного возбуждения в синхронных компенсаторах будет рассмотрен более подробно в главе о передаче энергии по системе Баума.

Эффект демпферных обмоток

За последнее время демпферному устройству генераторов и, в особенности, гидрогенераторов, уделяется много внимания как в теоретических работах², так и при конструировании новых типов машин. Как на пример новой конструкции можно сослаться на гидрогенераторы последней американской установки „Fifteen Miles Falls“, которые являются первыми гидрогенераторами, снабженными демпферным устройством и притом с двойной обмоткой—высокого и низкого сопротивления.

Теория и устройство обыкновенных демпферных обмоток достаточно хорошо изложены в общих и специальных курсах машин. Поэтому здесь мы рассмотрим лишь их эффект на динамическую устойчивость.

Общезвестно, что обычные демпферные обмотки (медные с низким сопротивлением) оказывают демпферное действие на колебания синхронных машин, т. е. они уменьшают амплитуду и продолжительность этих колебаний. Этот эффект основан на принципе электромагнитной индукции. Дело в том, что всякие колебания синхронных машин сопровождаются относительным перемещением между ее ротором и магнитным потоком в воздушном зазоре. При перемещении магнитный поток наводит в демпферной обмотке токи, которые и создают демпферный момент, генераторный или моторный, в зависимости от того, ускоряется ли ротор машины или он замедляется. Описанный эффект с точки зрения устойчивости является, безусловно, положительным. Однако не всегда дело ограничивается одним лишь этим эффектом. Всякий раз, когда в системе возникают асимметрические короткие замыкания, в машине образуется поле обратной последовательности. В связи с этим возникает второй, уже отрицательный, эффект демпферной обмотки, а именно: демпферная обмотка оказывает размагничивающее действие на поле обратной последовательности машин. Уменьшение это связано с увеличением в системе токов короткого замыкания, а следовательно, с утяжелением условий для динамической устойчивости. По литературным данным³ уменьшение реактанса обратной последовательности может достигнуть порядка 25—40%. Как явствует из кривых рис. 20, построенных для частного случая (но вполне типичного), изображенного на том же рисун-

¹ Возбуждение синхронных конденсаторов системы Соповинго.

² C. F. Wagner, Damp Windings. A. I. E. E. Transaction, 1931 г., март.

³ Boothland Dahl, Power System Stability, Gen. El. Rev., 1931 г., февраль.

ке, результирующий эффект низкоомной демпферной обмотки зависит, главным образом, от времени выключения короткого замыкания. В данном случае для времени выключения до 0,1 сек.—эффект положительный, свыше 0,1 сек.—эффект отрицательный, т. е. практически при достигнутых на сегодня скоростях выключения в 0,2—0,25 сек. эффект низкоомной демпферной обмотки будет отрицателен. Из кривых рис. 20 также ясно, что эффект демпферной обмотки с низким сопротивлением на динамическую устойчивость вообще незначителен в ту и другую стороны. При всем этом она все же желательна и почти всегда применяется в турбогенераторах как средство для быстрого затухания свободных колебаний синхронных машин, возникающих не только при асимметрических коротких замыканиях, но и при обычных коммутационных процессах и резких толчках нагрузки. Следует еще раз под-

черкнуть, что соотношения, получаемые по кривым рис. 20, действительны лишь для частного случая, изображенного на схеме рис. 20, ибо на результирующий эффект рассматриваемой демпферной обмотки будут влиять как род короткого замыкания, так и его коэффициент удаленности. При всем этом приведенный пример все же является наиболее удачным для оценки низкоомной демпферной обмотки с точки зрения динамической устойчивости.

Совершенно отличной по своему принципу действия является демпферная обмотка с высоким сопротивлением. В противоположность низкоомной демпферной обмотке ее положительный эффект основан почти исключительно на образовании в машине поля обратной последовательности, и благодаря этому она может быть рассматриваема как одна из специальных мер повышения динамической устойчивости. Эта обмотка делается из материала с высоким удельным сопротивлением и, одновременно помещаясь почти целиком в воздухе, обладает незначительной индуктивностью.

При возникновении в машине поля обратной последовательности последнее наводит в демпферной обмотке токи, которые, протекая по цепи с высоким омическим сопротивлением, вызывают увеличение потерь в системе ($I^2 R$) и благодаря этому оказывают тормозящий эффект на качание генераторов.

Как явствует из кривой рис. 20, чем больше время выключения короткого замыкания, тем больше поддерживающий эффект демпферной обмотки на устойчивость при прочих равных условиях. При определенном значении R потери от токов обратной последовательности достигают своего максимума, после чего дальнейшее увеличение R вызывает уже их уменьшение. Практически, имея в виду, что R не может быть взят слишком большим из-за опасности перегрева машин, а также, что время выключения во всех отношениях желательно брать наивозможно малым, количественный выигрыш от применения демпферной обмотки с высоким сопротивлением невелик. Так например, (рис. 20) при $t=0,25$ сек. она повышает динамический предел мощности всего лишь на 4—5%.

Большого эффекта, повидимому, можно достигнуть от комбинации демпферной обмотки с высоким и низким сопротивлениями.

Как было указано вначале, это устройство впервые выполнено в гидрогенераторах "Fifteen Miles Falls". Обмотка низкого сопротивления полностью помещается в железе ротора и обладает очень высокой индуктивностью для токов двойной частоты. Обмотка высокого сопротивления, наоборот, помещена целиком в воздушном зазоре и обладает ничтожной индуктивностью. Так как обмотки электрически связаны, шунтируя одна другую, то токи двойной частоты почти целиком протекают в обмотке высокого сопротивления.

По выключении короткого замыкания, наоборот, вступает в действие обмотка с низким сопротивлением, создавая демп-

ферный момент. Результирующий эффект двойной демпферной обмотки будет складываться из двух положительных факторов: 1) увеличения потерь в системе благодаря наличию высокоомной демпферной обмотки (этот фактор действует до выключения короткого замыкания) и 2) демпферного момента, создаваемого обмоткой с низким сопротивлением после выключения короткого замыкания. Благодаря разгрузке низкоомной демпферной обмотки от токов двойной частоты ее размагничивающий эффект на поле обратной последовательности значительно уменьшается, а следовательно, будет сведен почти на-нет ее отрицательный эффект на динамическую устойчивость.

Отсутствие расчетных и экспериментальных данных делает невозможным окончательное суждение о количественном эффекте двойной демпферной обмотки на устойчивость. По всей вероятности выигрыш не будет превышать 7—8%. По своей эффективности она значительно уступает быстродействующему выключению и заземлению нейтрали через импеданс.

Регуляторы первичных двигателей

Современная нормальная конструкция регуляторов первичных двигателей основана на скоростном принципе. Чувствительность этих регуляторов, в особенности для гидротурбин, весьма низкая. Они выступают в действие только при определенном, сравнительно высоком изменении в скорости, причем сами по себе они весьма инерционны. Благодаря этому между изменением в скорости и действием этих регуляторов требуется время, равное от одного до двух полных циклов качания машин.

Благодаря этой инерционности, нормальные регуляторы при анализе устойчивости не принимаются во внимание, т. е. мощность, отдаваемая первичным двигателем, принимается неизменной.

Если бы, однако, и потребовалось учитывать их действие, то это легко осуществимо при наличии известных характеристик зависимости от мощности скорости и собственного времени регуляторов. Здесь следует отметить весьма интересные опыты по регуляторам первичных двигателей на Скантонской станции в Америке. Эти опыты показали, что станция, выпавшая при аварии из синхронизма, может снова автоматически войти в синхронизм в результате действия регуляторов первичных двигателей, прекращающих их доступ пара в машины при выпадении последних из синхронизма. Кроме этого, были проделаны опыты со специальным устройством для регулирования впуска пара в машины, которые вступали в действие от специальных электрических реле и обеспечивали плавное следование мощности первичных двигателей за отдаваемой электрической мощностью при аварии. В результате их действия генераторы, ранее выпавшие из синхронизма (при аварии двухфазное короткое на высоковольтных шинах станции), продолжали устойчиво работать на остальную систему.

Эти опыты являлись многообещающими. Устройство специальных аварийных регуляторов первичных двигателей, приходящих в действие от электрических реле, с плавным и быстрым следованием выпуска пара за изменением в отдаваемой электрической мощности генераторов, позволит значительно поднять динамический предел мощности системы, приближая его к статическому пределу мощности, и избавит от применения других дорогостоящих специальных мер повышения динамической устойчивости.

Проблема малоинерционных регуляторов первичных двигателей, автоматически управляемых от электрических реле, заслуживает форсированной конструктивной разработки и экспериментальной проверки на действительных системах. Эта работа вошла в план работы БЭИ на 1932 г.

К анализу устойчивости в сложных системах

Анализ устойчивости сложных систем со многими станциями и с различными видами нагрузок качественно не вносит чего-либо нового по сравнению с анализом устойчивости простых систем. Однако благодаря тому, что все звенья такой сложной системы в своем поведении при аварии взаимно связаны, расчет их устойчивости весьма сложен и кропотлив. В целях облегчения подобных расчетов приходится прибегать к целому ряду упрощений в действительной сложной системе, приводя ее к более простой, но статически эквивалентной системе. Все эти упрощения связаны с ошибкой, которая может достигать иногда настолько больших значений, что при анализе устойчивости сложных систем с упрощениями и без упрощений могут получиться кардинально различные результаты.

Наиболее частые упрощения в системе—это замена нагрузки постоянным импедансом-шунтом и приведение станций к нагрузкам с эквивалентной станцией.

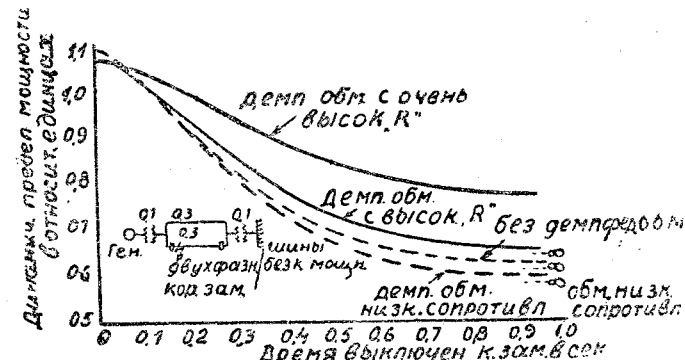


Рис. 20. Влияние демпфирующих устройств гидрогенератора на динамический предел мощности (авария двухфазного короткого замыкания) системы в зависимости от времени выключения короткого замыкания.

черкнуть, что соотношения, получаемые по кривым рис. 20, действительны лишь для частного случая, изображенного на схеме рис. 20, ибо на результирующий эффект рассматриваемой демпферной обмотки будут влиять как род короткого замыкания, так и его коэффициент удаленности. При всем этом приведенный пример все же является наиболее удачным для оценки низкоомной демпферной обмотки с точки зрения динамической устойчивости.

Совершенно отличной по своему принципу действия является демпферная обмотка с высоким сопротивлением. В противоположность низкоомной демпферной обмотке ее положительный эффект основан почти исключительно на образовании в машине поля обратной последовательности, и благодаря этому она может быть рассматриваема как одна из специальных мер повышения динамической устойчивости. Эта обмотка делается из материала с высоким удельным сопротивлением и, одновременно помещаясь почти целиком в воздухе, обладает незначительной индуктивностью.

При возникновении в машине поля обратной последовательности последнее наводит в демпферной обмотке токи, которые, протекая по цепи с высоким омическим сопротивлением, вызывают увеличение потерь в системе ($I^2 R$) и благодаря этому оказывают тормозящий эффект на качание генераторов.

Как явствует из кривой рис. 20, чем больше время выключения короткого замыкания, тем больше поддерживающий эффект демпферной обмотки на устойчивость при прочих равных условиях. При определенном значении R потери от токов обратной последовательности достигают своего максимума, после чего дальнейшее увеличение R вызывает уже их уменьшение. Практически, имея в виду, что R не может быть взят слишком большим из-за опасности перегрева машин, а также, что время выключения во всех отношениях желательно брать наивозможно малым, количественный выигрыш от применения демпферной обмотки с высоким сопротивлением невелик. Так например, (рис. 20) при $t=0,25$ сек. она повышает динамический предел мощности всего лишь на 4—5%.

Большого эффекта, повидимому, можно достигнуть от комбинации демпферной обмотки с высоким и низким сопротивлениями.

Как было указано вначале, это устройство впервые выполнено в гидрогенераторах "Fifteen Miles Falls".

Обмотка низкого сопротивления полностью помещается в железе ротора и обладает очень высокой индуктивностью для токов двойной частоты. Обмотка высокого сопротивления, наоборот, помещена целиком в воздушном зазоре и обладает ничтожной индуктивностью. Так как обмотки электрически связаны, шунтируя одна другую, то токи двойной частоты почти целиком протекают в обмотке высокого сопротивления.

По выключении короткого замыкания, наоборот, вступает в действие обмотка с низким сопротивлением, создавая демп-

Рассмотрим первое упрощение. В наших сетях доминирующей силовой нагрузкой являются асинхронные моторы. Замена этой нагрузки шунтом постоянного импеданса может внести при некоторых условиях значительные искажения в поведении системы при аварии.

При возникновении в системе короткого напряжение на клеммах асинхронных моторов снизится. Активная мощность, забираемая ими из сети, в первый момент уменьшится пропорционально квадрату изменения напряжения. Следовательно, в первый момент шунт с постоянным импедансом, замещающий асинхронные моторы, в точности воспроизводит поведение нагрузки. Однако в дальнейшем благодаря наличию

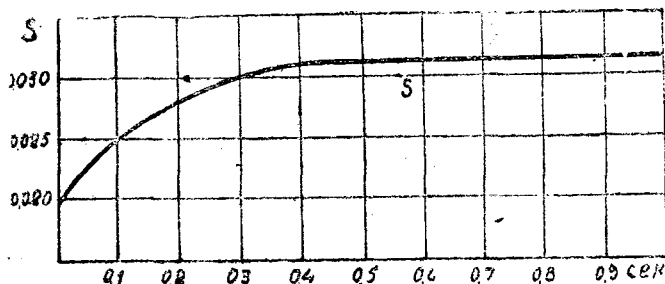


Рис. 21.

отрицательного избыточного момента на роторе асинхронного мотора (механическая нагрузка на валу двигателя остается в большинстве случаев неизменной), последний начнет тормозиться, скольжение увеличивается и, как показывает рис. 21, мощность их спустя 0,2—0,3 сек. значительно возрастает. Напряжение за этот период (если не выключено короткое) практически останется неизменным, и шунт постоянного импеданса уже не будет эквивалентом для замещаемых им моторов. Лабораторией высоковольтных сетей в настоящее время разработан точный способ расчета устойчивости системы с асинхронной нагрузкой¹. По этому способу асинхронная нагрузка благодаря учету всех ее характеристик в точности воспроизводится в продолжение всего периода колебаний в системе. В целях сопоставления результатов анализа устойчивости одной и той же системы, но с различным способом учета ее асинхронной нагрузки лабораторией были выполне-

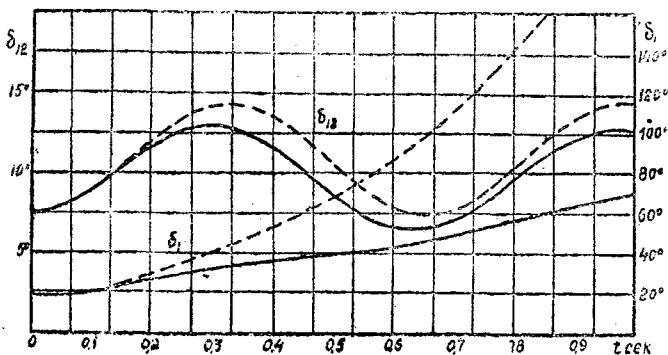


Рис. 22.

ны сравнительные расчеты. Так, на рис. 22 представлены результаты расчета качаний в системе рис. 23 при однофазном коротком на клеммах асинхронных моторов. Генераторные станции на обоих концах системы имеют одинаковую установленную мощность, но имеют различные константы инерции, а именно: первая гидростанция имеет $M_1=6$, а вторая тепловая $M_2=16$. На рис. 22 сплошные кривые изображают качание в системе при точном способе учета асинхронной нагрузки, пунктирные кривые дают то же качание, но при замене моторов шунтом постоянного импеданса.

В последующих расчетах была просчитана устойчивость той же самой системы, но константа инерции первой станции была принята равной 15, а короткое двухфазное на клеммах мотора, т. е. связь между станциями при аварии, еще более ослаблено, чем в первом случае, соответствующие кривые качаний представлены на рис. 24.

Из кривых рис. 22, 24 явствует, что ошибки от замены моторов шунтом постоянного импеданса могут получиться

значительной величины, причем ошибка может варьироваться не только по величине, но и по знаку, в зависимости от соотношений между реактансами и константами инерций в системе. В первом случае (кривая рис. 22) замена нагрузки постоянным импедансом утяжелила условия устойчивости, а во втором (рис. 24) случае та же замена обусловила более легкие условия для устойчивости, чем это имеет место в действительности в обоих случаях.

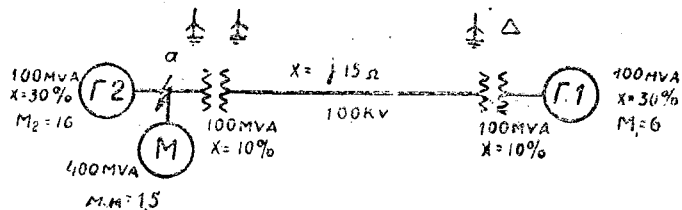


Рис. 23.

Абсолютная величина ошибки всякий раз будет определяться соотношениями реактансов и константами инерций в системе и временем выключения короткого. Последнее особенно важно для тяжелых аварий, сопровождающихся сильным падением напряжения у нагрузки, когда промедление с выключением короткого может повести к остановке моторов, последнее в некоторых случаях может повести к дальнейшему ухудшению устойчивости, а сама замена нагрузки шунтом постоянного импеданса внесет еще большее искажение в действительное поведение системы при аварии.

Следует отметить, что разработанный лабораторией точный способ учета асинхронной нагрузки при расчетах устойчивости является очень сложным и едва ли может быть использован для практических целей. Предстоит дальнейшая разработка более упрощенных и вместе с тем достаточно точных способов.

Второй распространенный способ упрощения при расчетах устойчивости сложных систем—это приведение станций и нагрузок к одной эквивалентной станции. Мы уже отмечали, что не всякие приведения могут быть допущены без ущерба в получении правильного ответа как об устойчивости системы, так и о необходимом времени выключения аварии. Основные положения, которыми следует руководствоваться при подобных приведениях, следующие: приведение станций к одной эквивалентной не вносит никакого искажения в поведении системы при аварии, когда: 1) приводимые станции имеют: а) одинаковые внутренние э. д. с. и в) одинаковые произведения константы инерции станции на импеданс участка от внутренних э. д. с. станции до узловых точки сети, общей для всех приводимых станций (рис. 25), т. е. $Z_1 M_1 = Z_2 M_2 = Z_3 M_3 = \dots$ 2) приводимые станции имеют не равные величины внутренних э. д. с. станций, но искажающее действие неравенства внутренних э. д. с. станций компенсируется имеющим место неравенством произведений $Z \cdot M$ приводимых станций. Причем для одной и той же станции большей внутренней э. д. с. должно соответствовать меньшее произве-

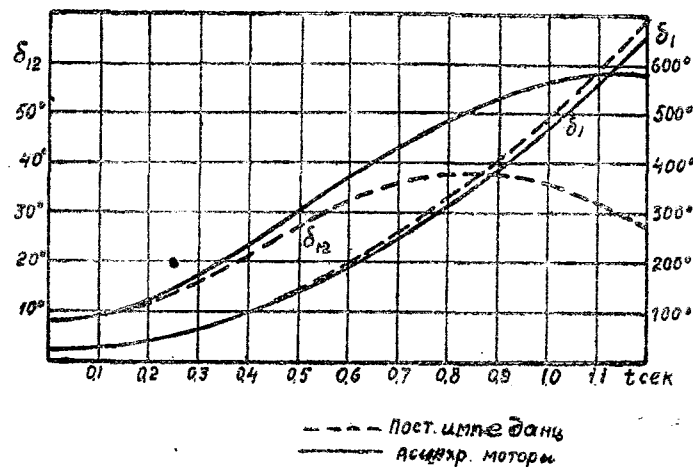


Рис. 24.

дение $Z \cdot M$. Следует заметить, что здесь не существует обратной пропорциональности между внутренней э. д. с. и произведением $Z \cdot M$. Различие во внутренних э. д. с. приводимых станций оказывает значительно больший искажающий эффект, чем различие $Z \cdot M$. Так например, при сравнитель-

¹ Работа опубликована в журнале "Электричество", № 14, 1931 г.

ных расчетах устойчивости одного частного случая для отношения внутренних э. д. с. $E_1/E_2 = 1,17$ компенсирующее отношение $\frac{Z_2 \cdot M_2}{Z_1 \cdot M_1} = 2$.

При одинаковых внутренних э. д. с. приводимых станций, но при отношении $\frac{Z_n M_n}{Z_m M_m} = 2-3$ приведение (особенно при удаленности короткого от приводимых станций) не повлечет за собой сколько-нибудь ощутительных искажений и может быть признано вполне допустимым. С ростом отношения $\frac{Z_n M_n}{Z_m M_m}$ искажающий эффект приведения увеличивается, и последнее в каждом отдельном случае должно быть тщательно продумано, а именно: должны быть учтены соотношение между внутренними э. д. с. приводимых станций, расположение места короткого, соотношение между константами инерции и

по которым должно идти кустование отдельных систем между собой, чтобы обеспечить в объединенной системе лучшие условия для устойчивости параллельной работы при авариях.

Проблема устойчивости сверхмощных передач на далекие расстояния

Как уже было отмечено выше, ЕЭС СССР будет включать в себя такие станции и передачи, которые по своей мощности и протяженности не имеют себе равных как среди существующих, так и проектируемых сверхмощных силовых систем Америки и Европы. Мощности гидростанций Ангара и Енисея будут порядка нескольких миллионов киловатт, а протяженность передач, которые будут связывать эти станции с потребителем, будет порядка 1000 и более километров. Несомненно, что такие сверхмощные станции и передачи ЕЭС будут являться чрезвычайно ответственными звеньями объединения, и поддержание их бесперебойной работы будет иметь первостепенное народнохозяйственное значение.

В то же время условия работы для мощных и длинных передач таковы, что их технический предел мощности близок к экономическому пределу мощности. Отсюда становится ясной вся важность проблемы устойчивости сверхмощных передач на далекие расстояния.

Технические трудности (например в части регулирования и устойчивости), связанные с созданием таких звеньев, настолько велики, что в порядок дня научно-исследовательской мысли помимо частных, узко технических проблем ставится ряд принципиальных вопросов, как-то: 1) передавать ли энергию переменным или постоянным током, 2) передавать ли энергию кабелем или воздушной линией.

В последующем изложении мы рассмотрим различные способы передачи энергии с точки зрения устойчивости параллельной работы.

Передача переменным током

Несмотря на недостатки и технические трудности, с которыми придется столкнуться при осуществлении сверхмощных и протяженных передач на переменном токе, все же этот род передачи является в настоящее время наиболее изведанным и испытанным и в смысле его готовности к использованию в ближайшие годы должен быть поставлен на первое место.

За последнее время все чаще и чаще стали появляться различные проекты передачи больших мощностей на большие расстояния (проекты Виеля, Шенгольцера, Оливена). В этих проектах доказывается возможность экономичной передачи мощности порядка миллиона киловатт и выше на расстояние более тысячи километров при напряжениях 400 и 600 kV. Однако следует иметь в виду, что эти проекты базируются, главным образом, на рассмотрении нормальных режимов работы таких передач и не содержат в себе достаточно обоснованных ответов в отношении их устойчивости при авариях.

Чтобы получить хотя бы грубую ориентировку в вопросе о предельных мощностях передачи, при которых эта последняя будет динамически устойчива без применения каких-либо специальных мер, лабораторией высоковольтных сетей ВЭИ была просчитана устойчивость ряда вариантов передачи, изображенной на рис. 26. Здесь генераторная станция работает на шины бесконечной мощности, посылая мощность по двум цепям передач. Шины бесконечной мощности, обладая свойством неизменяемости напряжения по величине и фазе при любых режимах работы и являясь по существу фикцией, применены в данном случае с целью максимального упрощения самого анализа.

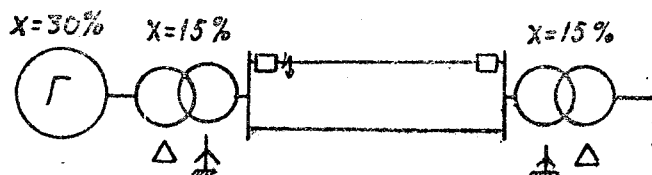


Рис. 26.

за и сосредоточения внимания именно на свойствах рассматриваемого звена системы. Ошибки, связанные с допущением шин бесконечной мощности, могут быть весьма различны как по величине, так и по знаку в зависимости от соотношения мощностей рассматриваемой станции и станций, работающих на шины бесконечной мощности.

Переменными в данной передаче были как ее мощность, так и длина, причем для всех вариантов установленная мощность соответствовала нормально передаваемой мощности, т. е. как станция, так и передача были загружены полностью. Напряжения передачи — 380 kV, перепада напряжения в линии — 15%; род аварии — однофазное короткое на высоковольтных шинах

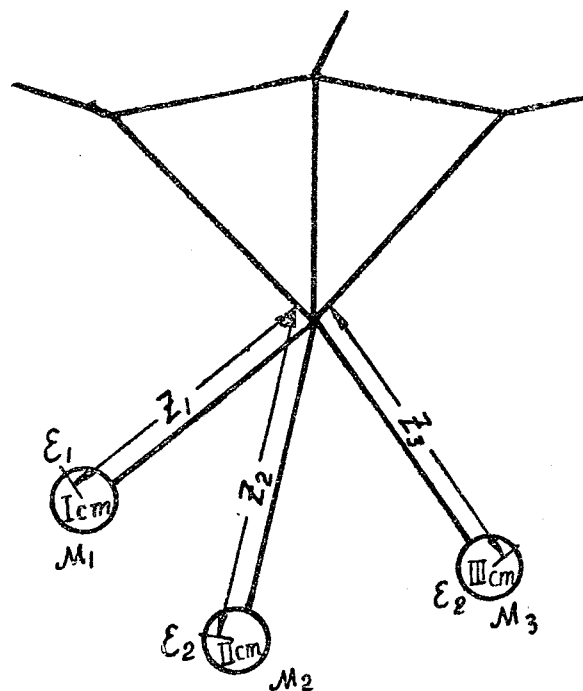


Рис. 25. Сложная сеть со многими станциями

импедансами приводимых станций и остальной системы. Последнее соотношение может сыграть весьма важную роль в допущении того или иного приведения. Дело в том, что на искажающий эффект приведения нескольких станций к одной эквивалентной остальная система будет также отзываться искажением своего поведения в большей или меньшей степени в зависимости от своих констант инерции и импедансов. При некоторых соотношениях между постоянными эквивалентной станции и остальной системы последняя будет оказывать значительный поправочный эффект на абсолютное искажение, вносимое самим приведением, благодаря чему результаты анализа устойчивости будут весьма близки к действительной картине, имеющей место при аварии. Этот вопрос в настоящее время разрабатывается в лаборатории высоковольтных сетей ВЭИ.

Следует избегать приведения станций, которые в своем поведении при аварии близки к пределу устойчивости.

Как правило, следует с особой осторожностью подходить к приведению станций и нагрузок между собой. Здесь имеет место резкое различие в величине напряжений и констант инерции.

Приведение станций и асинхронной нагрузки, в особенности при одинаковом порядке их мощности, влечет за собой значительные искажения.

Обширный материал, накопившийся в недрах лаборатории высоковольтных сетей ВЭИ по расчету устойчивости в сложных системах, позволяет сделать следующий вывод: всякие упрощения, связанные с заменой нагрузок шунтом с постоянным импедансом и приведением отдельных станций и нагрузок к одной эквивалентной станции, следует производить на основе тщательного изучения самой системы соотношений между реактантами и инерциями отдельных частей этой последней на основе предвидения поведения отдельных станций в системе при аварии и предварительной оценки удельного веса искажающих это поведение ошибок от тех или иных упрощений в системе. Этот же материал указывает ряд путей,

станций (во всех последующих расчетах имеется в виду система с глухо заземленной нейтралью). Следует заметить, что при шинах бесконечной мощности выбранное место короткого на линии является наиболее тяжелым для устойчивости (низкий реактанс отрицательной и нулевой последовательностей и сильное снижение напряжения прямой последовательности см. рис. 27). Предельная мощность определялась для различного времени выключения поврежденной цепи. Устойчивость определялась методом площадей. Во всех случаях коэффициент запаса устойчивости принимался равным единице. Результаты расчетов представлены на рис. 28. Здесь на оси ординат отложена предельная мощность передачи, она же установленная мощность станции.

Из кривых видно, насколько сильно снижается предельная мощность передачи с ростом длины передачи и времени выключения (так для минимального, практически надежного времени выключения $t = 0,25$ сек. предельная мощность при $l = 200$ км. равна 1 175 МВт, а при $l = 400$, она равна 530 МВт; при тех же длинах но $t = 0,5$ сек. мощности соответственно будут 1 000 и 440 МВт).

Как было оговорено выше, эти результаты могут служить лишь грубой ориентировкой для суждения о возможностях обычной передачи переменным током (без применения каких-либо специальных мер для поддержания устойчивости).

При а) более тяжелой аварии (междуфазовое, двухфазное на землю), в) меньшем перепаде напряжения в линии, с) шинах с конечной мощностью (в некоторых случаях), условия для устойчивости были бы тяжелее, а предельная мощность при всех прочих равных условиях еще ниже. С другой стороны, увеличение числа цепей и напряжения передачи при прочих равных условиях значительно увеличило бы предельные мощности передачи. Некоторые из перечисленных факторов в виду сложности их влияния на устойчивость следует рассмотреть более подробно.

Некоторые авторы проектов сверхмощных передач на большое расстояние полагают, что напряжение в начале и конце таких передач должно быть одинаковым, т. е. что передача будет нормально работать с перепадом напряжения $\Delta E = 0$. Это требование мотивируется как экономическими соображениями, так и возможностью обмена энергией в обоих направлениях.

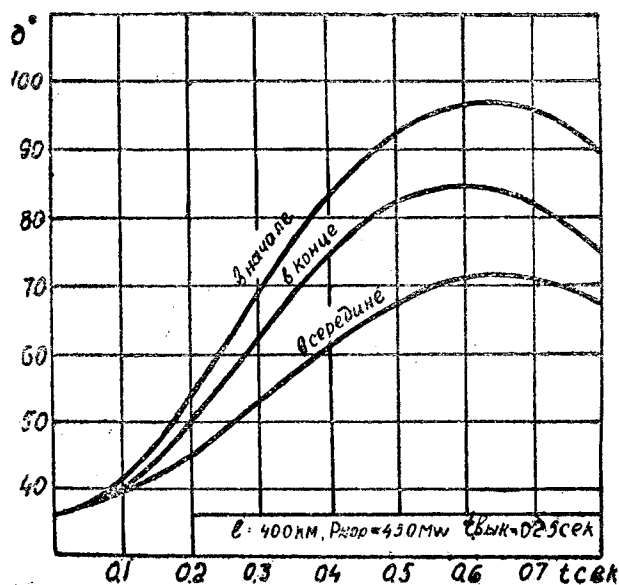


Рис. 27.

Однако, как показали исследования этого вопроса с точки зрения устойчивости, работать с перепадом напряжения $\Delta E = 0$ или, что то же самое, с $\cos \varphi_{\text{передачи}} = 1$ весьма невыгодно.

Насколько сильно влияние перепада напряжения на устойчивость, видно из кривой рис. 29. Кривые дают зависимость предельной мощности от времени выключения для одной и той же длины и напряжения передачи ($l = 200$ км и $V = 380$ кВ), но верхняя кривая определена при перепаде напряжения $\Delta E = 15\%$, а нижняя при $\Delta E = 0$. Из этих кривых явствует, что даже при небольшой разнице в перепаде эффект его на устойчивость весьма значителен. Этот эффект тем больше, чем меньше установленная мощность станции, так как при одном и том же напряжении передачи величина реактанса генераторов и трансформаторов обратно пропорциональна их мощности

($X_{\text{ген}} (\text{тр.р.}) = \frac{10 \cdot E^2 \cdot X\%_{\text{ген}} (\text{тр.р.})}{P_{\text{уст}}}$), и емкостные токи, которые протекают в обмотках генератора и трансформатора

при работе передачи с $\cos \varphi = 1$, оказывают тем большее размагничивающее действие на магнитный поток в воздушном зазоре, чем меньше установленная мощность машин и трансформаторов. На рис. 30 показана зависимость внутренних э.д.с. для передачи рис. 26 при перепаде $\Delta E = 0$. Таким образом с точки зрения устойчивости выгодно работать с коэф-

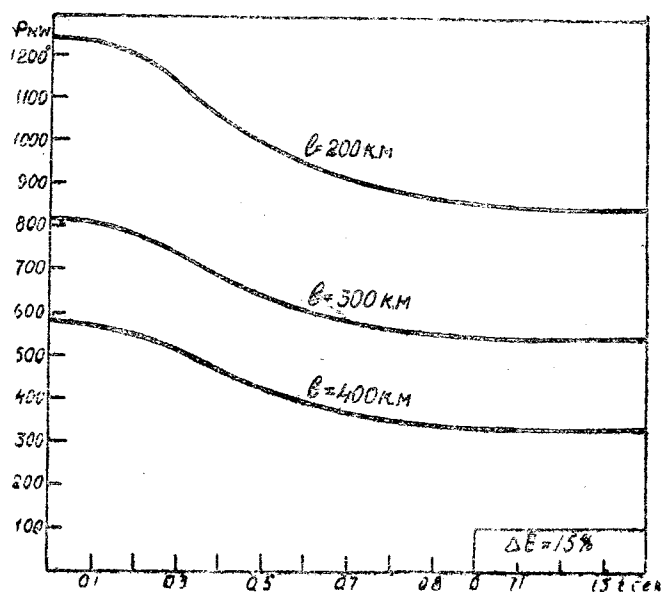


Рис. 28.

фициентом мощности передачи, меньшим единицы. Незначительные отклонения от $\cos \varphi = 1$, оказывая значительный улучшающий эффект на устойчивость параллельной работы, и то же время не смогут сильно ухудшить условия регулирования и к. п. д. передачи.

Величина напряжения передачи может весьма значительно влиять на предельную мощность системы. Его влияние возрастает с увеличением мощности и расстояния передачи. Это легко объяснить, пользуясь основной формулой для мощности системы $\frac{E_1 E_2}{x_c} \cdot \sin \theta$, где E_1 и E_2 — напряжения начала и конца системы; x_c — реактанс системы и θ — угол между E_1 и E_2 .

Из этой формулы явствует, что мощность возрастает пропорционально квадрату напряжения и обратно пропорционально реактансу системы. В реактансе системы наряду с линией входят реактансы генераторов и трансформаторов, величина

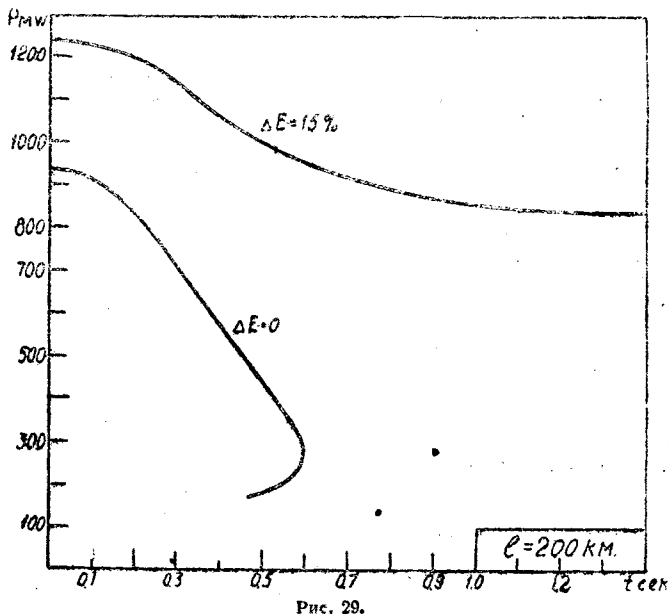


Рис. 29.

которых возрастает также пропорционально квадрату напряжения, реактанс же линии почти не зависит от напряжения. С возрастанием мощности и расстояния передачи удельный вес реактанса линии в общем реактансе системы растет.

В сверхмощных передачах на далекие расстояния реактанс линии будет играть преобладающую роль в определении пропускной способности системы, и так как он не зависит от на-

пряжения, то увеличением последнего можно будет значительно поднять предельную мощность системы. Следует, однако, сделать оговорку о возможном ухудшении условий для устойчивости при более высоком напряжении передачи, обусловленном особенностями некоторых режимов работы системы в нормальных условиях. Дело в том, что с ростом напряжения передачи растет пропорционально этому последнему емкостный ток линии. Он может оказаться настолько большим, что при некоторых условиях в отношении характера нагрузки (синхронные моторы), ее величины и коэффициента мощности в различные периоды эксплуатации передача будет работать с опережающим $\cos \varphi$. Величина внутренних э.д.с. генераторов при неизменном напряжении в конце системы при опережаю-

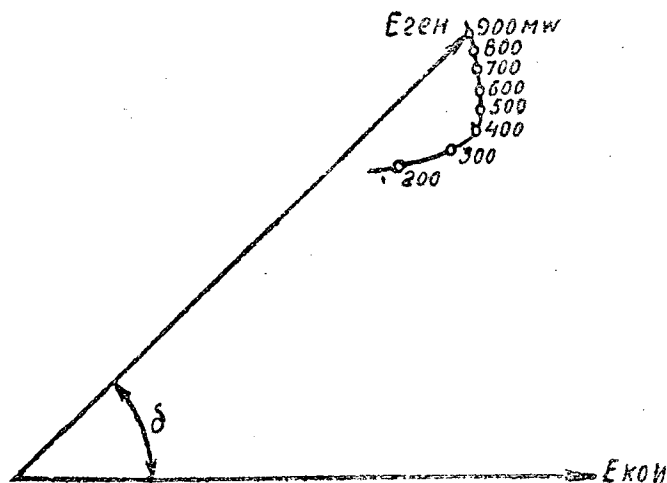


Рис. 30.

щем $\cos \varphi$ будет весьма низкой, и предельная мощность системы может оказаться ниже таковой при меньшем напряжении передачи.

Следует признать, что вопрос о наивыгоднейшем напряжении для сверхмощных передач на большие расстояния с точки зрения устойчивости не получил еще своего разрешения. Исследования ведутся, главным образом, с ориентировкой на напряжение в 330—400 кВ как на ближайшую реально осуществимую ступень с точки зрения изоляции и аппаратуры. Так как, однако, напряжение 400 кВ не может рассматриваться лимитом возможности создания изоляции и аппаратуры на сверхвысокие напряжения, то вопрос о наивыгоднейшем напряжении будущих сверхмощных передач на далекие расстояния должен быть подвергнут исследованию.

С увеличением числа цепей передачи ее предельная мощность также может быть значительно увеличена. Однако для увеличения числа цепей существует предел, свыше которого предельная мощность системы при прочих равных условиях уменьшается.

Это объясняется тем, что увеличение числа цепей связано с двухсторонним эффектом, а именно: с уменьшением реактанса системы и с увеличением ее емкости. Первый фактор действует в сторону увеличения, а второй в сторону уменьшения предела мощности.

Начиная с некоторого предельного числа цепей, преобладающим фактором становится эффект емкости и предел статической мощности системы с увеличением числа цепей уменьшается. Как видно из кривых рис. 31, этот предел для числа цепей передачи — при одном и том же ее напряжении и длине тем выше, чем больше установленная мощность синхронных машин системы. Это опять-таки объясняется тем, что чем больше установленная мощность генераторов и трансформаторов, тем меньше их реактанс, а значит, тем меньше снижающий эффект емкости на э.д.с. генераторов.

Для устранения неблагоприятного влияния емкостного тока при больших его значениях приходится прибегать к параллельному присоединению дроссельных катушек.

Ограниченность естественных возможностей для увеличения предела мощности, а также трудности регулирования и экономика заставили искать более совершенного решения проблемы передачи переменным током больших мощностей на большие расстояния. Одним из наиболее удачных решений упомянутых трех вопросов для передачи переменным током явилась передача энергии по принципу Баума. Основное в схеме Баума — промежуточные подстанции с синхронными компенсаторами, расположенные вдоль линии на некотором расстоянии друг от друга. По первоначальному замыслу самого Баума, предложенному им в 1921 г., эта схема должна была дать лишь наиболее совершенное решение вопросов регулирования в сверхмощных передачах на большие расстояния.

Однако передача по принципу Баума позволяет значительно увеличить динамический предел мощности системы и к. п. д. передачи.

Дело в том, что промежуточные подстанции с синхронными компенсаторами, нормально используемые для целей регулирования напряжения и улучшения $\cos \varphi$ передачи, при аварии могут (при известных условиях) служить прекрасным средством для поддержания напряжения в месте их установки. В идеальном случае при бесконечной мощности промежуточных подстанций с синхронными компенсаторами напряжение в месте их установки поддерживалось бы неизменным при любых условиях работы системы. Это позволило бы с точки зрения устойчивости рассматривать вместо прежней системы с большой длиной передачи ряд отдельных систем с небольшими, произвольно выбираемыми участками передачи между двумя соседними промежуточными подстанциями. При конечной мощности синхронных компенсаторов, даже при ударном способе их возбуждения, этого делать, как будет видно из дальнейшего, нельзя, ибо напряжение на шинах промежуточных подстанций во время аварии не остается неизменным.

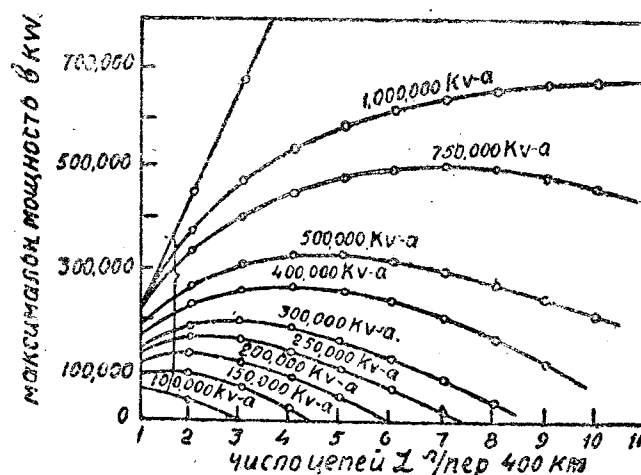


Рис. 31. Зависимость статического предела мощности линий передач от числа цепей для ряда чл-х установленных мощностей генератора. Длина линий 400 км, напряжение 220 кВ.

Для суждения об экономичности передачи по принципу Баума по сравнению с обычной передачей приводим ниже таблицу, заимствованную из доклада Фортегского на II Мировой энергетической конференции. В этой таблице сопоставлен ряд вариантов передачи одной и той же мощности, длины и ее напряжения, но с различным числом цепей и промежуточных подстанций.

Угол между напряжениями начала и конца системы во всех случаях одинаков.

Таблица II

Передача энергии 800 MW на расстоянии 500 км

Длина секции в км	Число промежуточных подстанций	Число цепей	Стоимость проводов в долл.	Нагрузка на цепь в MW	Стоимость опор в долл.	Полная мощн. конд. в MVA	Стоимость конд. в долл.	Полная потеря в MW	Стоимость потерь в долл.	Капитализиров. потери в долл.	Полная стоимость в долл.
500	0	8	6 700 000	100	41 726 000	384	5 750 000	36,3	1 590 000	10 060 000	6 377 610*
250	1	4	8 200 000	200	20 863 000	400	6 000 000	31,6	1 380 000	9 200 000	4 426 310*
167	2	4	8 200 000	200	20 863 000	386	5 790 000	31,44	1 372 000	9 170 000	4 402 310*
125	3	4	8 200 000	200	20 863 000	366	9 490 000	31,0	1 356 000	9 050 000	4 360 010*

Как явствует из таблицы, четвертый вариант передачи с тремя промежуточными подстанциями является наиболее экономичным. Эта таблица сама по себе мало говорит о преимуществах передачи по принципу Баума с точки зрения устойчивости, но она свидетельствует о том, что, несмотря на увеличение числа промежуточных установок вдоль линий, все же общая стоимость передачи не выше, а ниже стоимости прямой передачи или передачи с меньшим числом промежуточных подстанций.

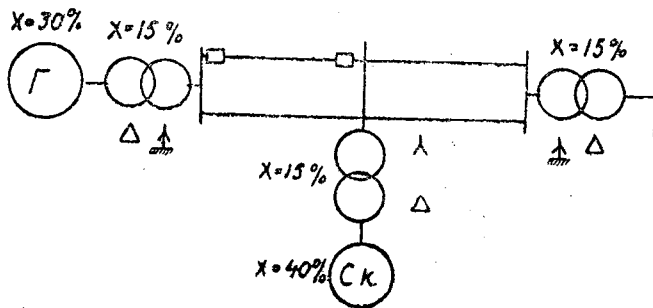


Рис. 32.

Однако несомненно, что существует определенный предел возрастания числа промежуточных подстанций, выше которого стоимость передачи будет возрастать при прочих равных условиях.

Ценным материалом для суждения о возможности передачи энергии по системе Баума с точки зрения устойчивости является работа лаборатории высоковольтных сетей ВЭИ по исследованию синхронных компенсаторов с ударным возбуждением как средства искусственного поддержания динамической устойчивости системы. На результатах этой работы мы и остановимся более подробно.

Все расчеты, связанные с исследованием промежуточных синхронных компенсаторов, велись на примере передачи, изображенной на рис. 32. Здесь генераторная станция работает на шины бесконечной мощности по двум цепям передачи и с одной промежуточной подстанцией синхронных компенсаторов,

расположенной по середине линии. Нормально синхронные компенсаторы работают вхолостую ($P_{\text{реакт}} = 0 \cos \varphi_{\text{нагр}} = 1$). Переменными являлись мощность и длина передачи, установленная мощность синхронных компенсаторов и их способ возбуждения. Для первой серии расчетов устойчивости с промежуточной подстанцией были приняты следующие данные: длина передачи $l = 600$ км, мощность $P = 600$ MW, мощность синхронных компенсаторов менялась от 0 до ∞ ; возбуждение синхронных компенсаторов нормальное и ударное, со скоростью подъема возбуждения на клеммах возбuditеля 7000 V/sec. и потолком напряжения 1000 V. Схема ударного возбуждения изображена на рис. 33. Такое возбуждение применено для синхронных компенсаторов, установленных в 220 kV системе Ковнинго (САСИИ). Генераторы рис. 32 приняты с быстродействующим возбуждением, со скоростью подъема 250 V/sec. Авария: однофазное короткое на высоковольтных шинах станции 1. Результаты сравнительных расчетов устойчивости для синхронных компенсаторов с ударным и нормальным возбуждением представлены на рис. 34. Здесь по оси ординат отложены в относительных единицах в верхней части активная мощность синхронных компенсаторов, а в нижней части — активная мощность станции, отдаваемые ими за период качаний; по оси абсцисс отложены в обоих случаях угол между внутренними э. д. с. генераторной станции и напряжением шин бесконечной мощности. Начальный угол 56° соответствует нор-

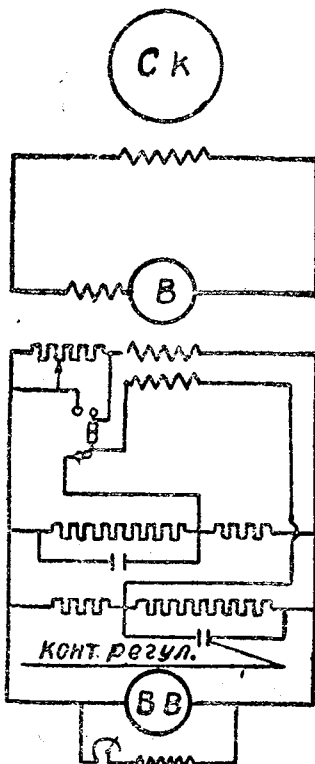


Рис. 33.

мальной работе системы. Анализ устойчивости велся методом площадей.

Время выключения всюду принималось равным 0,5 сек. (момент выключения отмечен резким переходом по вертикали на кривых мощности против угла). Как видно из нижних кривых, при прямой передаче (кривая a $P_{\text{син комп}} = 0$) и при передаче с промежуточной подстанцией с установленной мощностью синхронных компенсаторов в 120% от нормальной мощности станции, но с нормальным возбуждением, система выпадает из синхронизма (кривая β). При установленной мощности $P_{\text{син комп}} = \infty$ система остается в синхронизме, имея

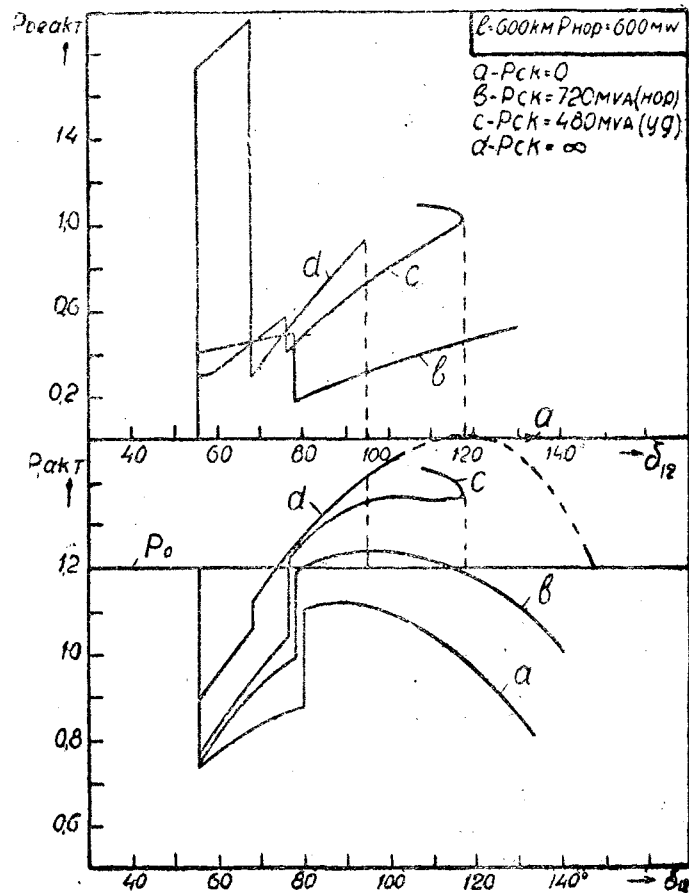


Рис. 34.

сравнительно небольшой коэффициент запаса устойчивости (ср. площади, ускорения и замедления соответственно ним и выше линии нормальной мощности генераторов). Таки образом синхронные компенсаторы при нормальном возбуждении должны быть признаны мало эффективным средством для поддержания устойчивости. Объясняется это тем, что при подобном возбуждении синхронные компенсаторы обладают весьма низкой отдачей реактивной мощности в течение всего периода колебаний, даже при установленной мощности в 120% от мощности передачи (см. верхние кривые рис. 34). Отдача реактивной мощности резко возрастает лишь при мощностях, близких к бесконечности. Таким образом при практически мыслимых мощностях синхронные компенсаторы с нормальным возбуждением не способны эффективно поддерживать напряжение при аварии даже на своих клеммах и значит, и их роль в поддержании устойчивости малозаметна.

Совершенно иное имеет место при применении в синхронных компенсаторах дополнительно к нормальному ударному возбуждения, вступающего в действие при аварии. Насколько резко меняется картина при ударном возбуждении, можно судить, сопоставляя прежние кривые a , β и γ с кривой δ рис. 34. Эта кривая определена для установленной мощности $P_{\text{син комп}} = 480$ MVA с ударным возбуждением 7000 V/sec. В данном случае благодаря ударному возбуждению система осталась в синхронизме даже при $P_{\text{син комп}} = 80\%$ от мощности станции. Характеристики ударного возбуждения представлены на рис. 35. Из этих последних видно, что в течение 0,25 сек. напряжение возбуждения достигло почти своего наивысшего значения, обеспечивая быстрое нарастание отдачи реактивной мощности с синхронным компенсатором. Действие ударного возбуждения продолжалось до момента выключения короткого, после чего оно было выключено.

синхронный компенсатор возбуждался с нормальной скоростью. Дальнейшие исследования показали, что чем более равномерно размещена мощность синхронных компенсаторов вдоль общего реактанса системы, тем больше их поддерживающий эффект на устойчивость. Кривые рис. 35 подтверждают это положение. Они построены для передачи той же мощности, что и в предыдущем примере ($P_{\text{передачи}} = 600 \text{ MW}$), но уже при $l = 800 \text{ км}$. Синхронные компенсаторы поровну размещены в двух пунктах передачи, которые делят общий реактанс системы (включая и реактанс генераторов) приблизительно на

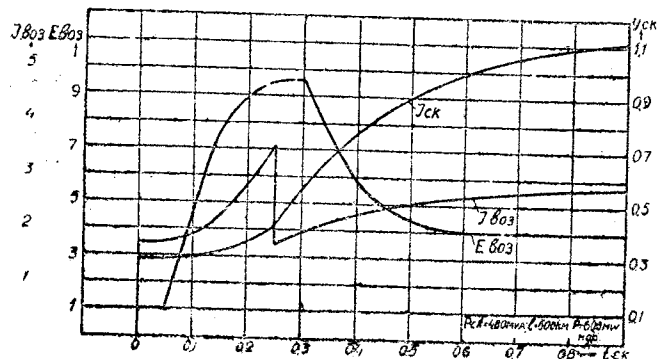


Рис. 35.

равные части. Одна из кривых соответствует синхронным компенсаторам в 480 MVA, с ударным возбуждением, т. е. условия в отношении их мощности и возбуждения совершенно одинаковы с таковыми для предыдущего примера (кривая с рис. 27) с $l = 60 \text{ км}$, другая кривая соответствует синхронным компенсаторам в 560 MVA с нормальной скоростью возбуждения. Сопоставляя эти кривые с кривыми рис. 28, нетрудно убедиться в большей эффективности синхронных компенсаторов при данном расположении их мощности. На основании этих сравнительных данных можно полагать, что дальнейшее подразделение одной и той же мощности синхронных компенсаторов вдоль общего реактанса системы дало бы еще более лучшее их использование для устойчивости.

В заключение следует остановиться еще на одном весьма важном факторе, влияющем на поддерживающий эффект синхронных компенсаторов с ударным возбуждением, а именно предварительная нагрузка синхронных компенсаторов реактивной мощностью при нормальной работе. Этот вопрос, к сожалению, еще недостаточно исследован лабораторией 1, но, судя по ряду литературных данных, предварительная (до момента короткого) нагрузка синхронных компенсаторов больше чем на 25–30% снижает их поддерживающий эффект на устойчивость даже при ударном возбуждении.

Итог вышесказанного может быть сведен к следующему выводу. Синхронные компенсаторы с ударным возбуждением являются весьма эффективной мерой искусственного поддержания динамической устойчивости при условии, что их предварительная нагрузка реактивной мощностью при нормальной работе не превышает 25–30% от их номинальной мощности. Таким образом если синхронные компенсаторы одновременно предназначаются как для целей широкой регуляции, так для искусственного поддержания устойчивости в системе, то они должны выбираться по соображениям устойчивости, при этом может быть всегда обеспечено соотношение между нормальной нагрузкой синхронных компенсаторов и их номинальной мощностью.

Общее заключение о передаче переменным током

Выше мы рассмотрели ряд специальных мер, направленных на поддержание устойчивости параллельной работы в системах при авариях. Попробуем дать их оценку с двух наиболее важных точек зрения, а именно: с точки зрения их эффективности как мер искусственного поддержания устойчивости и с точки зрения их влияния на токи короткого замыкания. Наиболее эффективными мерами искусственного поддержания устойчивости должны быть признаны: 1) быстрота отключения от сети повреждения, 2) синхронные компенсаторы с ударным возбуждением, 3) секционирование линий передачи, 4) автоматический резерв (однофазный или трехфазный) линий передачи, 5) схема Шедрина, 6) импеданс заземления, 7) аварийное регулирование впуска пара от специальных электрических ле.

В дальнейшей работе по исследованию передачи энергии по принципу этот вопрос будет подвергнут исследованию.

Рассмотрим эти же меры с точки зрения их влияния на токи короткого замыкания. Пункт 1 ясен сам по себе, он лишь утяжеляет работу выключающих аппаратов, пункт 2 при прочих равных условиях увеличивает величину токов короткого замыкания и, таким образом, идет в разрез с требованиями ограничения токов короткого замыкания в мощных сетях.

Пункты 5 и 6 должны быть признаны наиболее совершенными, ибо, являясь эффективными в поддержании устойчивости, они одновременно оказывают снижающий эффект на величину асимметричных токов короткого замыкания. Пункты 3 и 4 сами по себе являются вполне здоровой мерой повышения динамической устойчивости.

Особое место занимает пункт 7. Если удастся создать такую схему аварийного управления впуском пара, что мощность первичного двигателя будет достаточно быстро следовать за электрической мощностью генераторов при любых нарушениях в системе, то этим средством можно будет ограничиться как единственным наиболее радикальным средством поддержания устойчивости. В этом случае время выключения аварии уже не будет играть никакой роли с точки зрения устойчивости.

Некоторые из перечисленных выше мер поддержания устойчивости в системе не являются еще окончательно исследованными и опробованными экспериментально и в условиях эксплуатации. Предстоит дальнейшая разработка: 1) особых схем аварийного управления впуском пара первичных двигателей, 2) демпфирующих устройств в генераторах и синхронных двигателях, 3) конструкций для схемы Шедрина, 4) быстродействующих регуляторов возбуждения и возбудителей с ударным возбуждением, 5) поведения системы передачи, работающей по принципу Баума (со многими промежуточными подстанциями) при авариях, 6) конструкций реле и выключателей с большими скоростями действий, 7) методики расчета динамической устойчивости в сложных системах со многими станциями.

Кроме того, следует иметь в виду, что некоторые из перечисленных выше мер, будучи эквивалентными по своему поддерживающему характеру на устойчивость параллельной работы в системе, могут весьма различаться в их стоимости. Проектирующий инженер в каждом отдельном случае должен найти наиболее совершенное решение как с технической, так и экономической стороны. Следовательно, необходимо произвести ряд сравнительных технико-экономических исследований указанных выше мер.

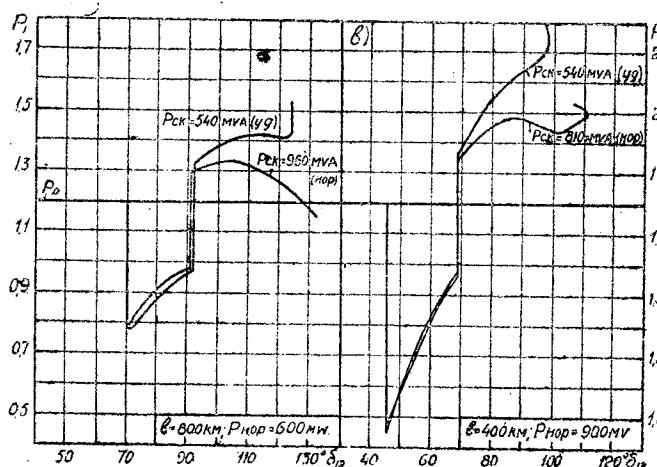


Рис. 36.

При решении вопроса—кабель или воздушная линия—следует иметь в виду, что с точки зрения устойчивости или, вернее, с точки зрения бесперебойной работы системы преимущество за кабелем.

Как показывает статистика аварий, опубликованная на II Международной энергетической конференции, число аварий в кабельных линиях в 3–5 раз меньше аварий воздушных линий. Кабель, обладая естественной защищенностью от электрических и механических перенапряжений, возникающих в воздушных линиях из-за атмосферных условий, должен быть особенно рекомендован как надежное средство передачи для наших условий с местностями, изобилующими грозами и с образованием гололеда. Он, естественно, решает также вопрос своей собственной военной обороноспособности и тем самым значительно усиливает обороноспособность страны в целом.

Кроме того, кабель обладает меньшим волновым сопротивлением, чем воздушная линия, и, следовательно, большей пропускной способностью по сравнению с этой последней.

Следует, однако, сделать оговорку, что не исключена возможность, что соотношение между авариями в воздушной кабельной

линиях с ростом напряжений передачи изменяется не в пользу кабеля, а за счет аварий внутреннего происхождения (малый запас электрической прочности в кабеле высокого напряжения, трудности создания однородной изоляции последнего).

Передача постоянным током

Имея в виду, с одной стороны, трудности создания мощных генераторных единиц на постоянном токе, а с другой—исключительную экономическую выгоду концентрации мощностей в одной единице и достигнутые успехи в этом направлении для генераторов переменного тока, мы полагаем, что (по крайней мере, для сверхмощных станций с передачей энергии на расстояние) наиболее рациональным решением проблемы передачи энергии постоянным током будут генерация на переменном токе и передача на постоянном токе.

На сегодня мы еще далеки от удачного разрешения проблемы преобразования больших количеств энергии из переменного тока в постоянный ток высокого напряжения и обратно. Поэтому весьма вероятно, что в будущей ЕВС, по крайней мере в первое пятилетие ее реализации, мы будем иметь одну или несколько сверхмощных станций переменного тока, которые будут связаны с остальной системой линиями передачи постоянного тока, т. е. на первых порах мы будем иметь дело с системой, изображенной на рис. 3—1. Здесь А—мощная генераторная станция переменного тока, работающая на сложную сеть переменного тока со многими станциями и нагрузками через линию передачи, работающую на постоянном токе; n и m —преобразовательные устройства для преобразования переменного тока низкого напряжения в постоянный ток высокого напряжения и обратно.

Передача постоянным током высокого напряжения кардинальным образом разрешает вопрос устойчивости параллельной работы при передаче энергии на большие расстояния. Наличие связи на постоянном токе совершенно устраняет вопрос о параллельной работе между генерирующей и приемной системами. Линии постоянного тока являются как бы эластичными связями между обеими системами, допускающими свободное качение одной системы относительно другой. Если при наличии связи лишь на постоянном токе абсолютно не возникает вопроса устойчивости параллельной работы между обеими системами, то все же линия передачи может послужить причиной, вызывающей колебания между отдельными генераторными станциями внутри каждой системы. Действительно, перерыв в электроснабжении по линии постоянного тока, передающей большое количество энергии, вызовет значительное нарушение режимов работы и может привести к выпадению из синхронизма отдельных генераторных станций внутри каждой системы.

Так как линии передачи постоянного тока высокого напряжения будут являться сверхмощными магистралями, то необ-

ходимо особенно внимательно отнестись к бесперебойности их работы. Основным недостатком передачи постоянным током высокого напряжения является отсутствие селективности, так как на современном уровне техники мы не имеем аппаратов позволяющих выключать токи короткого замыкания при постоянном токе высокого напряжения. До развития соответствующих выключателей передача постоянным током высокого напряжения будет иметь значение лишь при передаче больших мощностей на значительное расстояние, когда потребитель сосредоточен в конце или расположен вдоль трассы линии. Все такие передачи обычно устраиваются на постоянство силы тока, а не на постоянство напряжения. В схеме Тюрриэт достигается искусственным образом, а всевозможные ионные и электронные преобразователи обладают свойствами естественного ограничения тока. При установке на постоянство силы тока короткое замыкание не представляет опасности в смысле чрезмерных токов, и не приходится заботиться о их выключении. Однако для бесперебойности электроснабжения они являются большим злом, тем более, что выключение на стороне постоянного тока даже при нормальных значениях тока в настоящее время невозможно.

В целях увеличения надежности работы таких передач, казалось, можно было бы работать с незаземленной нейтралью постоянного тока. Статистика эксплуатации линий переменного тока показывает, что большинство аварий относится к однофазным коротким замыканиям на линии. При постоянном токе, повидимому, будут иметь место те же соотношения.

При работе постоянным током с незаземленной нейтралью однополюсные короткие замыкания не представляют опасности для бесперебойности электроснабжения, также исключена возможность появления перемежающейся дуги с ее вредными последствиями перенапряжений, которые при переменном токе могут привести к самым тяжелым авариям. Единственным недостатком такой схемы работы является увеличение изоляции как линии, так и источников постоянного тока и всей аппаратуры. Принимая, однако, во внимание всю важность бесперебойного электроснабжения, возможно, придется прибегнуть к этой мере, несмотря на увеличение стоимости установок, если только не будут предложены какие-либо другие схемы обеспечивающие бесперебойное электроснабжение.

Перечисленные выше преимущества кабеля перед воздушной линией и постоянного тока перед переменным током заставляют признать, что наилучшим решением проблемы передачи энергии на большие расстояния является передача кабелем постоянного тока. Следует упомянуть, что переход на более высокие напряжения передачи, как порядка 380—400 kV, не представляет затруднения для кабеля, поскольку осуществленный в настоящее время кабель на 120 kV переменного тока может быть использован на более высокие напряжения постоянно тока.

Регулирование сложных электрических систем¹

С. А. Лебедев

Связанность работы отдельных станций

При кустовании отдельных станций в единую высоковольтную сеть вопросы регулирования режимов работы становятся весьма сложными. Генераторную станцию уже нельзя рассматривать изолированно, а лишь как одно из звеньев чрезвычайно сложной системы, режим работы которой зависит от режима работы всего объединения. Регулировка еще сложнее при кустовании отдельных систем между собой. Изменение режима работы в какой-либо части объединения вызывает перестройку работы всей системы.

Взаимное влияние отдельных элементов и большое число их требуют применения специальных мер для целей регулирования, без которых управление системами становится невозможным.

Помимо регулирования напряжения, что чрезвычайно важно и для небольших систем, в крупных кустованных системах имеют большое значение регулировка активной мощности по кольцам и распределение ее между генераторными станциями по плану; регулирование реактивной мощности в системе—создание генераторных станций реактивной мощности (синхронные компенсаторы), распределение реактивной мощности по кольцам, регулирование частоты как при нормальном режиме работы, так и при синхронизации систем между собой и пр. Все эти вопросы требуют проработки значительно большей, чем та, которая возможна в рамках настоящей статьи. Здесь же намечаются лишь основные вехи по вопросам регулирования и указывается та аппаратура, производство которой не-

обходимо поставить на наших заводах для успешного разрешения единой высоковольтной сети.

Основные соотношения для воздушных и кабельных сетей

При протекании тока по линии передачи получается падение напряжения, которое можно разложить на две составляющие: по направлению вектора напряжения в конце системы и ему перпендикулярно (рис. 1). Пренебрегая емкостным током линии, влияние которого будет учтено в дальнейшем, эти составляющие падения напряжения определяются:

$$\begin{aligned} \Delta E &= I_{\text{акт}} r + I_{\text{реакт}} x, \\ \Delta E &= I_{\text{акт}} x - I_{\text{реакт}} r. \end{aligned}$$

Составляющая по направлению вектора напряжения в конце системы (ΔE) при небольших углах между э. д. с. по концы представляет потерю напряжения, а составляющая, ей перпендикулярная, характеризует сдвиг фаз между этими э. д. с.

Для воздушных сетей, где обычно преобладающее значение имеет индуктивное сопротивление, потеря напряжения определяется, главным образом, реактивным током, сдвиг фаз—активным током. Для кабельных сетей, наоборот, преобладающее значение имеет омическое сопротивление, и потеря напряжения обуславливается активным током, а сдвиг фаз—реактивным.

Если величины и фазы э. д. с. по концам линии, соединяющей две генераторных станции, заданы, то по линии потечет выравнивающий ток, определяемый формулами:

$$I_{\text{акт}} = \frac{\Delta E r + \delta E x}{r^2 + x^2}, \quad (2)$$

$$I_{\text{рект}} = \frac{\Delta E x - \delta E r}{r^2 + x^2}. \quad (3)$$

Для воздушных линий разность напряжений по величине вызывает, главным образом, реактивный ток, а сдвиг фаз между э. д. с.—активный ток. Для кабельной сети, наоборот, разность напряжений по величине вызывает активный ток, а сдвиг фаз—реактивный.

Довольно часто требуется передача энергии по линии передачи при одинаковых величинах напряжения по ее концам. При этом условии получается строго определенное соотношение между активным и реактивным токами. Из формул (1), полагая $\Delta E = 0$, легко получить это соотношение:

$$I_{\text{рект}} = I_{\text{акт}} \frac{r}{x}.$$

Для воздушных линий с малым отношением $\frac{r}{x}$ (в воздушных линиях $\frac{r}{x}$ составляет от 0,1 до 1) передача энергии с одинаковым напряжением по ее концам требует сравнительно небольшой величины опережающего реактивного тока [опережающий потому, что в формуле (3) стоит знак минус]. Для кабельной же линии $\frac{r}{x}$ довольно значительно (для кабель-

ных сетей $\frac{r}{x}$ составляет от 1 до 10), и потому реактивный ток получается значительный. Таким образом, если для воздушных сетей передача с одинаковыми напряжениями по концам во многих случаях является желательной, то для кабельных линий подобный режим работы является недопустимым, так как циркулирование больших реактивных токов вызывает большие потери. Если передача такого типа все же требуется для кабельной линии, то приходится искусственно увеличивать ее реактанс путем последовательного включения дроссельных катушек.

Если же хотят совершенно избежать циркулирования реактивного тока по соединительной линии, то приходится допустить некоторую разницу между напряжениями по концам линии, определяемую уравнением:

$$\Delta E = I_{\text{акт}} r. \quad (4)$$

Учет влияния емкостного тока, равномерно распределенного вдоль линии для больших длин передачи, будет разобран ниже (см. "Регулирование длинных линий", стр. 6); здесь же ограничимся лишь разбором сравнительно небольших длин передачи, когда с достаточной точностью емкостный ток можно принять сосредоточенным по концам линии или в ее середине. Для воздушных сетей этот ток получается сравнительно небольшим, и его можно отнести к нагрузке, расположенной в начале и конце линии. Для высоковольтных же кабельных сетей этот ток может достигать довольно значительной величины, и с ним приходится считаться. Для иллюстрации порядка величины емкостного тока ниже приведена таблица.

Таблица величины емкостного тока и зарядной мощности

Между- фазовое напря- жение в kV	Воздушная		Кабельная	
	Емкостный ток на фазу на 100 км в VA	Зарядная мощность 3 фаз на 100 км в W	Емкостный ток на фазу на 100 км в A	Зарядная мощность 3 фаз на 100 км в W
6	1,1	11,4	22	227
10	1,8	31,2	36	625
20	3,6	124	72,5	2 500
30	5,4	280	108	5 600
60	10,8	1 120	216	22 500
100	18,0	3 120	360	62 000
200	36,0	12 500	—	—

В тех случаях, когда емкостный ток превосходит величину реактивного тока нагрузки, протекание его по линиям вызывает дополнительные потери и, кроме того, значительно уменьшает потребное возбуждение синхронных машин, тем самым ухудшая устойчивость параллельной работы (см. ч. V, т. Сазанова). Из этих соображений при наличии большой

высоковольтной кабельной сети (порядка 30—100 kV) приходится прибегать к специальным мерам компенсации емкостного тока путем параллельного приключения дроссельных катушек. Наличие подобных катушек особенно необходимо при минимальных режимах работы, когда нагрузка невелика, а также в тех случаях, когда наряду с кабельной высоковольтной сетью имеются воздушные длинные линии и приходится заботиться об устойчивости параллельной работы.

Регулирование напряжения

Правильная эксплуатация системы возможна лишь при сравнительно небольших колебаниях напряжений у приемников. Особенно жесткие требования получаются для осветительной нагрузки. Повышение напряжения против номинального хотя и увеличивает к. п. д. ламп и их силу света, но зато значительно сокращает срок службы. Уменьшение же напряжения сильно уменьшает световой поток лампы. Поэтому для осветительной нагрузки колебания напряжения от нормального допускаются обычно до $\pm 2-4\%$. Для моторной нагрузки, в частности для асинхронных моторов, крутящий момент при одном и том же скольжении, примерно пропорционален квадрату напряжения. При неизменном крутящем моменте станков с уменьшением напряжения будет меняться скольжение асинхронных моторов и, следовательно, их скорость. Допустимая неравномерность хода моторов зависит от рода производства и в некоторых производствах является недопустимой (например, в бумажной промышленности, текстильной, в ряде электро-химических

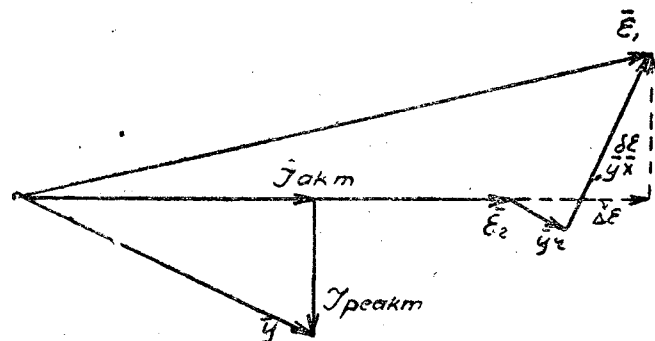


Рис. 1.

производств и т. п.). Кроме того, понижение напряжения на моторах вызывает увеличение тока и ухудшает их к. п. д. Обычно допускаемые колебания напряжения для моторной нагрузки принимаются $\pm 4-6\%$. Эти цифры могут колебаться в зависимости от характера производства.

Определение допустимых колебаний напряжений требует большой разработки. В тех случаях, где это не диктуется техническими условиями (постоянство скорости и т. п.), вопрос по существу сводится к экономике. В этом направлении в ряде организаций ведутся работы.

При проектировании высоковольтных сетей нет никакой возможности рассматривать колебания напряжения непосредственно у приемников. Обычно ограничиваются рассмотрением колебаний напряжения на низковольтных шинах подстанций, учетом потери напряжения в трансформаторах. Обычно допустимые колебания напряжения берут $\pm 2,5\%$ для нормального режима работы и $\pm 5\%$ для аварийных режимов. Эти допустимые колебания напряжения определяются, исходя из допустимых колебаний у приемника с учетом потери напряжения в распределительной сети. Приведенные цифры являются грубо ориентировочными и требуют более внимательного изучения.

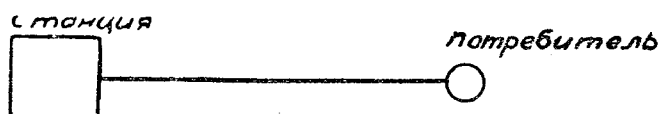


Рис. 2.

При выборе режимов работы системы с точки зрения регулирования напряжения необходимо всегда учитывать помимо питательной высоковольтной сети также и распределительную сеть более низкого напряжения. Для поддержания постоянства напряжения у приемников при максимальной и минимальной нагрузках желательно иметь на подстанциях основной питающей высоковольтной сети так называемое "отрицательное регулирование", т. е. при минимальном режиме иметь на шинах подстанций напряжение меньше, чем при максимальном режиме. Подобная разница в напряжениях при

в обоих режимах несколько сгладит колебания напряжения у приемников, вызываемое потерями напряжения в распределительной сети более низкого напряжения. Однако во многих случаях невозможно получить отрицательное регулирование на подстанциях основной питательной высоковольтной сети и приходится останавливаться на „положительном регулировании“, т. е. напряжение на шинах подстанций при минимальном режиме получается больше, чем при максимальном. В этом случае желательно иметь по возможности малое колебание напряжения на шинах подстанций.

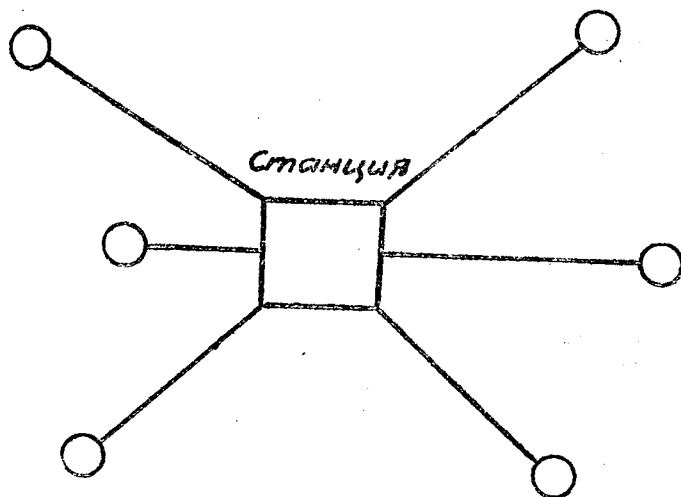


Рис. 3.

Наиболее простым, но наименее совершенным способом регулирования колебания напряжения является регулировка напряжений генераторных станций. Когда какая-либо генераторная станция питает лишь одного потребителя (рис. 2), поддержание постоянства напряжения у него может быть осуществлено путем регулирования напряжения генераторной станции. Пределом здесь является предел регулировки генератора. Если же имеется несколько потребителей (рис. 3), имеющих различные графики нагрузки, а следовательно, и различные графики потребной регулировки напряжения генераторной станции, то во многих случаях обойтись регулировкой лишь напряжения генераторной станции не удастся. Такая же картина получается и в случае одинакового графика изменения нагрузки у потребителя, но когда потребители расположены на различном расстоянии от станции (крайним случаем является наличие местной нагрузки станции—см. рис. 4).

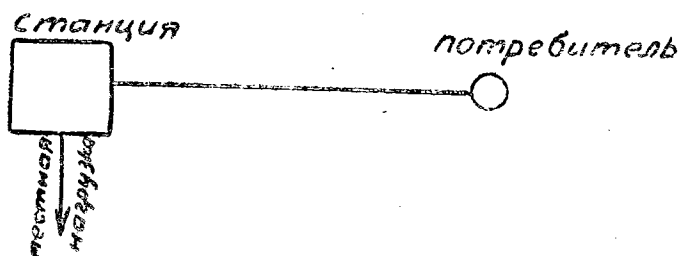
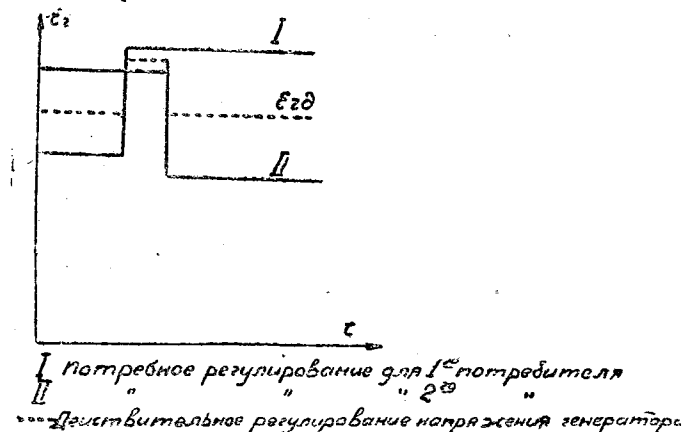


Рис. 4.

В этих случаях выбор режима регулирования генераторной станции можно производить следующим образом: по заданному графику нагрузки одного потребителя определяется необходимая регулировка напряжения генераторной станции, чтобы поддержать у потребителя постоянство напряжения. Построив подобные графики для всех потребителей, выбирают режим регулирования напряжения генераторной станции как среднюю линию между крайними пределами потребной регулировки (рис. 5). Подобный метод применим лишь в радиальной системе. Для более сложной сети колебание напряжения у отдельных потребителей можно определить по заданным графикам нагрузки, исходя из условия постоянства напряжения генераторной станции. Регулировка напряжения генераторной станции определяется как средняя линия между крайними пределами колебания напряжения (рис. 6), а действительное колебание напряжения у потребителей представится расстояниями от этой линии до соответствующих кривых. Из рисунка видно, что регулировкой напряжения генераторной станции можно сгладить, но не устранить колебания напряжения у потребителя, причем колебания напряжения все же могут получаться больше допустимых.

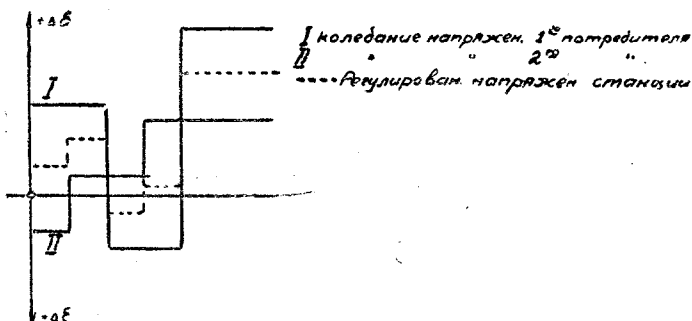
Уменьшение колебаний напряжения путем регулировки напряжения генераторной станции значительно затрудняется, если в системе работает несколько станций параллельно. Изменение напряжения какой-либо одной станции вызывает выравнивающий реактивный ток по соединительным линиям и увеличивает потери. Кроме того, при этом получается неправильное распределение реактивного тока между генераторными станциями. Станция, на которой поднимается напряжение, принимает больше реактивного тока, тогда как другие его скидывают. Подобная перегрузка реактивным током или, как часто говорят, „перегрузка амперами“ не позволяет получить от генераторной станции ее номинальную активную мощность. Поэтому независимое регулирование напряжения станций в системе довольно ограничено и может применяться лишь при наличии свободной генераторной мощности или свободной реактивной мощности.



Иногда удастся сгладить колебания напряжения путем регулирования напряжения всей системы, оставляя неизменными соотношения между напряжениями отдельных генераторных станций. При этом как распределение реактивной мощности по системе, так и между генераторными станциями не нарушается. Однако одновременное уменьшение напряжения на всех генераторных станциях при большом числе их довольно сложно, и применять этот метод рационально лишь в исключительных случаях, когда нельзя обойтись другими способами.

Колебания напряжения при воздушных высоковольтных сетях можно сгладить путем установки синхронных конденсаторов. Как видно из формул (1), потеря напряжения ΔE в воздушных линиях сильно зависит от реактивного тока. Регулируя величину реактивного тока синхронными конденсаторами, можно менять потерю напряжения и тем самым сгладить колебания напряжения.

Синхронные конденсаторы обычно имеют двоякую цель: 1) доставлять потребную реактивную мощность к нагрузке (см. ниже) и 2) сглаживать колебания напряжения. Для регулировки напряжения синхронные конденсаторы имеют особенно большое значение при длинных линиях передачи. Однако и в питательной высоковольтной сети их влияние сказывается весьма ощутительно. Наличие источников свободной реактивной мощности в виде синхронных конденсаторов помимо непосредственной регулировки колебания напря-



жения дает еще возможность более гибко регулировать напряжения генераторных станций (при наличии избыточной реактивной мощности генераторы имеют возможность работать с коэффициентами мощности больше номинальных, т. е. представляется возможность несколько регулировать их напряжение, не вызывая перегрузки амперами). В случае если

основной задачей синхронных конденсаторов является доставка потребной реактивной мощности к нагрузке, они все же оказывают существенный эффект и на колебание напряжения. Необходимо отметить, что более высокий коэффициент мощности генераторов требует большей величины мощности синхронных конденсаторов, и колебания напряжения уменьшаются как за счет уменьшения потери напряжения в системе, так и за счет большей гибкости регулировки напряжения.

Чрезвычайно радикальным средством уменьшения колебания напряжения является применение регулируемых трансформаторов. Изменение под нагрузкой коэффициента трансформации позволяет держать напряжение на низковольтных шинах в пределах допустимых колебаний даже при очень больших изменениях его на высоковольтной стороне.

Одним из случаев применения регулировочных трансформаторов является установка их на подстанциях. Подстанции с регулирующими трансформаторами имеют возможность регулировки напряжения, совершенно независимой от режима работы всей системы. Помимо подстанций регулируемые трансформаторы часто могут устанавливаться и на генераторных станциях, особенно тогда, когда у станции имеется большая местная нагрузка. Последняя требует постоянного напряжения на низковольтных шинах, в то время как режим работы всей системы обычно требует регулировки напряжения генераторной станции.

Наиболее просто задача разрешается при наличии на станции регулируемых трансформаторов. Тогда напряжение на низковольтных шинах поддерживается постоянными регуляторами напряжения, а установка режима работы всей системы производится изменением коэффициента трансформации регулируемых трансформаторов. Применение регулируемых трансформаторов на генераторных станциях помимо изложенного несколько упрощает эксплуатацию. При изменении режима работы всей совокупности систем приходится регулировать напряжения генераторных станций, но если они снабжены автоматическими регуляторами напряжения, то приходится изменять их установку. При наличии регулируемых трансформаторов установка регуляторов напряжения остается неизменной, а режим работы системы производится изменением коэффициента трансформации.

Когда в каком-либо месте установлены обычные трансформаторы, а по условию работы требуется регулировка под нагрузкой, приходится или менять трансформаторы, или же последовательно включать дополнительные трансформаторы. Эти дополнительные трансформаторы (бустеры) представляют обычные трансформаторы или автотрансформаторы с коэффициентом трансформации 1:1 и снабженные регулировкой под нагрузкой.

Добавочные трансформаторы часто включаются в рассечку линий. Помимо регулировки реактивной мощности в кольцах (об этом см. ниже), такое соединение дает возможность регулировать напряжение в отдельных частях системы и особенно важно для линий, соединяющих отдельные системы между собой. Применение добавочных трансформаторов в линиях, соединяющих между собой отдельные системы, надо признать, безусловно, необходимым. Они дают возможность совершенно независимой регулировки каждой системы в отдельности и позволяют передать энергию в оба направления. Выполнение их в виде трансформатора, а не автотрансформатора, сильно ограничивает влияние одной системы на другую с точки зрения токов короткого замыкания и токов заземления.

Оценивая различные способы регулирования напряжения в системе, необходимо признать, что наиболее радикальным является применение регулируемых трансформаторов и добавочных трансформаторов. В действительности регулирование обычно производится смешанным образом, т. е. одновременно применяются все способы регулирования. Такое решение в большинстве случаев является наиболее экономным.

Регулирование реактивных токов в системе

При передаче энергии от генераторной станции к потребителю помимо активной мощности должна доставляться также и реактивная мощность, которая идет на создание магнитных потоков в трансформаторах и моторах, а также на потери реактивной мощности в реактансах рассеяния системы. Эта реактивная мощность доставляется от генераторов или от каких-либо других источников реактивной мощности (синхронные и статические конденсаторы, емкость линии и т. п.). При заданном коэффициенте мощности нагрузки легко определить потребную для нее реактивную мощность. Источники реактивной мощности должны доставить эту величину и, кроме того, покрыть реактивные потери в системе. Принимая лишь одну ступень трансформации и считая, что трансформаторы загружены полностью, получим величину реактивных

потерь в трансформаторах, равную 30% от номинальной мощности генераторных станций, работающих непосредственно на высоковольтную сеть (реактивные потери равны $I^2 x$ и еще мощности холостого хода). Принимая реактансы трансформаторов—10%, а мощность холостого хода—5%, получим реактивные потери в трансформаторе при полной его загрузке 11% от его номинальной мощности. Таким образом реактивные потери в повысительных и понизительных трансформаторах составят 30%.

Реактивные потери в линиях передачи $I^2 x$ при небольших длинах можно не учитывать, так как они частично компенсируются емкостным током линий (для длинных линий компенсация реактивных потерь будет разобрана ниже). Стало быть даже при коэффициенте мощности нагрузки на низкой стороне подстанций, равной единице ($\cos \varphi = 1$), требуется 30% реактивной мощности. Вполне естественно, источник реактивной мощности совместить в одном агрегате с источником активной мощности, поскольку активный ток находится в квадратуре с реактивным. Суммарная результирующая килловольтамперная мощность получается при этом меньше, чем если бы источники активной и реактивной мощностей были выполнены раздельно. Для данного случая коэффициент мощности генератора получится равным $0,95 \left(\sin \varphi = \frac{30}{100} = 0,3 \text{ и } \cos \varphi = \sqrt{1 - 0,3^2} = 0,95 \right)$.

При коэффициенте мощности нагрузки, на низковольтной стороне подстанций равном 0,8, коэффициент мощности генераторных станций должен быть 0,665 (активная мощность нагрузки $P_n = 0,8$, реактивная $Q_n = 0,6$, реактивные потери в трансформаторах $\Delta Q = 0,3$; $\cos \varphi = \frac{0,8}{\sqrt{0,8^2 + (0,6 + 0,3)^2}} = 0,665$).

Если генераторы имеют коэффициент мощности больше указанного, то недостающая реактивная мощность должна покрываться другими источниками реактивной мощности, например синхронными конденсаторами. Пусть коэффициент мощности генераторов будет 0,8, тогда мощность синхронных конденсаторов получится равной 30% от номинальной мощности генераторов ($P_n = 0,8$, $Q_n = 0,6$, $\Delta Q = 0,3$, $Q_{\text{ген}} = 0,6$, $Q_{\text{ск}} = (0,6 + 0,3) - 0,6 = 0$). В приложении ниже таблице даны потребные мощности синхронных конденсаторов в зависимости от коэффициента мощности генераторов, для коэффициента мощности нагрузки на низковольтной стороне подстанций равного 0,8.

Таблица потребной мощности синхронных конденсаторов
($\cos \varphi_{\text{нагр}} = 0,8$, $\Delta Q = 30\%$)

Коэффициент мощности генераторов $\cos \varphi$	0,7	0,8	0,85	0,90	0,95	1
Мощность синхронных конденсаторов в % от номинальной результирующей мощности нагрузки . . .	19	30	38	47	59	90

Совмещение в одном агрегате источника как активной, так и реактивной мощности хотя и дает уменьшения суммарной результирующей килловольтамперной мощности системы, все же имеет ряд крупных недостатков. Передача реактивной мощности от генераторных станций к потребителю вызывает увеличение потерь в системе. Поэтому с точки зрения уменьшения потерь источники реактивной мощности желательно располагать как можно ближе к потребителю. Кроме того, реактивный ток, протекая по линиям, вызывает большие потери напряжения и тем самым увеличивает колебания напряжения.

Как уже было указано выше, повышение коэффициента мощности генераторов уменьшает реактивные токи по линиям и тем самым значительно облегчает регулировку напряжения. Выбор места генерации реактивной мощности, иначе говоря, выбор коэффициента мощности генераторов, является вопросом чисто экономическим. Для разрешения его необходимо учесть следующие факторы: потери в линиях, трансформаторах, генераторах и синхронных конденсаторах, уменьшение килловольтамперной мощности генераторов и трансформаторов, увеличение мощности синхронных конденсаторов, регулирование напряжений. В настоящее время лабораторией высоковольтных сетей ОВН ВЭИ совместно с Энергостроем ведется работа по определению экономического коэффициента мощности генераторов на частном примере сети Донбасса на 1938 г., являющейся типичной сетью с большими сосредото-

ченными мощностями станций и небольшими длинами передачи. В дальнейшем предполагается провести подобный расчет для Уральской сети с большим числом длинных линий передач.

Каковы бы ни были результаты этих подсчетов, все же можно сказать, что в современных высоковольтных сетях приходится считаться с большими мощностями синхронных конденсаторов. Синхронные конденсаторы можно устанавливать крупными единицами на основных подстанциях питающей высоковольтной сети или же дробить их на более мелкие единицы и переносить в распределительную сеть по возможности ближе к потребителю. Последний способ представляет те преимущества, что разгружает от реактивного тока распределительные сети и уменьшаются в них потери напряжения и мощности. С другой стороны, крупные единицы синхронных конденсаторов обходятся дешевле и имеют больший к. п. д. Вопрос выбора места установки синхронных конденсаторов требует внимательного изучения, и, по всей вероятности, наиболее экономичным будет смешанное решение. Помимо экономии надо также иметь в виду, что концентрированная установка синхронных конденсаторов дает возможность более гибкой регулировки напряжения в системе, тогда как распыленная установка ее не дает, но зато уменьшает потерю напряжения в распределительной сети. Разрешение вопроса места установки синхронных конденсаторов является чрезвычайно важным, так как это определит порядок величин мощностей синхронных конденсаторов, которые надо строить на наших заводах.

При наличии в распределительной сети местных станций желательно использовать их как источники реактивной мощности, т. е. коэффициент мощности их должен быть невелик.

Помимо создания источников реактивной мощности необходимо заботиться также и об улучшении коэффициента мощности самой нагрузки. Средствами улучшения коэффициента мощности нагрузки является широкое применение всевозможного рода компенсированных моторов, синхронных моторов, статических конденсаторов и т. п. Материал по этому вопросу настолько обширен, что должен составить тему для специальной статьи. Здесь же укажем только, что, по нашему мнению, необходимо возможно быстро наладить изготовление статических конденсаторов и синхронных моторов с асинхронным пуском.

Распределение активных и реактивных токов в сложных кольцевых сетях

В кольцевой системе, состоящей из ряда генераторных станций, соединенных между собой линиями передачи, получается вполне определенное распределение активных и реактивных токов, причем по замкнутым кольцам могут получиться выравнивающие активные и реактивные токи, вызывающие дополнительные потери в линиях.

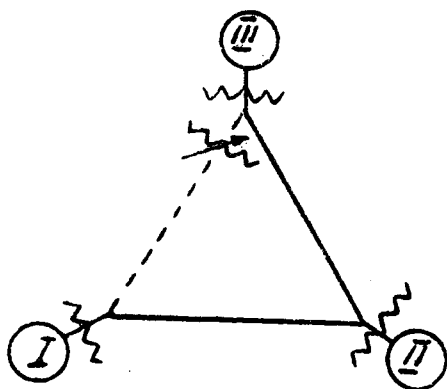


Рис. 7.

Рассмотрим работу трех станций, связанных между собой линиями передачи (рис. 7). Для заданного распределения активных и реактивных токов по соединительным проводам получим определенную разницу напряжений по величине и по фазе между отдельными генераторными станциями, определяемую уравнениями (1). Если соединить станции I и III линией, то получим кольцевую сеть. Разность напряжений между станциями I и III вызовет наложенные активные и реактивные токи, которые определяются суммарным омическим и индуктивным сопротивлением кольца. Эти наложенные токи вызывают бесполезные потери. Для того чтобы устранить эти наложенные токи, в расщелку соединительной линии приключается добавочный трансформатор. Последний дает компенсацию разности между станциями I и III. Если

происходит компенсация напряжения по величине, то согласно формулы (2) происходит регулирование преимущественно реактивного тока. Для того чтобы регулировать и активный ток, необходимо ввести также и компенсацию напряжений по фазе. Это производится специальными добавочными трансформаторами с регулировкой под нагрузкой как величины, так и фазы напряжения. Наличие в кольце добавочного трансформатора с регулировкой величины напряжения позволяет совершенно произвольно распределять реактивные мощности по всем соединительным линиям. Реактивная мощность по линии I—II регулируется напряжением генераторных станций I и II, по линии II—III—напряжениями станций II и III, а по линии I—III—добавочным трансформатором. Однако такая регулировка требует вполне определенного изменения напряжений генераторных станций, что во многих случаях бывает невозможно, или по регулированию напряжений приходится изменять напряжение совсем другим образом (например, в тех случаях, когда имеются еще линии, отходящие от данной станции, питающие ряд подстанций).

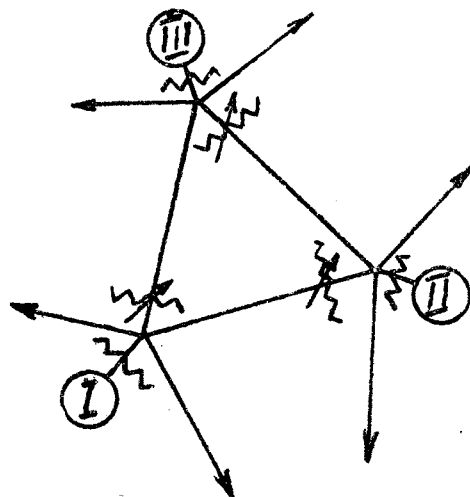


Рис. 8.

Чтобы получить регулировку реактивной мощности по соединительным линиям, совершенно независимую от напряжения генераторных станций, необходимо у каждой станции поставить в расщелку одной линии по добавочному трансформатору, так как это показано на рис. 8. В тех случаях, когда напряжение генераторных станций связано нагрузкой лишь на низкой стороне, можно обойтись лишь одним добавочным трансформатором, устанавливая генераторные повысительные трансформаторы с регулировкой под нагрузкой.

Применение добавочных трансформаторов между каждой парой генераторных станций, безусловно, придает большую гибкость системе. Однако это связано с дополнительными затратами и вряд ли является рациональным. Устанавливать добавочные трансформаторы необходимо лишь в тех местах, где без них получается неблагоприятное распределение реактивных мощностей. Безусловно необходимым надо признать применение добавочных трансформаторов в линиях, соединяющих между собой отдельные части системы и целые системы. Это дает независимую регулировку напряжений в каждой разделенной таким образом части системы, позволяет осуществить произвольный обмен реактивными мощностями и уменьшает токи короткого замыкания.

Добавочные трансформаторы с изменением фазы напряжения для регулирования активного тока в кольцах требуются значительно реже, чем с изменением величины напряжения.

При создании единой высоковольтной сети необходимо предусмотреть добавочные трансформаторы во всех линиях, связывающих между собой отдельные системы, а также части систем. Если для регулирования напряжений можно обойтись сравнительно грубыми ступенями добавочных трансформаторов (напряжения 2,5%), то для целей регулирования реактивной мощности могут понадобиться более плавные ступени.

Электрические расчеты систем

Правильная проектировка и эксплуатация систем возможны лишь при условии внимательного изучения их режимов работы. Для этого предварительно приходится проделявать ряд электрических расчетов. Аналитические расчеты сложных систем весьма кропотливы и отнимают много времени. Наиболее рациональным является расчет на моделях сетей, которые

в миниатюре представляют все свойства действительных систем при стационарных режимах работы. Лабораторией высоковольтных сетей ОВН ВЭИ сконструирована и изготовлена модель сетей переменного тока, на которой проведены электрические расчеты сетей Центрально-промышленного района, сети Донбасса на 1938 и 1933 гг. и ряд других более мелких сетей. Модель целиком оправдала себя, и в настоящее время по заказу Энергостроя изготавливается более совершенная модель.

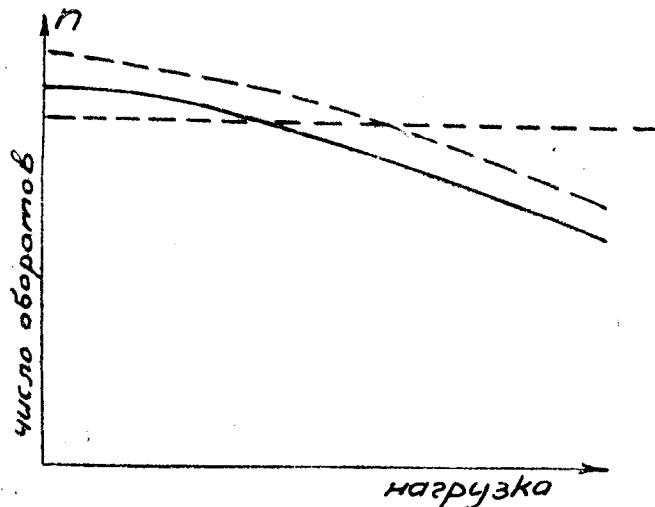


Рис. 9.

Проектирование единой высоковольтной сети безусловно придется вести на таких моделях. Помимо проектирующих организаций, модели более упрощенного типа нужны и крупным эксплуатирующим объединениям для изучения режимов работы своих систем и для разрешения ряда вопросов, связанных с расширением и видоизменением системы. Кроме электрических расчетов, модель сетей применима и для анализа устойчивости параллельной работы систем.

Регулирование активных мощностей между станциями

При параллельной работе нескольких генераторных станций под нагрузкой распределяются между ними в зависимости от характеристик регуляторов первичных двигателей. Наиболее распространенными в настоящее время являются скоростные регуляторы. Скоростные регуляторы обладают обычно ниспадающей характеристикой, т. е. с увеличением нагрузки несколько уменьшают число оборотов турбины (рис. 9). Пусть имеем две параллельно работающие генераторные станции, из которых одна имеет пологую характеристику скоростных регуляторов (рис. 10—кривая I), а другая—резко падающую (рис. 10—кривая II). Частота обеих станций (иначе

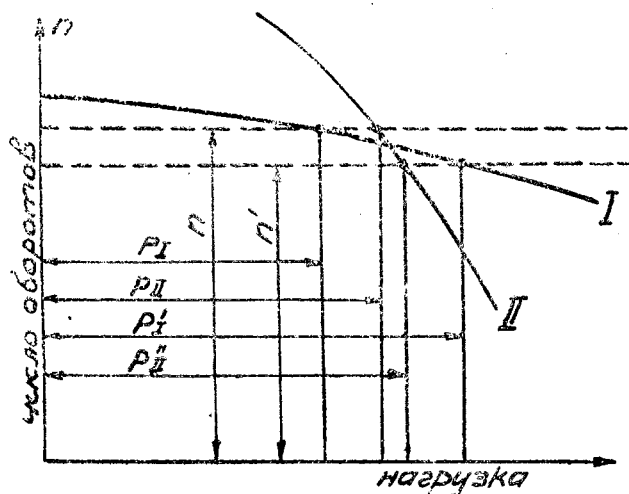


Рис. 10.

число оборотов) должна быть одинаковой, так как обе станции работают параллельно. Пусть в начальный момент число оборотов будет n , которому соответствует вполне определенное распределение мощностей между обеими генераторными станциями (P_1 и P_2). При увеличении нагрузки число оборотов обеих станций уменьшается до некоторой величины n' ,

которому будет соответствовать новое распределение мощностей (P_1' и P_2'). Из рис. 10 видно, что большую часть скачка нагрузки воспримет станция, имеющая пологую характеристику скоростных регуляторов, в то время как станция с резко падающей характеристикой изменит свою мощность лишь незначительно. Чем выше будет характеристика первой станции, тем большую часть скачка нагрузки она воспримет. В крайнем случае, когда характеристика скоростных регуляторов представляет горизонтальную линию, т. е. станция держит постоянную частоту вне зависимости от нагрузки, все скачки нагрузки будут восприниматься этой станцией, остальные же станции будут воспринимать постоянную мощность. Если хотя бы изменить мощность одной из таких станций, то необходимо переставить установку скоростного регулятора (обычно производится сервомотором), причем его характеристика примерно перемещается параллельно самой себе (рис. 9).

При работе ряда генераторных станций в системе, обычно одна из станций является пиковой, т. е. воспринимает на себя все изменения нагрузки, а остальные служат основными станциями, отдающими постоянную мощность по заданному плану. Если станции снабжены скоростными регуляторами, то пиковая станция должна иметь регуляторы с плавной падающей характеристикой, а основные станции—с резко ниспадающей. При этом получается полная автоматизация распределения активных мощностей между генераторными станциями. Пиковая станция в общей системе является также станцией, ведущей частоту в системе.

Такая регулировка активных мощностей между генераторными станциями возможна лишь в сравнительно простых системах. В более сложных системах наличие одних лишь скоростных регуляторов уже является недостаточным для автоматического распределения мощностей при изменениях нагрузки. Из всего числа параллельно работающих станций лишь одна может иметь плавную характеристику скоростных регуляторов. Наличие двух генераторных станций с плавными

Схема „С“ (включение реакторов в расщепки шин)

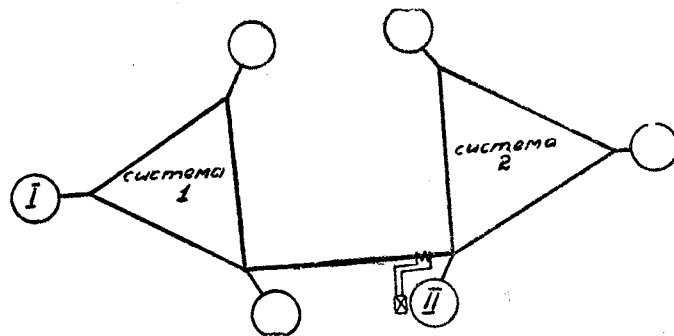


Рис. 11.

характеристиками при небольшой расстройке установки регуляторов может привести к совершенно недопустимому распределению мощностей между ними. Однако импедит пиковую станцию на ряд систем, работающих параллельно, не представляется рациональным, так как скачки нагрузки в какой-либо системе будут восприниматься станциями другой системы, которая будет восприниматься станциями другой системы, которая будет восприниматься станциями другой системы. Такой режим работы, помимо экономической стороны, представляет большие затруднения и с точки зрения регулировки напряжений, а также управления системами. Поэтому при объединении нескольких систем или приходится отказаться от автоматического распределения активных мощностей между станциями, или же прибегнуть к более совершенному способу регулирования, чем регулировка скоростными регуляторами.

Наиболее рационально надо признать такую систему регулирования, когда изменения нагрузки какой-либо системы воспринимаются своей собственной пиковой станцией, т. е. в каждой системе имеется своя пиковая станция. Задачу автоматического регулирования активных мощностей по этому принципу можно разрешить путем применения специальных регуляторов первичных двигателей, работающих от электрического реле.

Схема подобного управления изображена на рис. 11. Одна из станций поддерживает частоту во всей системе (рис. 2—станция I) и снабжена скоростными регуляторами с пологой характеристикой. Она является пиковой станцией для первой системы. Для другой системы пиковая станция (рис. 11—станция II) снабжена регуляторами, работающими от электрического реле. Это реле реагирует на мощность, передаваемую по соединительной линии между обеими системами. При уменьшении ее регулятор увеличивает пуск пара в турбину, при увеличении—наоборот. Если произойдет скачок нагрузки

во второй системе, то в начале избыток мощности воспримется генераторной станцией, поддерживающей частоту (станцией 1). Вследствие этого мощность, передаваемая от второй системы к первой, уменьшится, регулятор станции 2 придет в действие и увеличит мощность станции 2 до тех пор, пока по соединительной линии не потечет прежняя мощность, т. е. пока избыток мощности во второй системе не воспримется пиковой станцией 2.

Регуляторы первичных двигателей, работающие от электрических реле, помимо регулирования мощности между отдельными системами, могут применяться также и для регулирования основных станций.

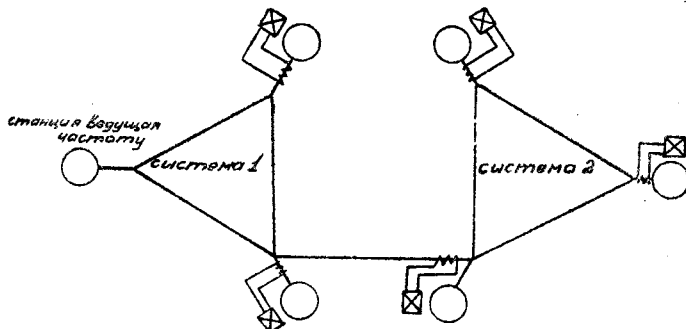


Рис. 12.

Такая система, изображенная на рис. 12, дает возможность централизованного управления распределением активных мощностей станций. Для этого управление установкой электрических реле выводится на центральный диспетчерский пункт, с которого и производится распределение активных мощностей между отдельными станциями. Для каждой системы управление электрическими реле может быть установлено в своем диспетчерском пункте. Существуют различные аппараты, позволяющие быстро производить распределение мощностей между станциями и гарантирующие от неправильной установки реле. Однако описание их выходит за рамки настоящей статьи.

Наличие регуляторов, работающих от электрических реле, ни в коей мере не исключает скоростных регуляторов. Наоборот, обычно электрические реле воздействуют на установку скоростных регуляторов, перемещая лишь их характеристики. Такое устройство гарантирует безопасность генераторов при каких-либо авариях (например отключение генератора от сети и т. п.).

Применение регуляторов, работающих от электрических реле со специальными характеристиками, может значительно улучшить устойчивость параллельной работы системы. Подробнее они будут разобраны ниже (см. ст. Сазанова).

Регулирование длинных линий

При передаче энергии по длинным линиям высоким напряжением приходится считаться с их емкостным током, который может достигать значительных величин.

Передача энергии по линиям передачи происходит путем электромагнитных волн, двигающихся вдоль линии в обоих направлениях. Волна, двигающаяся в прямом направлении (падающая волна), несет энергию от генератора к потребителю, а двигающаяся в обратном направлении (отраженная волна) возвращает часть этой энергии обратно генератору. Беспольное циркулирование энергии по линии вызывает дополнительные потери. Поэтому с точки зрения уменьшения потерь желательно передавать энергию лишь падающими волнами. Как известно из законов распространения волн, отраженных волн не будет в том случае, когда сопротивление на-

грузки равно волновому сопротивлению линии ($Z_0 \approx \sqrt{\frac{L}{C}}$). Мощность, потребляемая нагрузкой, будет:

$$P_n = \frac{E^2}{R_{\text{нагр}}} = \frac{E^2}{Z_0}$$

Эта величина передаваемой мощности называется «естественной мощностью» длинной линии.

Волновые сопротивления воздушных линий являются величиной, колеблющейся в малых пределах (точно так же и для кабелей). Поэтому величина естественной мощности зависит лишь от напряжения системы передачи. Принимая грубо волновое сопротивление воздушных линий 400 Ω , а кабельных

40 Ω , получим следующие выражения для естественной мощности:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{ест}} [\text{kW}] &= 2,5 E^2 [\text{kW}] \text{ для воздушной} \\ P_{\text{ест}} [\text{kW}] &= 25 \text{ для кабельной} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В таблице приведены значения естественной мощности для воздушных и кабельных линий для различных напряжений, вычисленных по уравнениям (5).

E 6 kV	30	50	100	150	200	300	400
Воздушная	2,25	6,25	25	56,25	100	225	400
Кабельная	22,5	62,5	250	562,5	1 000	2 550	4 000

При передаче естественной мощности, вследствие наличия лишь падающих волн (отраженные волны отсутствуют), ток и напряжение вдоль линии имеют постоянную величину и, кроме того, в любой точке совпадают между собой по фазе. Фаза напряжения и фаза тока изменяются пропорционально длине линии, и концы их векторов описывают окружности (рис. 13). Постепенный поворот векторов тока и напряжения происходит вследствие индуктивных падений напряжений и емкостных токов.

Емкостные токи и индуктивные падения напряжения длинных линий составляют значительные величины (см. таблицу).

Таблица значений емкостных токов и индуктивных падений напряжений длинных линий

Длина линии возд. . .	100	200	400	600	800	1 000	
Длина линии каб. . .	50	100	200	300	400	500	
Емкостный ток в % от естественного	0,105	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	
Индуктивное падение напряжения в % от нормального	0,105	0,021	0,42	0,63	0,84	1,05	$\times 100$

При передаче естественной мощности емкостный ток и индуктивные падения напряжения взаимно компенсируются. При уменьшении передаваемой мощности по сравнению с естественной, индуктивные падения напряжения уменьшаются, емкостный ток остается неизменным и создает в индуктивном сопротивлении повышение напряжения. Повышение напряжения увеличивает емкостный ток и напряжение еще больше увеличивается. Благодаря этому напряжение в конце линии может подняться до значительной величины (эффект Ferranti). При увеличении передаваемой мощности, по срав-

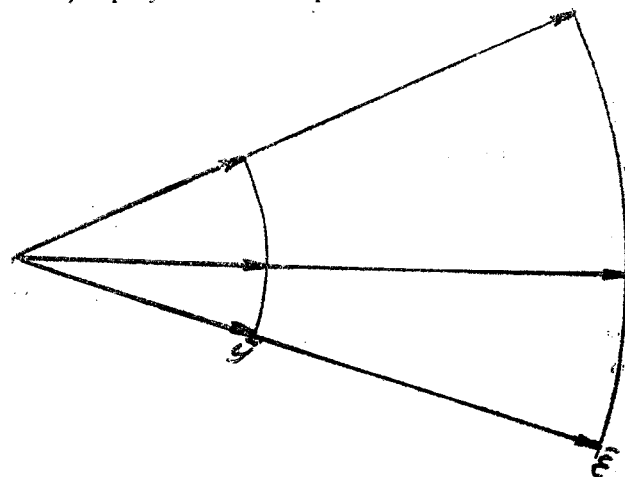


Рис. 13.

нению с естественной, индуктивное падение напряжения возрастает и напряжение в конце линии сильно падает. Таким образом, если не принять специальных мер, напряжение в конце линии будет сильно колебаться при изменении нагрузки, что создает неприемлемые условия для эксплуатации.

Передача естественной мощности не создает затруднений для регулирования. Затруднения возникают лишь при недо-

грузке и перегрузке. Для того чтобы осуществить режим работы передачи естественной мощности при любых значениях и колебаниях нагрузки, необходимо согласно уравнениям (5) или регулировать напряжение передачи, или же изменять волновое сопротивление линии. Первый способ не приемлем, так как потребитель требует постоянства напряжения. Изменение волнового сопротивления можно получить путем последовательного или параллельного присоединения дросселей, емкостей или каких-либо машин реактивного тока. Последовательное включение дросселей в линию увеличивает ее самоиндукцию и, таким образом, увеличивает волновое

сопротивление $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ и уменьшает естественную мощность $P_{\text{ест}} = \frac{E^2}{Z_0}$. Последовательное включение емкостей

действует противоположно. Параллельное присоединение емкостей увеличивает емкость линии, и тем самым уменьшает волновое сопротивление и увеличивает естественную мощность. Параллельное приключение дросселей действует противоположно и уменьшает естественную мощность.

Теоретически эти компенсирующие аппараты должны быть распределены равномерно вдоль линии, практически же их можно сосредоточить в нескольких точках.

При передаче естественной мощности имеет место определенное соотношение между реактивными мощностями емкостного тока и реактивной мощности вследствие индуктивного падения напряжения, а именно: емкостная реактивная мощность равна индуктивной реактивной мощности.

Задача компенсирующих аппаратов заключается в поддержании баланса индуктивной реактивной мощности и емкостной. При нагрузке меньше естественной реактивная мощность

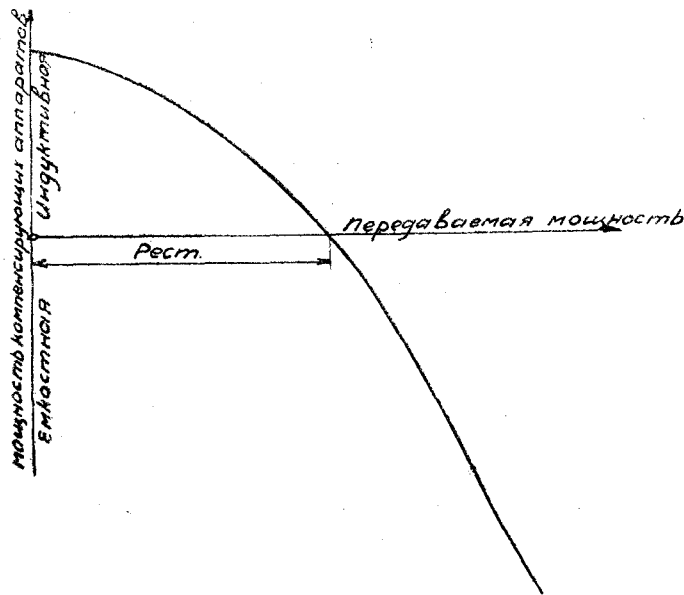


Рис. 14.

от индуктивного падения напряжения получается меньше емкостной, и, следовательно, компенсирующие аппараты должны поглощать отстающую индуктивную мощность. При нагрузке же больше естественной — наоборот, компенсирующие аппараты должны поглощать опережающую емкостную мощность.

С точки зрения мощности компенсирующих аппаратов безразлично, будут ли они включены последовательно или параллельно. Величина их мощности определяется следующим уравнением:

$$P_{\text{реакт}} = \frac{\omega e}{v} \left[1 - \left(\frac{P_{\text{акт}}}{P_{\text{ест}}} \right)^2 \right] P_{\text{ест}} \quad (6)$$

Эта зависимость изображена на рис. 14. При холостом ходе компенсирующая мощность равна мощности емкостного тока линии и должна быть индуктивной. С увеличением нагрузки индуктивная компенсирующая мощность уменьшается и при

естественной мощности передачи равна нулю. При дальнейшем возрастании нагрузки компенсирующая мощность становится емкостной и быстро возрастает по параболическому закону. Как видно из рисунка, значительное увеличение передаваемой мощности по сравнению с естественной требует очень большой мощности компенсирующих аппаратов и практически неприменимо.

В виде компенсирующих аппаратов могут служить: дроссели, статические конденсаторы, синхронные конденсаторы, асинхронные конденсаторы. Дроссели могут применяться для регулирования при нагрузках меньше естественной, и в этой области они являются одним из лучших средств. Статические конденсаторы применимы лишь при передаче мощности больше естественной. Синхронные конденсаторы могут применяться в любой области, причем регулировка их осуществляется очень просто. Необходимо лишь отметить, что индуктивная их нагрузка составляет лишь 0,4—0,6 от емкостной. Это объясняется требованиями устойчивости параллельной работы синхронных конденсаторов, так как при индуктивной нагрузке их возбуждение, а следовательно и э. д. с. должны быть уменьшены, что вызывает уменьшение синхронизирующего момента. Целесообразно одновременное применение дроссельных катушек и синхронных конденсаторов. Асинхронные конденсаторы могут тоже применяться в любой области работы. Их преимущества перед синхронными заключаются в том, что как индуктивная, так и емкостная их нагрузка одинаковы, и не приходится опасаться их выхода из синхронизма. Все же они дороже синхронных.

Регулирование компенсирующих аппаратов обычно устраивается автоматически. Наиболее распространенной является регулировка их по величине напряжения. Это объясняется тем, что при передаче естественной мощности напряжения вдоль линии остаются неизменными по величине. Однако этот способ имеет некоторые недостатки. С одной стороны, регуляторы напряжения должны обладать большой чувствительностью, так как небольшое изменение напряжения вызывает значительные реактивные токи, с другой стороны, требуется большая нечувствительность регулятора, чтобы не вызвать перерегулировки. Более совершенной является регулировка, основанная на балансе реактивных мощностей, предложенная Рюденбергом. Такая регулировка дает возможность регулировать каждую промежуточную станцию независимо от других и совершенно устраняет явления перерегулировки. Это достигается тем, что соответствующее реле контролирует баланс реактивных мощностей лишь на участках, прилегающих к данной подстанции.

Особый интерес представляет одновременное применение последовательной и параллельной компенсации, т. е. компенсируя индуктивность линии последовательными емкостями, а емкости линии параллельно включенными дросселями. Вол-

новое сопротивление такой линии ($Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{0}{0}$) вызывает неопределенность, и, следовательно при любых значениях нагрузки линия будет разгружена от реактивного тока. Подобная линия требует двойной мощности компенсирующих аппаратов, но зато устраняются все вредные явления, свойственные передаче переменным током. Режим работы такой линии определяется лишь ее омическим сопротивлением. Устойчивость параллельной работы при связях по таким линиям значительно увеличивается, выбрасывается реактанс линии. Затруднения здесь лишь в стоимостях статических конденсаторов, а также в явлениях, происходящих при коротком замыкании.

Разобранные выше случаи передачи энергии по длинным линиям в условиях наибольшей их экономичности, т. е. передачи энергии одними падающими волнами, не всегда дают правильное решение. Часто в линиях передачи, в особенности на умеренные длины, выгодно допускать некоторый перепад напряжений. Перепад напряжений позволяет несколько снизить мощность компенсирующих аппаратов. Для того чтобы при минимальных нагрузках не получить чрезмерно большой мощности компенсирующих аппаратов, допускают некоторое колебание напряжений по концам линии. При этом повысительные и понизительные трансформаторы выполняются с регулировкой под нагрузкой. Вопрос о выборе того или иного режима работы линии передачи должен разрешаться в каждом конкретном случае на основе экономического расчета. При этом надо иметь в виду, что работа линии с перепадом напряжения дает более благоприятные результаты с точки зрения устойчивости параллельной работы.

Синхронизация электрических систем

П. С. Жданов

Задачи синхронизации

Вопросы синхронизации отдельных машин и целых генераторных станций при эксплуатации крупных систем должны рассматриваться под углом возможно более быстрого и безопасно введения резервных единиц при авариях с основными машинами системы и с точки зрения быстрого восстановления синхронной работы после выпадения машин из синхронизма, последовавшего в результате короткого замыкания или какой либо другой аварии. Если бы при нарушении устойчивости оказалось возможным, не отключая выпавших машин от сети, в течение доли минуты ввести их снова в синхронизм, то самая опасность динамических нарушений устойчивости была бы в значительной мере смягчена. В эксплуатации американских систем передачи наблюдались случаи произвольного восстановления синхронной работы выпавших машин под влиянием скоростных регуляторов турбин. Таким образом в этом направлении имеются определенные возможности, реализация которых могла бы свести до минимума перерывы электроснабжения, возникающие в результате нарушения устойчивости. Однако в настоящее время эта задача ни в коей мере не решена. Если оставить выпавшую машину в сети без каких-либо дополнительных мероприятий, то возникающие при этом толчки активной мощности могут быть настолько значительными, что эксплуатация основной части системы, оставшейся в синхронизме, может оказаться невозможной. Помимо этого сама выпавшая машина подвергается серьезной опасности. Поэтому при современных средствах контроля и регулирования синхронных машин выпавшая из синхронизма машина должна быть немедленно отключена от сети, и если, причина вызвавшая нарушение синхронизма, уже устранена, то машина возможно быстрее должна быть снова синхронизирована. Причиной выпадения машины является обычно короткое замыкание, которое ликвидируется очень быстро, и, следовательно, длительность перерыва работы машины по существу определяется временем, необходимым для синхронизации.

Таким образом весьма желательно промежуток времени, необходимый для синхронизации машин, свести до минимума. Те же требования предъявляются к синхронизации и с точки зрения быстрого введения резервных машин при авариях.

Синхронизация отдельных машин

Помимо обычного метода синхронизации, основанного на полном выравнивании частот, а также величины и фазы напряжений, в настоящее время имеется ряд схем для автоматической синхронизации, допускающих большее или меньшее расхождение частот и напряжений, позволяющих значительно ускорить процесс синхронизации. Пользуясь немецкой терминологией существующие методы синхронизации можно разбить на три группы: а) точная синхронизация, осуществляемая автоматически или от руки, б) быстрая синхронизация, осуществляемая автоматически и в) грубая синхронизация вручную или автоматически.

Точная синхронизация представляет собой обычно употребляемый метод, требующий точного совпадения величины и фазы напряжений. Расхождение в частотах должно быть ограничено величиной 0,2%.

Максимальный угол расхождения напряжений, который можно допустить в момент включения, не должен превышать 5—10°.

Достигнуть такого совпадения довольно трудно. Необходимое для этого время может достигнуть 10—15 мин. Синхронизация осложняется еще тем обстоятельством, что частота сети даже в условиях нормальной эксплуатации не остается постоянной, а колеблется. Кратковременные колебания частоты сети могут достигнуть до $\pm 0,4\%$ при значительной скорости изменения ее. В таких условиях нельзя быть уверенным, что включение масляника произойдет в момент совпадения фазы напряжений. Включение же незащищенной от чрезмерных токов машины, имеющей сравнительно высокое возбуждение, может повести к совершенно неприемлемым последствиям. Для избежания ошибочных включений можно рекомендовать применение контрольных реле, препятствующих включению масляного выключателя при значительном угле расхождения.

Вследствие длительности процесса точного регулирования скорости машины метод точной синхронизации нельзя признать вполне удовлетворительным. Гораздо более приемлемым в этом смысле является метод быстрой синхронизации. Этот метод допускает значительное различие частот до 1—2% и не требует поэтому точной регулировки скорости.

Синхронизация производится через дроссельную катушку. Возбуждение машины устанавливается равным около 30% от

возбуждения холостого хода. При значительной величине вращающего момента скорость машины доводится до 85—90% от синхронной. После этого вращающий момент уменьшается такой степени, чтобы избыточный момент не превышал 2—5% от нормального. Скорость машины начинает изменяться очень плавно, и при достижении некоторого предельного скольжения (1—2%) происходит включение масляника. Момент включения устанавливается, учитывая собственное время масляного выключателя, таким образом, чтобы контакты соприкоснулись в момент возможно более полного совпадения фазы э. д. с. Этот же момент возбуждения машины резко повышает. Когда возбуждение достигнет нормальной величины, дроссель закорачивается и машина может принимать нагрузку. В эти операции производятся автоматически с помощью специальных реле.

Возникающие при включении машины небольшие качания затухают в течение 2—3 сек., и весь процесс синхронизации занимает 30—40 сек. При величине дроссельной катушки 50—60% толчок тока не превышает 1,5 $J_{нор}$. Мощность дроссельной катушки может быть взята очень небольшой.

Метод быстрой синхронизации может быть применен и к самым большим машинам.

Недостатком этого метода является сложность автоматизации. Если мощность включаемой машины не превышает 0,2—0,4 от общей мощности сети, то можно воспользоваться методом грубой синхронизации. Машина включается через дроссельную катушку или омическое сопротивление при скольжении пределах 2% и при очень слабом возбуждении (10—20%). Включение может произойти в любой момент времени в зависимости от угла расхождения э. д. с. Если момент включения совпадает с моментом оппозиции фаз, то машина может задержаться в этом положении в состоянии равновесия. Поэтому в момент включения желательно иметь небольшой избыточный вращающий момент. Большую роль играет здесь величина демпфирующего момента. При всей своей простоте этот метод связан с длительными колебаниями тока и может быть применяем лишь для небольших машин.

Помимо рассмотренных здесь методов синхронизации существуют еще и другие методы, однако по существу все они сводятся к этим трем основным.

Синхронизация систем и станций

При синхронизации отдельных станций или отдельных частей системы между собой характерным является то обстоятельство, что синхронизируемые элементы систем оказываются различными через реактансы трансформаторов и линий передачи, который может достигать весьма значительной величины. Этот реактанс играет роль дроссельных катушек, включаемых схемах быстрой и грубой синхронизации, и ограничивает толчки тока при включении. Однако, с другой стороны, уменьшает синхронизирующий момент, а также и демпфирующее действие, и поэтому при синхронизации систем все же нужно стремиться к возможно более полному совпадению фаз э. д. с. Это тем более желательно, что возбуждение каждой из синхронизируемых систем может быть ослаблено зарядным током линии, соединяющей обе системы.

Выравнивание абсолютной величины напряжений обеих систем не представляет никаких затруднений. В частности для этой цели могут быть использованы регулирующие трансформаторы, если они имеются в соединяющей линии. Вообще говоря, при синхронизации систем через реактансы линий трансформаторов может быть допущена значительная разница в величине напряжений.

Несколько большие трудности представляет выравнивание частот синхронизируемых систем. Необходимость синхронизации сложных систем возникает обычно как следствие нарушения устойчивости, т. е. перерыва передачи энергии из одной системы в другую. В связи с этим одна из выпавших систем имеет обычно повышенную частоту и свободную мощную машину, другая, наоборот, имеет низкую частоту, и машины перегружены. В этих условиях всегда удобнее регулировать частоту первой системы. Если мощность машины или станции ведущей частоты этой системы, достаточно велика, то вся операция получается очень простой. Регулирование ограничивается лишь этой станцией. Если же одна эта станция не в состоянии довести частоту системы до нужных пределов, приходится воздействовать на основные станции системы. Значительно большие затруднения возникают, если почему-либо желательно сохранить частоту генерирующей (первой) системы, и, наоборот, поднимать частоту второй. Естественной мерой являются здесь введение резервных машин и аварийное включение нагрузок.

Включение масляного выключателя целесообразно осуществить автоматически. Для этой цели могут быть использованы схемы автоматического включения, учитывающие собственное время масляного выключателя, подобно схеме быстрой синхронизации машин. Автоматическая схема дает возможность произвести включение при различии частот более чем в полпериода, благодаря чему процесс синхронизации может быть значительно ускорен.

Благодаря тому, что синхронизация производится при полной величине напряжений с обеих сторон масляного выключателя, в момент включения должно быть обеспечено полное совпадение фаз.

Синхронизация в схеме Баума

Если оба конца линии, имеющей ряд промежуточных синхронных конденсаторов, находятся под напряжением, как это бывает в тех случаях, когда выключение произошло в результате нарушения устойчивости, то синхронизация приемной и передающей системы между собой не представляет никаких особенностей. Вопрос сводится лишь к выравниванию частот, которое может быть выполнено обычными средствами.

Несколько иначе обстоит дело, если линия была выключена с обоих концов и при синхронизации должна быть снова введена под напряжение. Включение холостой линии большой длины связано с опасными толчками реактивной мощности и перенапряжениями.

Поэтому целесообразным представляется последовательное включение отдельных секций с соответствующими промежуточными синхронными конденсаторами. Напряжение на каждой секции лучше всего поднимать постепенно от нуля. Если пуск

синхронных конденсаторов производится от вспомогательного мотора, то операция включения линии может быть произведена следующим образом: сначала пускается конденсатор первой секции, который поднимает напряжение на этой секции. При достижении им синхронного числа оборотов первая секция синхронизируется с шинами системы. После этого на напряжения первой секции пускаются конденсаторы второй секции и вторая секция синхронизируется с первой и т. д. При включении последней секции необходимо выравнивать частоты обеих частей системы. Если же пуск синхронных конденсаторов осуществляется асинхронно с помощью автотрансформаторов, то каждую секцию придется включать сразу на полное напряжение через защитное сопротивление.

Большой интерес представляет пуск всей линии целиком со включенными промежуточными конденсаторами. Большой пусковой ток синхронных конденсаторов в значительной мере компенсировал бы зарядный ток линии. Эта возможность однако далеко еще не изучена.

Если рассматривать вопросы синхронизации с точки зрения единой высоковольтной сети Союза, то здесь необходимо поставить самые жесткие требования в отношении быстроты включения. Исключительно применяемую в Союзе систему точной синхронизации нельзя признать удовлетворительной в этом отношении. В дальнейшем желательно широко применять автоматические способы синхронизации. Для этого должно быть обеспечено производство соответствующих реле и аппаратуры на наших заводах. При этом необходимо обратить внимание на упрощение автоматических приспособлений, сложность которых является главным недостатком систем автоматической синхронизации.

Выводы по основным научно-техническим проблемам ЕВС¹

Кустование систем

1. Ввиду сложности разрешения проблемы токов короткого замыкания, устойчивости параллельной работы, управления и т. п., ЕВС (единая высоковольтная сеть), по крайней мере на ближайшее время, будет представлять ряд непараллельно работающих систем с возможностью в отдельных случаях переброски резервной мощности из одной системы в другую.

2. Для того чтобы иметь возможность обойтись одной общей резервной мощностью для ряда систем, необходимо резервную станцию сосредоточить в месте стыка систем, количество же их для облегчения управления системами должно быть, по возможности, незначительно.

3. Для обеспечения быстрой переброски резерва с одной системы на другую генераторы таких резервных станций должны иметь быструю автоматическую синхронизацию.

4. Для облегчения управления и регулирования системы желательно разбить на ряд связанных друг с другом отдельных частей, причем число их должно быть по возможности незначительно, а сами части достаточно надежны в смысле бесперебойности снабжения.

5. Чтобы обеспечить независимое управление и регулировку внутри каждой части системы, необходимо в линиях, соединяющих отдельные части системы между собой, устанавливать добавочные трансформаторы с регулировкой величины напряжений, а при нескольких связях между двумя частями — с регулировкой как величины, так и фазы. Переброска мощности по этим связям должна контролироваться электрическими реле.

6. Принимая во внимание всю важность и сложность вопроса управления системами и организации диспетчерской службы, вопроса, требующего значительной проработки в проектируемых и эксплуатируемых организациях, а также научно-исследовательских институтах, мы здесь наметим лишь самые основные положения:

а) Управление системами должно идти по принципу максимальной автоматизации и централизации, возможности которых в плановом социалистическом хозяйстве СССР безгранично широки. В частности, должно найти широкое применение управление машинами от электрических реле, позволяющее централизовать их управление, автоматическая регулировка напряжений, телеуправление и т. п.

б) Само управление должно быть дифференцировано (например, по следующему образцу: главный диспетчер — обмен мощностью между системами, центральный диспетчер системы — обмен мощностями между частями системы и местный дис-

петчер — распределение мощностей внутри каждой части системы).

7. Техническое проектирование системы и их кустование должно вестись как комплексная задача, учитывающая все стороны вопроса (регулирование, короткие замыкания, устойчивость параллельной работы, резервирование, релейная защита, управление, заземление, перенапряжение и т. п.).

Регулирование

1. Необходимо пересмотреть допустимые колебания напряжения у потребителей на основе технико-экономического анализа данных эксплуатации и опытов на действительных системах, а также провести анализ режимов регулирования напряжения в сети.

2. Регулирование напряжения в системе путем изменения напряжения генераторных станций затрудняется распределением реактивных токов между отдельными генераторными станциями и возможно лишь при наличии в системе свободной реактивной мощности.

Этот способ для ЕВС является наименее совершенным. Более совершенными способами является применение синхронных конденсаторов, трансформаторов с регулировкой под нагрузкой и добавочных трансформаторов (бустер трансформаторов), включаемых в рассечки отдельных связей. Наиболее рациональным является комбинирование различных методов регулирования.

3. При кольцевых сетях во многих случаях придется регулировать распределение реактивных и активных мощностей по кольцам путем применения добавочных трансформаторов с регулировкой величины и фазы напряжения.

4. В ЕВС трансформаторы с регулировкой под нагрузкой, а также добавочные трансформаторы с регулировкой величины напряжения и с регулировкой фазы напряжения получат большое применение для целей регулирования напряжений реактивных и активных мощностей. Поэтому необходимо срочно приступить к разработке их конструкций, схем автоматического управления и наладить производство на наших заводах, тем более, что больших трудностей здесь не предвидится.

5. При проектировании систем необходимо обращать внимание не только на баланс активных мощностей, но также и на баланс реактивных мощностей. При определении последнего надо обязательно учитывать реактивные потери в трансформаторах, составляющих значительную величину. Необходимая реактивная мощность должна быть доставлена от генераторов и синхронных конденсаторов. В большинстве случаев приходится считать в системе с большой мощностью синхронных конденсаторов, которые можно рассматривать как целые станции реактивной мощности.

¹ Эти выводы входят органической частью в доклад по проблемам ЕВС, представленный ВЭИ под общей редакцией С. А. Лебедева в Госплан СССР, и печатаются в порядке обсуждения.

6. Имея в виду большую потребность в синхронных конденсаторах в настоящее время и с течением времени все возрастающую, необходимо форсировать их производство на наших заводах. Для определения порядка мощности отдельных единиц требуется провести технико-экономическое исследование вопроса выбора места установки синхронных конденсаторов (крупными единицами на основных подстанциях или же распылено в распределительной сети).

7. Необходимо принять меры для улучшения коэффициента мощности нагрузки. Для детального изучения их желательно созвать конференцию с предварительной проработкой вопроса научно-исследовательскими институтами, эксплуатирующими организациями и промышленностью. Здесь же намечаем лишь следующие меры: а) форсировать изготовление синхронных конденсаторов, в) наладить производство синхронных моторов с асинхронным пуском, с) наладить производство статических конденсаторов.

8. Для определения наиболее экономичного коэффициента мощности наших серийных генераторов необходимо научно-исследовательским институтам, проектирующим организациям и электропромышленности произвести соответствующий технико-экономический анализ для двух типов систем: а) с малыми длинами передач и большими концентрированными мощностями и в) для систем с большими длинами линий.

9. Правильное проектирование электрических систем возможно лишь при просчете большого количества вариантов. Электрические расчеты сложных систем достаточно полно можно производить лишь на моделях сетей переменного тока, для чего необходимо снабдить ими крупные проектирующие и эксплуатирующие организации. Необходимо вести дальнейшее усовершенствование моделей в сторону упрощения работ на них и пригодности для непосредственных расчетов динамической устойчивости.

10. Применение специальных регуляторов первичных двигателей, работающих от электрических реле, значительно упрощает управление системой и позволяет распределять активные мощности между генераторными станциями по плану. В ЕВС они найдут широкое применение. В задачи научно-исследовательских институтов и промышленности входит исследование существующих типов регуляторов первичных двигателей и разработка конструкций, схем управления и исследование новых типов, работающих от электрического реле.

Синхронизация

1. С точки зрения быстрого введения резервных единиц и уменьшения времени простоя при выходе системы из синхронизма применяющийся в Союзе способ точной синхронизации нельзя признать удовлетворительным. В дальнейшем для ЕВС следует применять автоматические способы синхронизации. Для этого необходимо произвести разработку конструкций соответствующих реле и аппаратуры, обратив внимание на упрощение автоматики, поставить экспериментальные исследования различных схем и организовать производство их на наших заводах.

2. Научно-исследовательским институтам совместно с эксплуатирующими организациями предстоит решить довольно сложную задачу быстрой синхронизации мощных электрических систем.

Устойчивость

1. Бесперебойность электроснабжения основных магистралей и трудности синхронизации отдельных крупных систем между собой выдвигают проблему устойчивости на одно из первых мест при проектировании ЕВС. Расчеты устойчивости являются необходимым этапом при проектировании электрических систем. При производстве их необходимо учитывать вероятность аварии и наиболее опасное место ее.

2. Расчет устойчивости сложных систем сопровождается рядом упрощений, которые во избежание больших ошибок следует производить на основе тщательного изучения соотношений между реактансами и константами инерции отдельных частей системы и на основе предвидения поведения отдельных станций при аварии.

3. Необходима дальнейшая разработка и анализ методов упрощения расчетов устойчивости сложных систем, в частности, упрощенных методов расчета с учетом характеристик нагрузки. Также необходимо выработать инструкцию по типовому расчету устойчивости.

4. На динамическую устойчивость системы влияют как реактансы прямой последовательности системы, так и обратный и нулевой. Уменьшение реактансов прямой последовательности в целях увеличения устойчивости ограничено техническим и экономическими пределами. Увеличение реактансов обратной и нулевой последовательности возможно осуществить путем заземления трансформаторов наглухо через импеданс (нулевая последовательность) и путем применения

схемы инж. Щедрина (обратная последовательность). Обе эти меры дают значительное увеличение устойчивости. Научно-исследовательским институтам необходимо произвести более детальное исследование и разработку конструкции мотора Щедрина.

5. Наиболее радикальной мерой повышения устойчивости в настоящее время является уменьшение времени выключения поврежденного участка. Разработка конструкций и схем быстродействующих реле и выключателей, а также постановка производства их на наших заводах является неотложной задачей, стоящей перед научно-исследовательскими институтами и электропромышленностью.

6. Вопрос увеличения скорости подема возбуждения для поддержания устойчивости еще не достаточно полно изучен и должен подвергнуться исследованию. Повидимому, скорости подема напряжения возбудителей порядка 200—400 V/sec будут вполне достаточны. Производство таких возбудителей и соответствующих быстродействующих регуляторов напряжения должно быть налажено на наших заводах.

7. Демпферные обмотки могут оказывать как положительный, так и отрицательный эффект, вообще же их влияние на устойчивость незначительно. Некоторый интерес представляет исследование специальных двухслойных демпферных обмоток.

8. Хорошей мерой повышения устойчивости является однофазный резерв. Эта мера недостаточно полно изучена и требует дополнительного исследования.

9. Схемы коммутации станций оказывают влияние на устойчивость и при выборе их это обстоятельство не надо упускать из вида.

10. Исследование характеристик регуляторов первичных двигателей и конструирование и испытание специальных аварийных регуляторов, работающих от электрического реле, при удачном разрешении даст наилучший способ увеличения устойчивости. В этом направлении необходимо вести форсированную проработку и организовать испытания на действительных системах.

11. Для оценки эффекта отдельных мер увеличения устойчивости и их рентабельности надо произвести технико-экономический анализ. Данные анализа позволяют рекомендовать применение различных мер в действительных системах.

Токи короткого замыкания

В связи с ротором мощности проблема токов короткого замыкания в ЕВС получает особенно большое значение.

1. Расчеты токов короткого замыкания и сравнение многочисленных вариантов для выборов наилучшего решения возможны лишь при наличии специальных расчетов столов, для чего необходимо снабдить ими крупные проектирующие и эксплуатирующие организации.

2. Расчеты токов короткого замыкания сверхмощных систем осложняются тем обстоятельством, что необходимо учитывать поведение нагрузки и быстродействующих регуляторов напряжения. Разработка соответствующих методов является очередной задачей научно-исследовательских институтов и проектирующих организаций.

3. Для облегчения расчетов, производимых проектирующими организациями, желательно составить инструкцию по типовым расчетам и выработать стандартные методы, а также собрать данные о генераторах, трансформаторах линий и нагрузке с целью установления их типичных констант.

4. В ЕВС придется иметь дело с большими разрывными мощностями выключателей (порядка 2 500 000 и выше). В связи с этим следует форсировать разработку конструкций и производства сверхмощных выключателей на наших заводах, а для испытания выключателей организовать мощную испытательную станцию.

5. Принимая во внимание большие трудности в устройстве заземлений, а также с точки зрения повышения устойчивости, необходимо пересмотреть вопрос о работе наших систем с глухо заземленной нейтралью, для чего следует организовать в ближайшее время конференцию, поручив научно-исследовательским институтам предварительно проработать этот вопрос.

Секционирование¹

1. Для ограничения токов короткого замыкания в ЕВС придется применять различные способы секционирования, выбор которых должен производиться на основе тщательного изучения поведения всей системы с точки зрения токов короткого замыкания, регулирования и устойчивости.

2. При определении числа секций, величины реактивности и пропускной мощности реакторов надо более точно учесть

¹ Статья т. Рокотян о секционировании электростанций, представленная вместе со статьями гг. Лебедева, Сазанова и Жданова в порядке доклада Госплану СССР о ЕВС, будет напечатана в № 3.

возможные небалансы мощностей и, главным образом, небалансы реактивных мощностей, вызывающие значительные разности напряжений между соседними секциями. В тех случаях, когда небалансы реактивной мощности получаются большими и когда требуется большая гибкость в регулировке напряжений секций, вместо реакторов можно употреблять добавочные регулируемые трансформаторы.

3. С точки зрения устойчивости, схемы Скотта и реакторы в расщеле шин идентичны. Для ориентировочных прикидок критической величиной реактанса реактора можно принять при балансе мощностей примерно 270% и при переброске через реактор его номинальной мощности—150—180% (относительных к мощности здоровых секций с учетом параллельно присоединенных станций).

4. Из схем секционированных станций наилучшей, в смысле надежности и бесперебойности работы, является схема Скотта, дающая наибольшее ограничение токов короткого замыкания и локализирующее действие, и как более гибкая в эксплуатации.

5. Укрупнение мощностей станций приводит к более мощным генераторным единицам (100—200 мВт), которые должны выполняться по типу двухобмоточных генераторов. Последние найдут широкое применение в ЕВС с ее крупными станциями, и необходимо форсировать разработку их конструкций и производство на наших заводах.

6. При разработке конструкций двухобмоточных генераторов надо обратить особое внимание на выбор типа обмотки, необходимо привлечь к этой работе помимо работников электропромышленности также проектирующие и эксплуатирующие организации и научно-исследовательские институты и продискутировать вопрос в периодической технической литературе.

7. Двухобмоточные генераторы позволяют секционировать шины станций, причем в д. с. отдельных секций жестко совпадают по фазе. Нормальные и аварийные токи при этом уменьшаются, что приводит к уменьшению размеров аппаратуры и зданий распределительных устройств, а следовательно, и к сокращению стоимости.

8. Применение двухобмоточных генераторов уменьшает гибкость работы станций, ограничивается переброска мощностей с одной секции на другую, затрудняется самостоятельная регулировка напряжений отдельных секций, при небалансах нагрузки, возникают механические напряжения, вибрации и чрезмерные дополнительные потери.

9. Малая изученность работы двухобмоточных генераторов, в особенности на высоковольтную сеть, требует от научно-исследовательских институтов, проектирующих и эксплуатирующих организаций изучения их характеристик, в частности, влияния насыщения, небалансов нагрузки отдельных обмоток, исследования регулирования и устойчивости, сравнительного изучения схем станций и их эксплуатации, выяснение возможности применения принципа двух обмоток к гидрогенераторам и пр.

10. Синхронизация на нагрузке применяется в САСШ для сетей с средним и низким напряжением и имеет много сторонников. В мощных высоковольтных сетях этот способ секционирования недостаточно испробован и исследован. Научно-исследовательским институтам, проектирующим и эксплуатирующим организациям предстоит выполнить этот пробел. По-видимому, этот способ найдет широкое применение в ЕВС.

11. По мере развития систем временно придется иметь дело с непараллельной работой отдельных частей систем, что вряд ли можно признать удовлетворительным, и по мере смены аппаратуры система будет переходить на другие способы секционирования.

12. Для полноты оценки различных способов и схем секционирования необходимо произвести технико-экономический анализ и определить области их применения.

Передача энергии на большие расстояния

1. Наиболее рациональным способом передачи энергии на большие расстояния будет передача постоянным током высокого напряжения. Однако на ближайшее время придется ориентироваться на переменный ток. При этом основным фактором, определяющим передачу, является устойчивость параллельной работы. Расчет передач должен начинаться с расчета устойчивости, а не с вопросов регулирования.

2. Без применения специальных мер можно передавать большие мощности лишь на расстояниях порядка 400 км. При этом линия передачи должна работать с некоторым перепадом напряжения, который оказывает весьма сильное влияние на устойчивость, а также желательно секционировать линию.

3. При передаче по схеме Баума на большие расстояния увеличение устойчивости можно получить лишь при ударном возбуждении синхронных конденсаторов. Более равномерное распределение синхронных конденсаторов вдоль линии несколько увеличивает устойчивость. Мощность их, исходя из условий устойчивости, как общее правило, получается больше,

чем из электрического расчета. Для увеличения устойчивости синхронные конденсаторы с ударным возбуждением должны быть загружены не более чем на 30% от номинальной мощности во избежание вредного влияния насыщения.

4. Предстоит большая работа по дальнейшей разработке устойчивости в схеме Баума, в частности учет влияния насыщения, разработка конструкций и схем управления ударным возбуждением, разработка упрощенных моторов расчета и пр. Производство синхронных конденсаторов с ударным возбуждением и соответствующей аппаратуры необходимо поставить на наших заводах.

5. Регулирование при передаче энергии на большие расстояния по схеме Баума не вызывает особых затруднений. Необходимо лишь отметить, что при минимальных нагрузках регулировку выгоднее производить дросселями. Больное применение может получить регулировка по схеме Рюдена-Берга, основанная на балансе реактивных мощностей. Разработка конструкции соответствующей аппаратуры представляет некоторый интерес.

6. Большой интерес, но пока больше теоретический, представляют компенсированные линии, по своим свойствам приближающиеся к линиям постоянного тока. Затруднения лежат в потребности двойной компенсирующей мощности, неблагоприятных условиях работы при авариях (короткое замыкание) и большой стоимости статических конденсаторов.

7. Передача энергии кабелем высокого напряжения имеет ряд преимуществ перед воздушной: защищенность от перенапряжений, большая естественная мощность, меньшая самоиндукция, большая оборотоспособность. К недостаткам его относятся: сложность изготовления, большая стоимость, большие емкостные токи, требующие большой компенсирующей мощности дроссельных катушек при малых нагрузках. На отдельных участках высоковольтные кабели безупречно получают применение, и необходимо развивать их производство.

8. Основные затруднения передачи энергии постоянным током высокого напряжения лежат в области генерации его и преобразования в переменный ток. В этой области необходимо вести форсированную разработку научно-исследовательским институтам. Наибольший интерес вызывают всевозможного вида ионные и электронные преобразователи, на которых следует сосредоточить особенно усиленное внимание.

9. При передаче постоянным током совершенно отпадает вопрос устойчивости параллельной работы между генераторной и приемной системами и передача может являться лишь причиной, вызывающей качание синхронных машин внутри каждой системы.

10. Основным недостатком передач постоянным током высокого напряжения является отсутствие селективности. При современном уровне техники подобные передачи могут быть выполнены лишь на постоянство силы тока, а не напряжения, что требует последовательного включения приемников. Короткое в какой-либо точке хотя и не вызывает опасений с точки зрения чрезмерных токов, но зато прерывает электропитание потребителей, лежащих за точкой короткого.

11. Значительно большую надежность дает работа с незаземленной нейтралью, однако, это приводит к двойному увеличению изоляции системы. Применение кабеля значительно увеличивает надежность передачи и не вызовет особых трудностей.

12. Разработка всех вопросов, связанных с передачей постоянным током высокого напряжения, в частности, создание селективной схемы, создание аппаратов, позволяющих выключать большие токи, использование земли в виде обратного провода и пр., все это представляет обширное поле для научно-исследовательской мысли, и на разрешение их должны быть брошены силы и средства.

Заключение

1. Необходимо рационально использовать силы научно-исследовательских институтов, промышленности, проектирующих и эксплуатирующих организаций, создав согласованный план работ на основе всей суммы проблем, выдвигаемых ЕВС. Во всей исследовательской работе необходимо обеспечить марксистско-ленинскую методологическую основу разрешения технических и технико-экономических проблем ЕВС. Необходимо участие в этой работе Института техники и технической политики.

2. Необходимо организовать по ряду проблем кооперативные формы работ между отдельными организациями, лабораториями, группами.

3. Необходимо организовать конференции по основным кардинальным вопросам ЕВС. В ближайшее время созвать конференцию по коэффициенту мощности (см. § 16) и по вопросу заземления нейтрали (см. § 38).

4. Необходимо организовать широкую постановку опытов на существующих системах.

5. Для овладения достижениями заграничной техники и ознакомления с современным состоянием проблемы кустования командировать за границу ряд специалистов.

НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Новейшие достижения в области теории и практики фотоэлементов¹

Б. А. Розинг

1. Введение

Фотоэлементами и фотосопротивлениями называются приспособления, служащие для превращения световой энергии в электрическую. Преследуя одну и ту же цель, они однако отличаются друг от друга по способу их действия. Фотосопротивления представляют собой проводники или полупроводники, которые изменяются под действием света в своей проводимости. Они появились раньше фотоэлементов, но роль их в настоящее время менее значительна, чем роль фотоэлементов. Фотоэлементы основаны на другом принципе, а именно на явлении Гальвакса. Под влиянием световых лучей в них возникают электронные потоки. Эти последние и являются теми электрическими токами, которые возникают в фотоэлементах под влиянием света. Таким образом в темноте фотоэлементы не дают тока, а этот последний возникает всецело за счет световой энергии. Напротив того, в фотосопротивлениях токи существуют и в темноте; на свету эти токи только увеличиваются в своей силе. Однако в случае газонаполненных (или газополных) новейших фотоэлементов функции их и функции фотосопротивлений сближаются, как увидим далее. Так в этих фотоэлементах может проходить и в темноте.

Фотосопротивлениями являются, главным образом, твердые простые и химически сложные полупроводники. Они однородны по всей своей длине, и свет равномерно действует на них. Напротив того, газополные фотоэлементы представляют собой, как показывает и само название, газовую среду, на которую свет „непосредственно не действует“. Свет же действует на фотоэлектроны, которые выделяются с освещенной поверхности некоторого металла, расположенного отдельно внутри газовой среды, и сообщают ей проводимость. Но существуют, однако, и такие фотоэлементы, в которых газовая среда сама по себе изменяется под действием света. Различия между такими фотоэлементами и фотосопротивлениями совершенно стирается.

В настоящем очерке новейших достижений как теории, так и практики мы рассмотрим сначала простые, так называемые пустотные фотоэлементы, затем газополные фотоэлементы, наконец фотосопротивления. Иногда последний класс называют фоторезистивными элементами (от французского слова „resistance“, что значит „сопротивление“).

Первый опыт, который послужил к созданию фотоэлементов вообще, был произведен за границей Гальваксом в 1888 г., а у нас проф. Столетовым. Замечательный опыт Столетова демонстрировался в торжественной обстановке на одном из съездов естественных наук и врачей в Петербурге и произвел на членов съезда, впервые видевших действие света на электричество, глубокое впечатление. Световые лучи (от дуговой лампы) проходили сквозь алюминиевую решетку и падали на цинковую пластинку, расположенную параллельно решетке и отделенную от нее слоем воздуха. Несмотря на то, что этот последний является при атмосферном давлении непроводником, при освещении он становился проводником, и чувствительный гальванометр, включенный в цепь, указывал на существование тока в этом воздушном промежутке.

Механизм этого явления представляется теперь весьма простым: воздух становится проводником под действием фотоэлектронов, которые выделялись с поверхности цинка. Таким образом это устройство соответствовало тому, что мы называем теперь газонаполненными фотоэлементами. Однако чувствительность его была несравненно меньше, чем у современных фотоэлементов (главным образом потому, что газовая среда не была разрежена, как в современных фотоэлементах, а имела атмосферное давление). Эту чувствительность можно определить приблизительно в 10^{-13} А на 1 люмен², в то время как современные фотоэлементы дают несколько микроампер (10^{-6} А) на 1 люмен.

¹ „Вестник комитета по изобретательству“, № 7, 1931. Печатаемая в порядке обсуждения статья Б. Розинга, редакция отмечает, что, при наличии достаточного охвата вопросов теории работы фотоэлементов, у автора отсутствуют указания на практическое применение фотоэлементов. Кроме того совершенно не описаны наши советские достижения в области фотоэлементов и работы по этой линии Всесоюзного электротехнического института, Ленинград, Электротехнического института и, в частности, А. А. Чернышева. Редакция имеет в виду в особых статьях осветить эти вопросы.

² Люмен есть $\frac{1}{4\pi}$ светового потока, распространяющегося в единицу времени по кругу нормальной свечи.

Фотоэлементы были изобретены и сконструированы в окончательном виде, годном для практических целей, в 1909 г. Эльстером и Гейтелем. Они представляли собой чаще всего круглые баллоны, часть внутренней поверхности которых покрыта слоем какого-либо щелочного металла (калия, натрия, рубидия или цезия или их сплавов), служившего в качестве катода. Перед катодом расположен анод в виде стерженька или кольца (алюминий, медь, никель). В пустотных фотоэлементах из баллона выкачан воздух до возможно большего разрежения. Действие пустотных фотоэлементов таково. Под влиянием света, падающего на поверхность катода, из этого последнего выделяются электроны, число которых в единицу времени пропорционально количеству световой энергии, поглощаемой им за тот же промежуток времени, т. е. числу люменов. Под действием напряжения, приложенного к полюсам фотоэлемента (т. е. между его катодом и анодом), эти электроны летят по направлению от первого ко второму.

2. Теория фотоэлектрических явлений

Однако, если способ действия пустотного фотоэлемента с внешней стороны весьма прост, объяснение внутреннего механизма его представляло для физики большие трудности и заставило даже пересмотреть ряд старых понятий. Так, между прочим, явление фотоэлектричества было одной из причин пересмотра классической электронной теории света и создания новой теории световых квантов как самостоятельного учения.

Действительно, электронная теория, полагающая в основу световых явлений колебания электронов, в том виде, как она была предложена Лоренцем, оказалась не удовлетворяющей опытным данным.

В свою очередь она опиралась на классическую теорию электромагнитного излучения. Поэтому и эта последняя должна была быть пересмотрена.

Главной ошибкой обеих теорий было то положение, что всякий колеблющийся электрон испытывает со стороны окружающего пространства (излучения) особую силу вроде трения (реакция излучения). Формула этой силы была выведена Герцем еще в 1888 г. Но уже в 1900 г. Г. Пуанкаре указал на принципиальную ошибочность этого положения, так как оно противоречит закону Ньютона о равенстве действия и противодействия. С другой стороны, оно оказывается в резком противоречии с тем, что мы знаем о процессах, происходящих в мире атомов и молекул. Именно при существовании подобной силы трения были бы невозможны устойчивые движения электронов, которые, несомненно, лежат в основе световых, а также и магнитных явлений в телах.

Поэтому Бор, строя свою теорию квантов, должен был отвергнуть существование указанной реакции, по крайней мере, в некоторых случаях: при так называемых устойчивых или квантовых движениях электронов вокруг атомных ядер.

Но он принял существование этих „квантовых“ орбит без доказательств как постулат.

В последнее время как в иностранной, так и в русской науке производится усиленные попытки найти теоретические доказательства для них, причем это производится двумя путями: с одной стороны, путем построения совершенно новой теории электронов и материи (волновая теория материи) или путем развития старой, так называемой классической электродинамики (теории электромагнитных колебаний). Мы остановимся только на этом втором пути как более простом.

Еще в 1908—1909 гг. в ряде статей В. Ритц указал, что так называемая классическая теория электромагнитных колебаний (Герца и Лоренца) представляет собой неполную математическую теорию, а именно: то электромагнитное поле (волны), которое согласно классической теории существует вокруг движущегося электрона и является источником указанных выше сил реакции, представляет собой только частное решение основных уравнений Максвелла-Лоренца. На это указывал в общем в свое время и сам Лоренц.

Конкретно говоря, это значит, что поле, образующееся по учению Лоренца вокруг колеблющегося или вращающегося электрона, состоит не из одной только этой системы волн, бегущих от электрона во все стороны со скоростью света. Действительное поле—более сложное. Оно состоит из двух систем волн: первые волны разбегаются от электрона, а вторые сбегают к нему. В совокупности эти системы в случае

устойчивого движения электрона складываются в одну систему волн—так называемые стоячие волны. При неустойчивых движениях эти волны тоже существуют, но к ним прибавляются бегущие волны в зависимости от того, насколько движение электрона отклоняется от устойчивого состояния.

Итак свет, а также и другие электромагнитные излучения имеют по обобщенной теории в своей основе не бегущие, а стоячие волны. Такие волны нам, между прочим, хорошо известны в звуковых колебаниях, в звучащих струнах, органных трубах и пр.

Но стоячие волны, как известно, обладают тем свойством, что при них энергия не рассеивается. Отсюда и становится вполне понятным первый постулат Бора, говорящий, что при установившихся движениях электронов в атомах реакция со стороны окружающего пространства отсутствует и энергия, следовательно, не рассеивается.

Также удалось доказать с обобщенной точки зрения и второй постулат Бора. Этот постулат говорит, как сказано выше, о существовании особых, так называемых квантовых, орбит электронов в атомах.

Действительно, вращение электронов вокруг атомных ядер обычно объясняется как результат притяжения, производимого ядром, заряженным положительно, на движущийся электрон, заряженный отрицательно.

Согласно обобщенной теории тот же механизм движения электронов остается, но для того чтобы объяснить существование квантовых орбит, приходится сделать еще добавочное предположение относительно действующих в нем сил, а именно: автор настоящей статьи¹ пользуется принятым вообще в современной физике взглядом, что и ядро тоже находится во вращательном движении вокруг некоторого центра вращения, притом с большей скоростью, чем электрон, и с меньшим радиусом орбиты. Вследствие этого и вокруг ядер тоже должны существовать свои стоячие электромагнитные волны, но с значительно меньшей длиной волны. Обозначим длину этих волн буквой λ^2 . Вследствие этого и получается, что движения электронов вокруг ядер должны происходить под влиянием не одних только вышеуказанных электрических сил Кулона. Так, между прочим, на них должны действовать и магнитные силы со стороны упомянутых стоячих волн ядра. Эти последние силы нарушают правильное круговое движение электронов и делают орбиты неустойчивыми. Но эти силы, очевидно, отпадают, когда электрон оказывается на одной из так называемых узловых поверхностей укаванных волн, где магнитные силы равны нулю. Радиусы этих поверхностей и следует поэтому считать радиусами устойчивых или квантовых орбит. Найдем эти последние.

Как указано выше, узловые поверхности отстоят друг от друга на половину длины волны λ . Следовательно, первое условие квантовых орбит заключается в том, чтобы в радиусах квантовых орбит содержались некоторые целые числа длины волн. Обозначая вообще целое число буквой i , а радиус— r , мы и получаем равенство:

$$r = i\lambda = \frac{2\pi c}{\omega_0} \quad (1)$$

Далее напомним общеизвестные формулы вращательного движения для скоростей электрона и ядра:

$$v = \omega r \text{ и } v_0 = \omega_0 r_0,$$

где v и ω —линейная и угловая скорости для электрона, а v_0 и ω_0 —те же величины для ядра. Буква r_0 обозначает радиус орбиты, по которой вращается ядро.

Так же напомним и выражения для кинетических энергий того и другого:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2\omega^2 \text{ и } \frac{1}{2}m_0v_0^2 = \frac{1}{2}m_0r_0^2\omega_0^2,$$

где m —масса электрона, а m_0 —масса ядра.

Напишем еще общеизвестную формулу, связывающую центробежную силу для электрона $\frac{mv^2}{r}$ с силой притяжения между электроном и ядром $\frac{e^2}{r^2}$:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{r^2} \quad (2)$$

Здесь заряды e электрона и ядра предполагаются равными между собой, как, например, в атоме водорода.

Наконец, воспользовавшись вышенаписанными формулами кинетических энергий электрона и ядра, составим формулу закона сохранения энергии для системы: электрон—ядро,

приравняв сумму этих кинетических энергий потенциальной энергии системы $\frac{e^2}{r}$, взятой с противоположным знаком:

$$\frac{1}{2}mr^2\omega^2 + \frac{1}{2}m_0r_0^2\omega_0^2 = \frac{e^2}{r} \quad (3)$$

Теперь исключим из равенств (1), (2), (3) величины ω и ω_0 и мы получим искомую формулу квантовых орбит, т. е. выражение для радиусов этих орбит:

$$r = \frac{4m_0\pi^2c^2r_0^2}{e^2}i^2 \quad (4)$$

Мы видим, что в правой части этого равенства множитель при i^2 частью состоит из постоянных величин, частью же в него входит r_0 , которое тоже можно считать приблизительно постоянным. Действительно, r_0 есть радиус орбиты ядра, и можно считать, что при изменении радиуса орбиты электрона размеры орбиты ядра ввиду очень большой его массы, остаются постоянными.

Поэтому предыдущую формулу можно написать в следующем виде:

$$r = \text{пост } i^2 \quad (i = 1, 2, 3, \dots), \quad (4a)$$

т. е. радиусы квантовых орбит электрона в атоме водорода пропорциональны квадратам натуральных чисел.

Это и есть известный второй постулат Бора.

Интересно, что в совпадении формулы (4) с теорией Бора обобщенная теория находит подтверждение не только в теоретическом отношении, но и в числовом. В самом деле, для водородного атома по теории Бора множитель при i^2 равен $0,532 \cdot 10^{-8}$, т. е.

$$\frac{4m_0\pi^2c^2r_0^2}{e^2} = 0,532 \cdot 10^{-8}.$$

Подставляя в левую часть этого равенства вместо m_0 , π , c и e хорошо известные в физике величины, мы получаем для r_0 —радиуса орбиты ядра водорода: $r_0 = 1,45 \cdot 10^{-13}$ см. Это число очень близко к тем, которые получили Резерфорд и др. для того же ядра из совсем других опытных данных.

Обратимся теперь к третьему и самому важному (с точки зрения фотоэлектричества) постулату Бора, так называемому закону частот. Мы видели, что электрон, двигаясь по какой-либо замкнутой и неизменной орбите, не излучает энергии. Он излучает ее только тогда, когда траектория его движения изменяется, например, при переходе с одной устойчивой орбиты на другую, а именно с орбиты большого радиуса на орбиту меньшего. Если мы обозначим радиусы этих орбит и скорости электрона на них буквами r_1 , v_1 , r_2 , v_2 , то полные энергии электронов в обоих случаях выражаются:

$$W_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{e^2}{r_1}$$

и

$$W_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{e^2}{r_2}$$

или, так как согласно формуле (2)

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{e^2}{2r_1}$$

и

$$\frac{mv_2^2}{2} = \frac{e^2}{2r_2},$$

то получим:

$$W_1 = -\frac{1}{2}mv_1^2$$

и

$$W_2 = -\frac{mv_2^2}{2}.$$

Закон частот Бора и говорит, что частоты ν световых колебаний, которые испускаются электронами при переходах с одной орбиты на другую, равны разностям полных энергий электронов на этих орбитах, деленным на некоторое постоянное число h , т. е.

$$\nu = \frac{W_1 - W_2}{h} \quad (5)$$

Пользуясь выражениями для энергий W_1 и W_2 , можно написать то же выражение для ν в следующем виде:

$$\nu = \frac{mv_2^2 - mv_1^2}{2h} \quad (6)$$

или по формуле (2):

$$\nu = \frac{e^2}{2h} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right). \quad (7)$$

Из этих формул можно вывести несколько полезных следствий. Так, из формулы (7) видно, что ν увеличивается вместе с уменьшением радиусов r_2 и r_1 , т. е. что волны, испускаемые при переходах электронов между орбитами меньших радиусов (лежащих ближе к ядру), имеют соответственно

¹ См. подробную теорию квантовых орбит в статье Б. Розинга „Обобщенная электродинамика и теория квантов“. Журнал Русс. физ.-хим. общества, 1929 г., № 1, стр. 27—43.

² Под длиной стоячих волн понимается удвоенное расстояние между последовательными пучностями или узлами.

меньшую длину (большее число колебаний ν). Они лежат ближе к фиолетовому концу спектра.

Наконец, формулу (5) можно написать:

$$W_1 - W_2 = h\nu, \quad (8)$$

т. е. разность энергий электронов, движущихся на соседних орбитах, равна частоте излучения, испускаемого при переходе с одной орбиты на другую, умноженной на постоянную h .

Заметим, что постоянная h равна $6,54 \cdot 10^{-27}$ и называется постоянной Планка.

Но разность энергий $W_1 - W_2$ есть согласно Бору как раз сама излучаемая энергия W . Она уносится в виде так называемого „кванта энергии“. Отсюда следует, что кванты энергии, соответствующие более коротким волнам и соответственно более глубоко лежащим орбитам, больше по своей величине.

В фотоэлементах с этими квантами происходит обратный процесс. Здесь под действием поглощаемых квантов электроны выделяются из тела, притом в тем большем количестве, чем больше число этих квантов. Как видно, этот последний закон подобен тому, что мы знаем относительно испарения тел под действием теплоты (скрытая теплота). Там также число выделяющихся молекул пропорционально количеству поглощаемой энергии.

Однако между этими двумя процессами существует и различие. Там теплота считается непрерывной величиной, здесь же кванты являются величинами „дискретными“. Вследствие последнего обстоятельства в явлениях фотоэлектричества обнаруживается особенность, которую мы не знаем в учении о теплоте. Так как для выделений электронов из атомов того или другого тела требуются определенные порции энергии и эти порции должны доставляться целиком тем или другим квантом, то может случиться, что для данного вещества кванты определенного размера могут оказаться недостаточными. В таком случае наступает особенное явление: лучи достаточно малых частот или достаточно больших длин волн перестают выделять электроны из данного вещества, какой бы силой эти лучи ни обладали.

Эта граница называется „красной границей фотоэлектрического эффекта для данного вещества“. В табл. I указаны „красные границы“ для щелочных металлов.

Таблица I

Металлы	Красная граница (длина волн в единицах Ангстрема 10^{-8} cm)
Литий	2 800
Натрий	3 400
Калий	4 350
Рубидий	4 800
Цезий	5 100

Указанный выше закон частот объясняется по обобщенной теории света следующим образом. Нужно заметить, что в современной физике все более проникает тот взгляд, что в раскаленных телах и газах, которые и являются источниками света, в их различных процессах принимают большое участие так называемые свободные электроны. Они выделяются предварительно из атомов и наполняют пространство среди них в виде так называемого „электронного газа“. Эти электроны подобно обыкновенным газам имеют самые разнообразные скорости. Кроме того, вследствие взаимодействия между собой и действия их друг на друга или на электроны, входящие в состав атомов (через посредство ударов или излучения), все они находятся в непрерывном обмене энергией между собой. Но вследствие того, что мы имеем здесь, как и в газах, так называемые законы больших чисел, распределение энергии в каждый момент времени здесь между электронами и атомами также не случайно, как и там. Как известно, пользуясь этим, еще Максвелл установил для газов определенный закон распределения скоростей и энергий между их частицами. Согласно этому закону наибольшее число частиц обладает некоторой средней скоростью, число же частиц, имеющих скорость, равную нулю или бесконечности, равно нулю.

Закон Максвелла, однако, в настоящее время подвергается пересмотру, в особенности, в связи с учением о квантах. Таким образом и в данном случае электронного газа при нали-

ции особых квантовых орбит приходится несколько уклониться от закона Максвелла распределения скоростей в материальных газах, а именно приходится считать, что электронами, обладающими „нулевой“ концентрацией (т. е. такими, число которых в единице объема газа равно нулю), являются здесь не только те, которые, как указал Максвелл, обладают нулевой скоростью или скоростью, равной бесконечности, но и все те, которые имеют скорость, равную квантовой скорости (квантовой скоростью называется та, с которой электрон движется вокруг ядра той или другой квантовой орбиты).

Действительно, согласно недавним наблюдениям Дэвиса и Бернса¹ свободные электроны, обладающие именно этими скоростями, чрезвычайно сильно поглощаются ионизованными атомами (атомами, лишенными одного или двух электронов) или атомными ядрами в случае водорода. Отсюда следует заключить, что число их в самом электронном газе должно быть так же, как и при нулевых скоростях, равно нулю. Следовательно, эти электроны остаются внутри атомов и движутся внутри них, а не в газе. Остальные электроны ударяются друг о друга и об атомы, сцепляются с этими последними и с ядрами, приходят при этом в колебательное или во вращательное движение в зависимости от их скорости; этот период и составляет сущность лучеиспускания по новой теории; затем они снова возвращаются в свободное состояние. Очевидно, участие тех или других электронов, обладающих той или другой скоростью, в процессе излучения будет тем больше, чем больше число этих электронов в газе (концентрация).

Поэтому и наибольшую энергию будут иметь излучения тех частот, которые соответствуют колебаниям именно этих электронов. Их частоты и есть так называемые квантовые частоты. В раскаленных газах, как известно, они обнаруживаются в виде ряда спектральных линий.

Как видно, эти частоты вовсе не равны частотам, которыми характеризуются устойчивые орбиты, но представляют собой некоторые средние величины между ними.

Но можно показать, что эти последние частоты или, что то же самое, этот период колебаний есть средняя величина периодов за промежуток между двумя соседними квантовыми орбитами, взятая, как говорится, „по энергии“. Это значит, что искомый средний период τ_{cp} есть такая средняя величина, при которой независимой переменной является энергия. Он выражается математически следующим образом:

$$\tau_{cp} = \frac{\int_{W_2}^{W_1} \tau dW}{W_1 - W_2}. \quad (9)$$

Здесь $\int_{W_2}^{W_1} \tau dW$ есть сумма бесконечного числа слагаемых, состоящих из произведений периодов τ для отдельных орбит на бесконечно малые приращения энергии dW , взятая в пределах между двумя крайними орбитами, а $W_1 - W_2$ есть разность энергий крайних орбит. Производя указанные операции, мы и получаем

$$\nu = \frac{1}{\tau_{cp}} = \frac{W_1 - W_2}{h},$$

т. е. формулу (5).

3. Новейшие способы усовершенствования пустотных фотоэлементов

Как сказано выше, квантовой частотой обладают отдельные спектральные лучи, испускаемые раскаленными газами и парами. В холодных же телах, преимущественно в металлах, с этой именно частотой связан процесс выбрасывания электронов из атомов и из самих тел.

А. Эйнштейн дал знаменитый закон, управляющий этим последним процессом. Закон этот выражается формулой:

$$\frac{1}{2} m v^2 = h\nu - P. \quad (10)$$

Здесь в левой части равенства стоит энергия электрона, выбрасываемого из тела, а во второй — равная ей работа, затраченная на это выбрасывание. Эта работа равна, как видно, разности между $h\nu$, т. е. энергией, принесенной с собой одним квантом света, и P , так называемой силовой функцией, т. е. потенциальной энергией притягательных сил, удерживающих электрон в теле (вблизи поверхности). Очевидно, что наименьшая работа, которую нужно затратить свету для вырывания электрона, будет тогда, когда этот последний выделяется с наименьшей скоростью, точнее — со скоростью, равной нулю. В таком случае мы будем иметь условие:

$$h\nu - P = 0$$

¹ „Physical Review“, 34 p., 152, 1929.

$$h\nu = P.$$

Вся современная история усовершенствования фотоэлементов и заключается в применении этой последней формулы.

Из нее прежде всего видно, что фотоэлемент будет тем лучше, чем эта функция P меньше, так как с уменьшением P уменьшается λ , т. е. понижается красная граница и свет используется лучше. В самом деле здесь, с одной стороны, используются те лучи (красные и инфракрасные), которые раньше пропадали даром, а, с другой стороны, является возможность пользоваться такими источниками света, которые на прежние фотоэлементы совсем не действовали.

Но каким же образом можно уменьшить силовую функцию P ? Здесь открываются три пути. Прежде всего силовая функция зависит от природы тела, главным образом, от его химического состава. Опыт показывает, что эта функция тем меньше, чем тело „рыхлее“ в химическом отношении, т. е. чем его атомный объем больше¹, это легко объясняется. В самом деле, чем больше объем, занимаемый одним атомом, тем электроны движутся на орбитах большего радиуса и тем притягательные силы, стягивающие их, и работа, нужная для удаления электрона из сферы действия атома, меньше.

Линдеман дал эмпирическую формулу, связывающую красную границу различных металлов с радиусами их атомов, вычисленных по атомному объему:

$$2\pi\nu = \left(\frac{e^2}{mr^3}\right)^{1/2}$$

(e —заряд электрона, m —его масса и r —радиус атома). Вычисленные по этой формуле красные границы очень близки к опытным данным (см. предшествующую таблицу):

Cs III 5300 Å, K 4380 Å
Rb 4900 , Na 3130 , Li 2360 Å.

Второй путь усовершенствования фотоэлементов следующий. Еще Лаплас, строя теорию притягательных частичных сил, действующих в телах, показал, что действие этих сил внутри тел сводится в среднем к нулю и обнаруживается только на поверхности их.

Здесь в очень тонком слое, называемом поверхностным слоем, существует система сил, направленных внутрь тела, которые в твердых и жидких телах уравнивают отталкивательные силы между частицами тел, развивающиеся вследствие их теплового движения. Они, т. е. эти силы, а отнюдь не силы, действующие внутри тел, и удерживают частицы от их стремления вылететь за пределы тела.

Вследствие такого особого значения поверхностного слоя ему всегда приписывали особое строение и свойства. Опыт с своей стороны подтверждает это, а именно: тело, в котором поверхностный слой чем-нибудь нарушен, например тело, взятое в виде пленки, толщина которой меньше двойной толщины поверхностного слоя, обладает, как показывает опыт, относительно меньшей прочностью.

Если воспользоваться введенным выше понятием силовой функции, это можно выразить так: в указанных пленках силовая функция меньше ее нормальной величины.

Естественно было воспользоваться этими взглядами и по отношению к тем силам, которые испытывают электроны в телах. И действительно, Айвс² обнаружил в 1924 г., что так называемые мономолекулярные слои (слои, состоящие из одного слоя молекул) щелочных металлов обладают особой светочувствительностью.

Например, если мономолекулярный слой цезия помещен на слое O (кислорода) с подслоем серебра или магния, то красный предел сдвигается в сторону длинных волн. То же обнаруживается у подобного же слоя K на меди или Na на Li³.

Отсюда можно заключить, что действительно в таких слоях силовые функции меньше нормальных их величин.

Наконец, в последнее время был открыт еще и третий путь для уменьшения силовой функции и сдвига красной границы к длинным волнам. Теоретически он был указан Ланге⁴, а на опыте Айвсом, Ольпенем, Кэмпбеллом и др.

Способ этот заключается в том, что слой щелочного металла покрывается мономолекулярным слоем какого-либо полупроводника или диэлектрика, на который затем накладывается такой же слой какого-либо проводника.

Объяснение этого эффекта заключается в следующем. Теория показывает, что электроны, выделяющиеся из металла, испыты-

вают вообще большие силы притяжения, чем нейтральные частицы. Это происходит потому, что заряженная частица, как известно, возбуждает вследствие индукции в металлическом проводнике заряд противоположного знака, который ее и притягивает. Это притягательное действие при малой величине притягиваемого тела (например электрона) и большой поверхности притягивающего тела как бы исходит из точки, симметрично расположенной по другую сторону поверхности внутри проводника. Поэтому силовая функция для электрических тел больше, чем для нейтральных. Рассматриваемый способ и заключается в том, чтобы уменьшить избыточную величину силовой функции. Для этого можно воспользоваться, между прочим, тем фактом, что, если слой между электроном и металлической поверхностью заполнен веществом с большой индуктивной постоянной, каковы, например, сера, чистая вода, полупроводники, то электрические притягательные силы уменьшаются.

Фотоэлементы, в которых чувствительность к красным лучам, а вместе с тем и общая светочувствительность, весьма сильно повышена указанным способом, были предложены целым рядом лиц.

Например, Акве и Ольпен¹ пользуются для этой цели серой. Кэмпбелл² показал, что обработка цезия кислородом с получением его окисей производит то же действие (рис. 1).

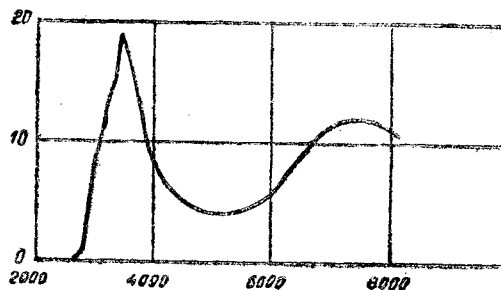


Рис. 1

Весьма обширные исследования по поводу действия окисления щелочных металлов и чувствительности их к красным лучам опубликовал в недавнее время Ольпен³. Ричардсон и Джонс обнаружили такое же действие паров воды на слой калия⁴. Возможно, что этим также объясняется повышение светочувствительности фотоэлементов со щелочными металлами при помощи обработки их водородом,—способ, который предложили Эльстер и Гейтель еще в начале изобретения ими фотоэлементов и применявшийся почти исключительно до настоящего времени.

4. Газонаполненные фотоэлементы

Та же побудительная причина—стремление иметь фотоэлементы с большою светочувствительностью—привела к изобретению газонаполненных (газополных) фотоэлементов.

Путь к увеличению чувствительности здесь, однако, оказался существенно иным. Газонаполненным фотоэлементом является соединение в одном и том же сосуде пустотного фотоэлемента и газовой среды, являющейся проводящей под действием электронов, выделяющихся при освещении первого.

Таким образом поток фотоэлектронов соединяется здесь с параллельным ему потоком подобных же электронов, возникающих в газовой сфере вследствие ее ионизации (выделения в ней электронов из ее атомов).

Однако вследствие этого более сложного процесса характеристика газополных фотоэлементов тоже более сложна, чем у пустотных. Нужно заметить, что у последних характеристика, т. е. зависимость силы электронного тока i при данном освещении от приложенного напряжения, изображается линией, идущей сначала в виде наклонной прямой, а затем переходящей в горизонтальную линию (ток насыщения). При большом освещении получается более высоко расположенная кривая, причем высоты их строго пропорциональны силам освещения фотоэлементов. В газополных же фотоэлементах кривая имеет вид, изображенный на рис. 2⁵.

Эта кривая поднимается здесь вообще значительно выше, чем у пустотных фотоэлементов. Таким образом фотоэлектрические токи здесь значительно больше. Величина их суще-

¹ Атомным объемом называется отношение атомного веса к плотности тела.

² „Astrophysical Journal“, 60, p. 203, 1924.

³ Seleny „Physikalische Zeitschrift“, 1929, 15 Dec.

⁴ Lange, „Physikalische Zeitschrift“, 1930, Febr.

¹ „Physical Review“, 33, 1081, 1929. „Journal de physique“ VIII, 1930, 691.

² Campbell, „Phil. Mag.“, 6, 633, 1928.

³ Olpin, „Phys. Rev.“, 1930, June.

⁴ Roy, Soc. Proc. A, 107, 377, 1925.

⁵ Эти кривые были опубликованы автором статьи в 1926 г. (Труды Ленинградск. экспер.-электр. лабор., вып. 4, стр. 18).

ственно зависит от давления и природы применяемого газа. Наиболее употребительными газами являются: гелий, неон и аргон. Наиболее же актуальное давление лежит в пределах 0,1—0,2 мм (для аргона).

Зелигер и Мирдель в своем недавно вышедшем курсе о разрядах в газах¹ разделяют кривую характеристики этих последних фотоэлементов на три части, соответствующие трем отдельным процессам, а именно вдоль отрезка *AB* происходит процесс, подобный тому, что и в пустотном фотоэлементе. Он отличается только тем, что к электронам, являющимся вследствие освещения фотоэлектрического слоя, прибавляются, как выше указано, электроны, которые возникают вследствие расщепления атомов от ударов первых, т. е. фотоэлектронов. Вследствие этого получаются более сильные токи, к тому же не пропорциональные прикладываемым напряжениям. Эти токи возрастают быстрее, чем напряжение. В конце этой части кривой появляется в газе, наполняющем фотоэлемент (вблизи его анода) свечение. Во второй части кривой *BC* наблюдается та особенность, что с увеличением силы тока напряжение не увеличивается, как в первом процессе, а уменьшается. Здесь область ионизации распространяется от анода по всему газу вплоть до катода. Вместе с тем к движению электронов в одну сторону присоединяется движение положительных ионов (атомов, которые потеряли по одному электрону и получили поэтому положительный заряд) в противоположную

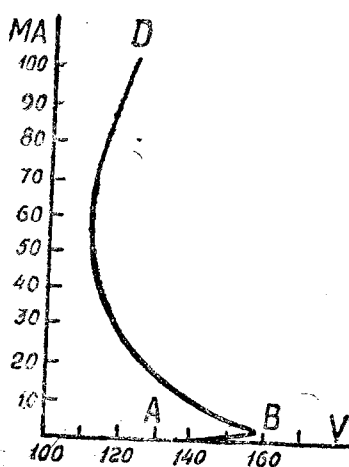


Рис. 2

сторону. Это движение дает дополнительный ток, который складывается с предыдущим током. Вследствие этого сила тока еще сильнее возрастает. Напряжение же, как указано выше, падает. Последнее происходит вследствие постепенного появления во всей газовой среде положительных зарядов, которые нейтрализуют электрическое поле электронов, в особенности тех электронов, которые выделяются из катодов. Эти новые заряды (положительные) собираются у катода и дают на нем так называемое нормальное катодное падение напряжения. Наконец, вдоль линии *CD* возникает третий процесс, сопровождающийся еще большим током. Однако в этом процессе напряжение увеличивается одновременно с током, вследствие того что катодное падение здесь уменьшается (анормальное катодное падение).

Обыкновенно на практике пользуются первой частью кривой, в особенности вблизи точки кривой *B*, где ток достаточно велик, но еще не сопровождается явлением разряда свечения. Для этого напряжение, приложенное к фотоэлементу, подбирают равным соответствующей величине (например, на чертеже, равном отрезку между точкой *B* и осью ординат). Однако, хотя токи здесь получаются сильными (например, на 1 люмен по Ольпину в современных американских фотоэлементах сила тока доходит до 15 μ A), здесь не соблюдается полной пропорциональности между силой тока и освещением. Кривая, изображающая зависимость между ними, уклоняется от прямой линии².

Однако в последнее время автором настоящей статьи обнаружен способ³, при котором используется также и процесс, соответствующий второй части кривой *BC*. Дело заключается в том, что в этом последнем процессе возможно при известных условиях возникновение так называемых собственных электрических колебаний в фотоэлементе. Когда эти условия осуществляются, начинаются непрерывные и вполне правильные колебания напряжения и силы тока весьма большой ам-

плитудой (напряжение колеблется в пределах 30—35 В, сила тока—до 50 μ A).

Таким образом эти колебания легко слышны при помощи телефона. В зависимости от величин емкости и сопротивления цепи колебания могут происходить с периодом от 0,0005 сек до нескольких минут. Но главная особенность их заключается в том, что период их изменяется при освещении фотоэлемента, при некоторых же условиях колебания могут совсем прекращаться на свету и снова появляться в темноте. Этот отрицательный световой эффект очень чувствителен. Для его возникновения достаточно количество света в 0,001 люмена. Его-то автор и использует для увеличения чувствительности газополных фотоэлементов.

5. Фотосопротивления

Наконец, и в области фотосопротивлений в последние годы также достигнуты существенные успехи. Дело в том, что этот род светочувствительных элементов, к которым принадлежат и селеновые элементы, отличается ценной в практическом отношении особенностью: чувствительностью к лучам красной части спектра. Это свойство в отношении к селену было открыто вместе с самой светочувствительностью селена 1873 г. Селом (Sale)¹, а впоследствии Вернером Сименсом в 1877 г.²

Селеновые фотосопротивления подвергались со времени изобретения многочисленным видоизменениям со стороны конструкции.

Один из наиболее удачных типов был предложен в 1913 Фурнье д'Альбом. Это сопротивление представляет собой и глазированную пластинку фарфора, покрытую слоем графита в котором выгравирован зигзагообразный канал. Вся поверхность покрыта селеном за исключением бортов с двух сторон, где помещены электроды. Из новейших подобных типов можно упомянуть фотосопротивления „Радиовизор“³, Тиринг⁴ и др.

Целый ряд авторов, начиная с Пфунда (Pfund) в 1904 кончая Рисом в 1918 г. исследовали чувствительность селена к различным лучам спектра. Все они пришли к единому выводу, что около $\lambda = 0,7 \mu$ лежит очень резко выраженный максимум чувствительности. Аналогичными свойствами обладают, впрочем, и другие фотосопротивления.

Таблица

Вещество	Состав	Сопротивление в темноте (приблизительно)	Наибольшая чувствительность
1. Селен	Se	$10^7 \Omega$	0,7 μ
2. Стибнит	Sb ₂ S ₃	$10^8-10^9 \Omega$	0,75 μ (очень чувствителен к инфракрасным лучам)
3. Висмутинит	Bi ₂ S ₃	$10^8-10^9 \Omega$	0,64 и 1,08 μ
4. Молибденит	MoS ₂	То же	0,7 и 0,85 μ 1,02 и 1,8 μ
5. Аргентит	Ag ₂ S	„	1,35 μ
6. Акантит	Ag ₂ S	„	1,35 μ
7. Галенит	PbS	„	В видимой части спектра То же
8. Куприт	Cu ₂ O	„	„
9. Окись серебра . . .	Ag ₂ O	„	„
10. Таллофид	Сульфид таллия; обраб. кислород.	„	Чувствительность от видимых лучей 1,2 μ с максимумом при 1,0 μ

В прилагаемой таблице приведены открытые до сего времени сопротивления с указанием составов, омического сопротивления и светочувствительности⁵.

По современным взглядам наиболее вероятной теорией светочувствительности селена является электронная.

¹ Seliger und Mierdel, Selbständige Entladungen in Gasen, 1929, стр. 52.

² Koller, Journal of Opt. Soc. Am., 1929, Sep. P. p. 135—145.

³ См. „Zeitschrift für techn. Physik“, 1930, № 6, с. 177—182. Сов. патент № 16265, заявленный от 2/XII—1924.

⁴ Roy, Soc. Proc. 21—183—285.

⁵ Wied. Ann. 1877, 521—550.

⁶ El. Rev. 1928, 910—914.

⁷ Гер. патент № 339364.

⁸ The Selenium Cell, Barnard, 1930. Pp. 130—133.

При этом приходится считать, что та модификация селена, которая обладает светочувствительностью (серый селен), представляет собой полупроводник, т. е. обладает свободными электронами, но в значительно меньшем количестве, чем в металлах.

Под влиянием света, проникающего в поверхностный слой, число их в этом слое увеличивается. Этим и объясняется увеличение проводимости селена при его освещении.

Согласно опытам, поставленным фирмой Телефункен в последнее время, особенную чувствительность к красным лучам

обнаруживают сплавы селена с более тяжелым металлом, например, с теллуром.

Затем несколько работ появилось о таллофиде, в особенности относительно способа его приготовления, которое представляет существенные трудности. Из них наиболее важным является исследование Майорана¹.

Также интересные данные получил Traffunder относительно светочувствительности так называемых сухих выпрямителей $\text{Cu/Cu}_2\text{O/Cu}$. Наконец, были открыты и фотосопротивления, состоящие только из газов и паров, например паров иода.

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

I. Линии передачи

8. H. L. MELVIN. Импульсные характеристики линий с деревянными опорами. *Transactions AIEE*. Январь 1930 г. Стр. 21—29.

Деревянные опоры и траверсы применяются на линиях передач с начала возникновения передачи энергии. В некоторых случаях использование изолирующих свойств дерева улучшало работу линии передач, в других случаях, вследствие частого горения и расщепления опор, отказывались от использования изолирующих свойств дерева.

В реферируемой статье автор описывает результаты опытов над выяснением изолирующих свойств дерева в грозных условиях и приводит данные о защите его от расщепления.

Испытательная волна достигала максимума в $1/4 \mu\text{s}$ и спадала на 50% в $20 \mu\text{s}$. Напряжение импульсного генератора могло регулироваться в пределах от 400 до 3000 kV. На кривых приведены средние данные, в действительности же получался некоторый разброс точек. В каждом случае измерялась амплитуда минимального напряжения, достаточного для перекрытия устройства.

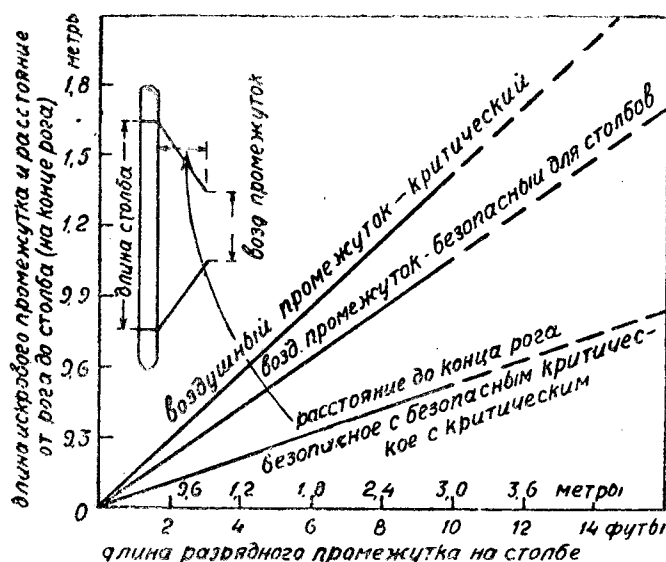


Рис. 1

Испытывались следующие сорта дерева: кедр, каштан, пропитанная сосна (в качестве столбов для опор и в качестве траверс) стержни еловые и из пропитанного твердого дерева (hard wood). Размеры траверс и столбов были такие же как и на линиях передач, за тем исключением, что размеры столбов были меньше действительных. Комбинации из изоляторов и траверс применялись такие, которые могли быть использованы на линиях от 66 до 132 kV.

Дерево испытывалось в четырех стадиях влажности — от сухого до выдержанного в течение двух недель в чане с соленой водой (концентрация раствора была в 4 раза меньше морского).

Опоры, траверсы и стержни. Импульсное разрядное напряжение опор траверс и стержней оказалось практически независимым от степени влажности и сорта дерева, за исключением каштана, пропитанного в соленой воде, разрядное напряжение которого оказалось значительно меньше (по всей вероятности вследствие очень небольшого омического сопротивления). Так как этот случай не соответствует практическим условиям, поэтому он не включен в перечень данных.

В среднем разрядное напряжение оказалось для опор $560 \text{ kV/m} \pm 20\%$. Для стержней прочность оказалась немного больше (625 kV/m).

Воздух. Исследовались искровые промежутки подобные тем, которые имеют место между проводником и оттяжками, рогами и заземленными частями опор. Их прочность оказалась 1200 kV/m .

Изоляторы и комбинация изоляторов, траверс и опор. Автором определены кривые, характеризующие импульсную прочность различных комбинаций из опор, траверс и изоляторов. Оказалось, что напряжение на комбинации может достигать значительной величины. Вследствие различия в фактических характеристиках, для определения разрядных напряжений комбинации нельзя складывать разрядные напряжения составных частей, а необходимо определить характеристику всей комбинации.

Частичный разряд комбинации. Частичный разряд может произойти по изолятору, при напряжении меньшем, чем требуется для перекрытия всего устройства. Интенсивность частичного разряда значительно меньше интенсивности разряда импульсного генератора. Напряжение, при котором происходит частичный разряд, зависит от влажности дерева. При сухих образцах напряжение частичного разряда, примерно, такое же, при каком происходит разряд всего устройства; наоборот, при мокром дереве напряжение частичного разряда приближается к разрядному напряжению изолятора. Вследствие чрезвычайно противоречивых результатов, данные, при которых происходит частичный разряд, не имеют практического применения и не включены в статью; однако, это явление может иногда ограничить изоляцию всех трех проводников относительно земли. Например, если частичный разряд произойдет одновременно на двух или трех фазах одной и той же опоры, он может вызвать междофазное короткое замыкание (при меньшем напряжении, чем требуется для перекрытия всего устройства).

Защита дерева от повреждения. Испытывалось защитное действие простого рогового разрядника, размеры которого выбирались такими, чтобы разряд происходил на нем, но не по защищаемому дереву. На рис. 1 и 2 показаны эскизы разрядников и их контрольные размеры. Размеры, взятые для кривой "безопасный промежуток", будут защищать деревянные образцы с низким пределом прочности. Кроме того, расстояние от рога до дерева должно быть таким, чтобы разряд происходил между рогами и не перебрасывался бы на столб.

На рис. 3 показаны контрольные размеры для защиты изолятора в оттяжке методом параллельного искрового промежутка (на столбе). Если этот разрядник не защищать, он может повредиться. Если устанавливаются защитные рога, то при выборе защитного промежутка следует применять критическую кривую, а затем выбрать кривую для рогов по рис. 1, иначе получатся двойной коэффициент запаса.

Для определения устойчивости этой защитной схемы при обычной разнице в сопротивлениях заземления между столбом и оттяжкой, последовательно со столбом включалось сопротивление в 50Ω , которое соотношения не изменило.

Испытывалась также схема защиты рядом последовательных промежутков, причем оказалось, что величина разрядного напряжения такого устройства неопределенна. Таким образом более практично защищать опору искровым промежутком даже при длине защищаемой части столба, превышающей 6 m .

Реферируемую статью все же нельзя рассматривать, как агитацию за всеобщее использование грозовой изоляции дерева. Окончательно еще не установлено значение добавочной изоляции дерева и влияние ее на условия работы линии передач. В соответствии с различными методами, описанными

в статье, в грозových местностях построено несколько линий, которые дадут некоторые эксплуатационные результаты.

Исследования с клидонографом, которые велись на линии, использовавшие частично грозовую изоляцию дерева, показали несколько записей, порядок которых соответствует данным, указанным выше. Из немногих эксплуатационных данных также явствует, что защита методом параллельного искрового промежутка (рис. 2) эффективна.

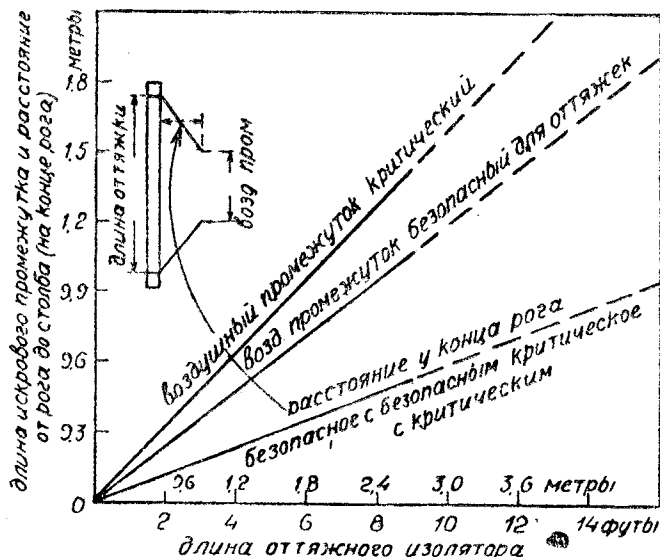


Рис. 2.

При постройке линии необходимо увеличивать изоляцию отдельных железных опор, чтобы сравнить ее с грозовой изоляцией дерева.

Опыты показали, что при траверсе длиной около 0,6 м и при четырех и более подвесных изоляторах, или 70 kV-опорном изоляторе дуга обычно бьет с провода прямо на заземление, идущее по столбу, но при более длинных траверсах происходит каскадный разряд, поэтому в первом случае можно защитных рогов не применять (на траверсе).

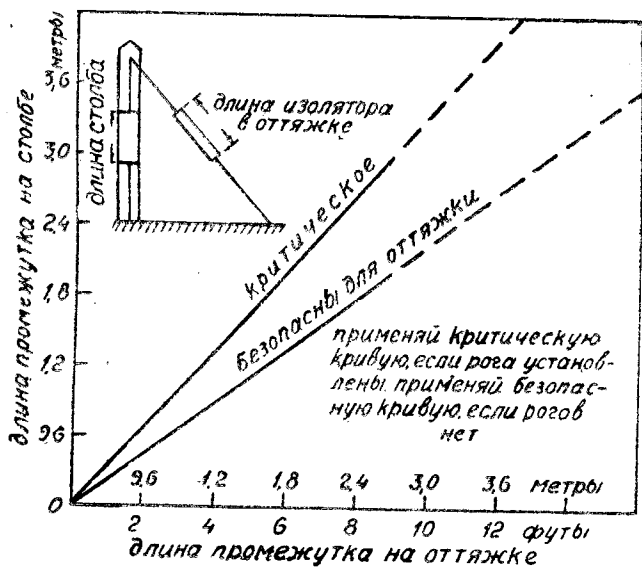


Рис. 3.

Что касается защиты подстанций, то перед ней необходимо, во избежание повреждения аппаратуры, снизить изоляцию линии, скоординировав изоляцию линии и подстанции.

В заключение следует еще раз отметить, что данные реферируемой статьи являются экспериментальными до тех пор, пока эксплуатационный опыт не покажет, насколько они пригодны в действительно рабочих условиях. Данные характеризуют только один случай, причем желательно иметь и другие опытные данные, в частности с наложением импульсного напряжения на напряжения нормальной частоты. Подобные опыты были бы ценны и с другими грозowymi волнами.

Е. Калинин

9. Н. Н. SKILLING. Передача энергии на далекие расстояния по настроенным линиям. El. Engn., август 1931, стр. 634—637.

В начале развития электротехники вопрос о частоте рассматривался только с точки зрения поведения тока в электрических машинах—генераторах, трансформаторах и двигателях. О влиянии частоты на передачу энергии в то время не было речи. Развитие мощных линий за последнее время, в связи с стремлением максимально улучшить характеристики передачи, заставило вернуться к вопросу о наиболее выгодной частоте. Как известно, характеристики генераторного и приемного концов линии передачи связаны уравнениями

$$E_g = A_0 E_r + B_0 T_r \text{ и } I_g = D_0 I_r + C_0 E_r, \quad (1)$$

где E_g, I_g, E_r, I_r —соответственно напряжения и токи генераторного и приемного концов. Если активное сопротивление линии мало по сравнению с реактивным, то коэффициенты в уравнениях (1) можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \cos \sqrt{ZY}l; & B_0 &= j Z_0 \sin \sqrt{ZY}l; \\ D_0 &= \cos \sqrt{ZY}l; & C_0 &= j \frac{1}{Z_0} \sin \sqrt{ZY}l; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где Z и Y —абсолютные величины полного сопротивления и проводимости одного километра линии, l —длина линии,

а $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ —волновое сопротивление линии. В этих

формулах Z и Y —вещественны. Если величину $\sqrt{ZY}l$ выражать в долях числа π , то она может служить мерой для оценки «электрической длины» линии по отношению к волне налагаемого напряжения. Например, линия имеет длину, равную полуволне, если $\sqrt{ZY}l = \pi$.

Основными факторами хорошей работы линии являются: 1) малое регулирование напряжения, 2) малый зарядный ток линии, 3) высокая синхронная (динамическая) устойчивость. Для выполнения первых двух условий необходимо иметь B_0 возможно меньшим; третье условие требует, чтобы A_0 было возможно близко к единице. По формулам (2) (для линий без потерь) можно проследить влияние частоты на степень выполнения этих условий; это удобнее всего сделать при помощи величины $\sqrt{ZY}l$ пропорциональной частоте.

При $\sqrt{ZY}l$, близком к нулю (т. е. при малых частотах), все три условия хорошо удовлетворяются.

При $\sqrt{ZY}l$ близком к $\pi/2$ получается как раз обратная картина: условия передачи неприемлемы для эксплуатации. Если $\sqrt{ZY}l$ лежит между π , π —синхронная нагрузка невозможна, но линия может нести некоторую статическую нагрузку.

При $\sqrt{ZY}l = \pi$ условия передачи столь же удовлетворительны, как и при очень малых частотах, если не считать утраты синхронной устойчивости. При $\sqrt{ZY}l$ немного большем π , вновь имеет место синхронная устойчивость. Физически это обозначает, что условия передачи по линии, очень малой электрической длины идентичны с таковыми для линии, длина которой равна полуволне.

Сказанное приблизительно можно отнести и к линиям, активным сопротивлением которых пренебречь нельзя. Включение приемников влияет в сторону увеличения электрической длины линии; его можно компенсировать путем уменьшения рабочей частоты или включения в линию надлежащим образом подобранных самоиндукций и емкостей.

При $\sqrt{ZY}l = \pi$ распределенные емкость и самоиндукция линий взаимодействуют таким образом, что нежелательные влияния каждого из этих факторов исчезают. Это обстоятельство послужило поводом к наименованию такой линии «настроенной», по аналогии с радиоконтуром. На линии без потерь при холостом ходе возникают в этом случае стоячие волны напряжения и тока. Напряжение приемного конца равно и противоположно напряжению генераторного; потенциал середины линии равен нулю. Зарядный ток на концах линии равен нулю и достигает максимума посередине.

Если полное сопротивление Z' нагрузки равно волновому сопротивлению линии Z_0 , напряжение и ток вдоль линии не изменяются и во времени сдвинуты по фазе на 180° . Если Z' меньше Z_0 , напряжение и ток вдоль линии изменяются, причем первое место достигает максимума посередине линии. Этот случай особенно ценен для эксплуатации, так как, по утверждению автора, он дает к. п. д. и условия регулирования линии лучше, чем даже при передаче постоянным током.

Высказанные положения становятся особенно наглядными при построении круговых диаграмм. Автором было произве-

дено для одной из линий в Калифорнии построение со следующими данными: рабочее напряжение 220 kV, длина линии 202 мили (325 km), сечение провода 500 000 circular mils (253,4 мм²). Провода расположены в вертикальной плоскости на расстоянии 4,57 м друг от друга. Результаты построения приведены на рис. 1. Электрическая длина линии становится равной полуволне при частоте в 447 периодов. При этом максимальная передаваемая мощность превосходит более чем в пять раз мощность, которую можно передать при частоте в 60 периодов и $\cos \varphi$, равном единице (в случае питания статической нагрузки или индукционных двигателей).

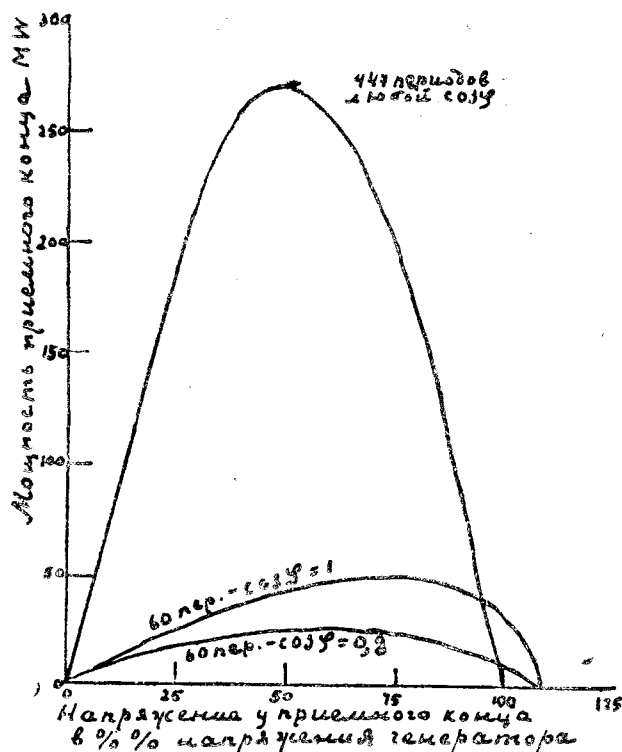


Рис. 1.

Для проверки данных расчета автором исследована схема эквивалентная линии, имеющей длину 1 468 миль (2 360 km) и удельные постоянные только что описанной линии. Передача полуволной в этом случае достигается при 60 периодах. Фазовое напряжение при опыте было 127 V — 0,001 действительного напряжения линии, что дает для мощности коэффициент 10⁻⁶. Были исследованы различные случаи нагрузки: статическая, с любым $\cos \varphi$, и синхронный двигатель. Данные опыты во всех случаях дали полное совпадение с результатами расчета.

Не вдаваясь в детальное рассмотрение экономической стороны вопроса, автор полагает, что необходимость применения при настроенной передаче преобразователей частоты может быть с успехом оправдана исключением синхронных компенсаторов и экономией на сокращении числа цепей и оборудовании дорогостоящих линий очень высокого напряжения.

По своей экономичности настроенная передача приближается к передаче постоянным током, не обладая некоторыми недостатками последней (например, вопросы ограничения и выключения токов короткого замыкания). С этой точки зрения она заслуживает внимания при разработке вопроса о системе тока в единой высоковольтной сети СССР.

О. Тихий

10. R. C. BERGVALL. Последовательное включение сопротивления для повышения устойчивости. Electrical Engineering, сентябрь 1931, стр. 730.

Требования постоянства подачи энергии по линии передачи усложнили развитие быстрействующих выключателей и реле. В настоящее время поврежденный участок может быть отключен спустя 8—16 периодов (0,133—0,266 сек.) после начала аварии, но и за это короткое время во многих случаях происходит выпадение из синхронизма.

Для повышения устойчивости параллельной работы автор рекомендует включить в цепь генератора омическое сопротивление. На рис. 1 представлена схема передачи энергии от гидростанции в район с мощной станцией, у которой инер-

ция машины велика по сравнению с таковой у гидрогенераторов. Предлагаемое защитное сопротивление включается по схеме рис. 2 и при нормальной работе замкнуто накоротку посредством масляника 3. Если короткое замыкание случилось вблизи выключателя 1 (рис. 1), то отдаваемая активная

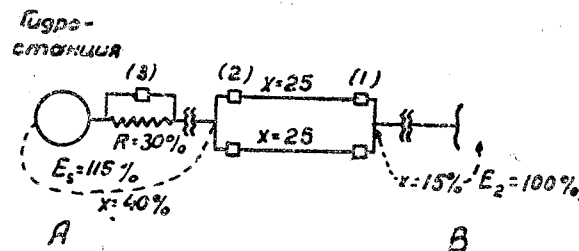


Рис. 1.

мощность мгновенно понизится со 100 до 12% вследствие низкого фактора мощности в цепи короткого замыкания. Первичный двигатель будет попрежнему развивать вращающий момент, соответствующей мощности 100%, и скорость ротора будет расти. Выключатель 3 заработает спустя 5 или

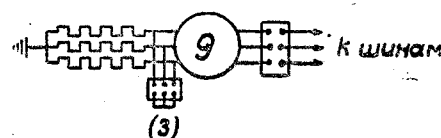


Рис. 2.

6 пер. (0,083—0,1 сек.) и включит сопротивления, что увеличит отдаваемую мощность с 12 до 105%.

На рис. 3 показано расположение векторов напряжения спустя 18 периодов (0,3 сек.). Угол между векторами напряжения при коротком замыкании значительно меньше, если используются сопротивления. На рис. 4 дана зависимость между отдаваемой генератором мощностью и углом между

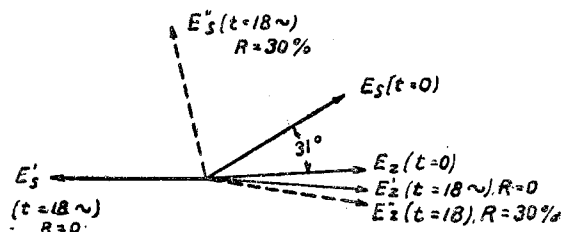


Рис. 3.

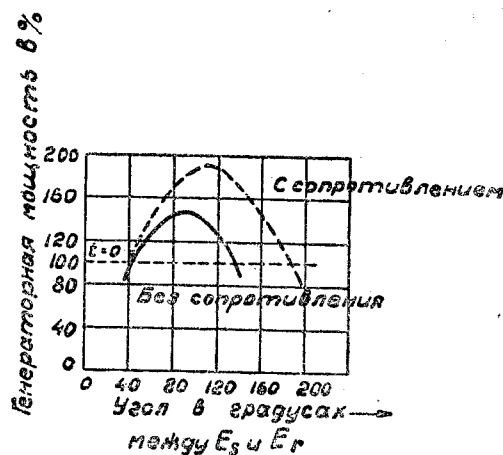


Рис. 4.

ду E_1 и E_2 ; из кривых следует, что применение сопротивлений повышает максимально возможную мощность генератора со 147 до 188% по отношению к номинальной, т. е. выпадение из синхронизма затруднено.

Высказанное подтверждено опытом. Был использован синхронный генератор в 100 kVA, испытания с которым показали увеличение на 50% отдаваемой мощности без потери синхронизма, если имеются описанные сопротивления.

На рис. 5 представлены кривые, полученные расчетом для случая, если имеющееся синхронное оборудование (турбогенераторы, синхронные компенсаторы) обладают меньшей мощностью, чем гидростанция. Сплошные линии показывают изменение угла при наличии сопротивления в 30%, включительно между 6 и 25 периодом от начала короткого замыкания.

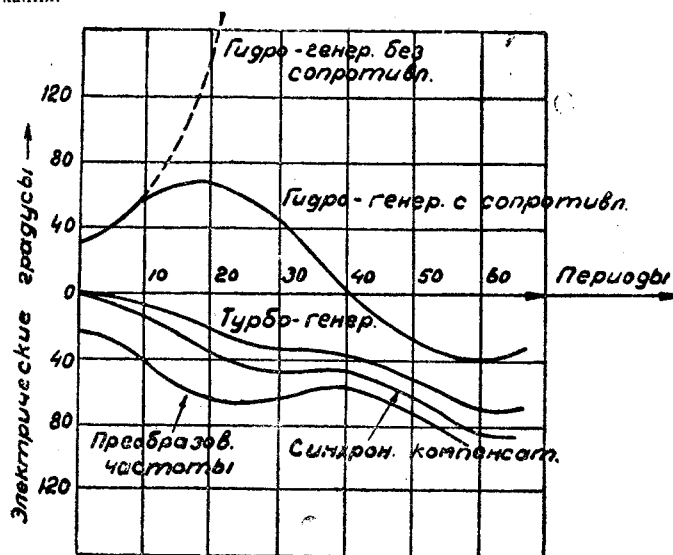


Рис. 5.

В данном случае выпадение из синхронизма не произойдет, так как уже через 40 периодов (0,66 сек.) угловое расхождение восстанавливается до нормального. Таким образом во всех случаях повышается устойчивость параллельной работы применением сопротивления, включаемого на короткое время.

Д. Казарновский

II. Провода и кабели

11. M. WEISSET. Тепловые процессы в кабелях высокого напряжения с бумажной изоляцией применяющейся нагрузки ETZ. 1930, № 26, стр. 922—926.

Известно, что охлажденные по снятии нагрузки, кабели при вторичном включении оказываются электрически менее прочными, хотя, казалось бы, что они должны быть в холодном состоянии более прочными.

При исследовании этого вопроса появилась идея о новой конструкции кабеля, не ухудшающегося с изменением температуры (рис. 1). В этой конструкции часть изоляции, прилегающей к жиле кабеля, заменяют достаточно электропроводным материалом, получаемым из обыкновенной изоляционной бумаги путем примешивания к ней металлического порошка.

Считают, что эта конструкция могла бы с успехом служить и для кабелей самых высоких напряжений.

Имеющиеся конструкции на такие высокие напряжения сложны и имеют много недостатков в производственном, монтажном и эксплуатационном отношении.

Эта же конструкция не вносит никаких усложнений. Основана эта конструкция на следующем: известно, что коэффициенты теплового расширения кабельного компаунда и бумажной изоляции сличаются друг от друга примерно в 10 раз (для бумаги 0,01% и 0,1% для компаунда на 1°C); так что когда кабель нагружается и температура его растет, происходит перемещение компаунда относительно изоляции.

Так как расширение ограничено свинцовой оболочкой, то компаунд получает большее внутреннее давление (до 100 кг см²), превосходящее предел упругости свинца, и последний деформируется, так как его собственное тепловое расширение ничтожно.

При по следующем охлаждении процесс идет в обратном порядке. Свинцовая оболочка из-за слабой эластичности почти полностью сохраняет деформацию.

Охлаждение компаунда и бумажной изоляции идет от свинца к жиле, а так как изоляция обладает большим тепловым сопротивлением, то получается большой перепад температуры.

Компаунд охлажденный у внешних слоев не сможет занять прежнее положение, так как там еще находится теплый расширившийся компаунд. Остывая, он занимает уже новое место, а также свободное пространство, оставшееся от деформации свинцовой оболочки. Вязкость же компаунда, сильно зависящая, как показывает приведенная таблица, от температуры,

T°	10	20	30	40	50
V	39000	2400	300	70	20

туры не позволяет остывшему компаунду переместиться после охлаждения всей изоляции на прежнее место. Таким образом происходит как бы отбрасывание компаунда к свинцовой оболочке и в результате в слоях у медной жилы образуются пустоты. Слой наиболее опасные, наиболее сильно электрически напряженные оказываются слабо пропитанными с воздушными включениями, опасными для ионизации.

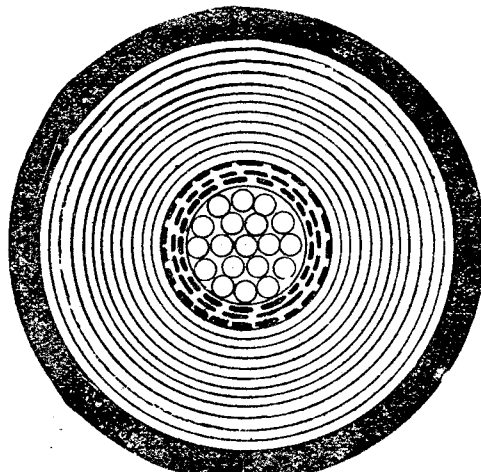


Рис. 1.

Величина этого смещения подсчитана и представлена на рис. 2, где δ_2 —увеличение радиуса внутренней стороны свинцовой оболочки, δ_1 —толщина слабо пропитанного слоя, r_1 и r_2 радиусы внутренней стороны свинцовой оболочки и жилы, α —коэффициент объемного расширения компаунда, t —средняя температура нагрева, a —отношение объема пропиточного состава к общему объему изоляции.

Наличие пустот при охлаждении кабеля доказана работами Эмануэли, Смурова и Машкилейсон, Сесини и Дел-Мара. Таким образом, чтобы сделать высоковольтный кабель, пустоты в изоляции должны быть как-то уничтожены, иначе кабель будет электрически мало устойчив. Действительно, имеющиеся конструкции к этому и направлены, как например, кабель Пирелли и Сименс-Шуккерта, но эти кабели с маслопроводом и толстой свинцовой оболочкой, как уже указывалось, сложны во всех отношениях. Предлагаемая же конструкция исключает все эти недостатки.

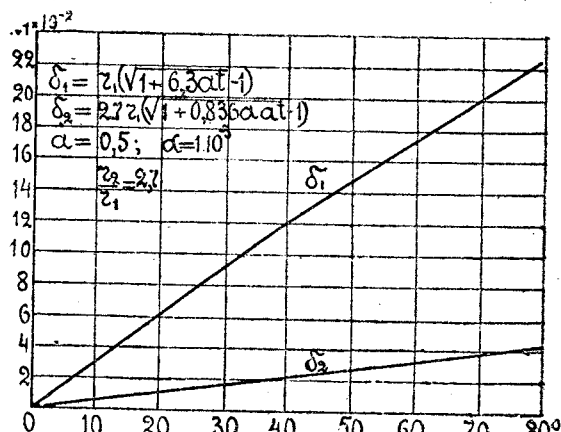


Рис. 2. Смещение состава в процентах ради проводника.

Проводящий слой бумаги, способный отдавать компаунд при охлаждении и впитывать его при нагревании, выбирается таким образом, чтобы толщина слоя превосходила в несколько раз δ , а также чтобы первые слои чистой изоляционной бумаги имели бы допустимый градиент. Этот слой не имеет градиента потенциала, следовательно, не боится пустот, им достигается лучшее диэлектрическое соединение с изоляцией. Благодаря гладкой поверхности происходит выравнивание градиента, со снижением напряженности внутренних слоев на 20—30%.

Бумажные ленты этого слоя наматываются так же, как и обычная изоляция. Кабель сушится и пропитывается так же,

как и обыкновенный, т. е. он не вносит никаких осложнений в процесс производства.

Кабели такой конструкции были изготовлены на заводе Фогеля. Как пример один из них на 65 kV фазового напряжения, при испытании более тяжелом, чем нормы VDE, показал очень хорошие результаты.

Н. Войденов

III Электромашиностроение

12. J. C. FRITZ. Электросварка на постоянном однофазном и трехфазном токе ETZ, № 29, 1931, стр. 932

В реферируемой статье описываются преимущества и недостатки указанных в заголовке видов тока для электросварки. До сего времени ведутся на этот счет большие споры, но постепенно, особенно в Германии, внедряется больше электросварка на однофазном токе, а в последнее время и на трехфазном при применении специальных электродов, покрытых особым слоем, способствующим улучшению сварочного шва.

В начале автор описывает различные сварочные аппараты. Самыми старыми типами аппаратов являются сварочные динамомашини с независимым возбуждением и с самовозбуждением. Недостатком этих машин постоянного тока надо считать необходимость вращения их с помощью электромотора или другого рода двигателя. Затрата энергии на холостой ход этих агрегатов, особенно с независимым возбуждением, значительны. Сварочная динамо конструируется для обслуживания как одного сварочного места, так и для многих. Общий к. п. д. довольно низок, а именно: от 30 до 60%.

Но сварка постоянным током имеет много преимуществ. При хорошей характеристике динамо получается очень устойчивая дуга, позволяющая варить ею легко даже новичку. К особенностям вольтовой дуги постоянного тока относятся и то, что ее легко зажечь при сравнительно низком напряжении и легко поддерживать, причения для сварки даже простые голые электроды. Однако последнее время из металлургических соображений и соображений прочности перешли на электроды с оболочкой. Оболочка на электрод или намазана тонким слоем или намотана в виде толстого слоя. Первые при сварке не дают шлака, и назначение предохранительной обмазки лишь отстранять кислород и азот воздуха, легко поглощаемых сварочным швом в процессе сварки. Электроды с обмазанным слоем, кроме того, дают на шве пленку шлака, предохраняющего шов от воздействия воздуха. Этим достигается получение гладких швов хорошего качества с лучшей гибкостью и вязкостью. Кроме того, толстый слой обмотки способствует быстрому стеканию электродов и уменьшению расхода тока. Шлакование имеет тот недостаток, что при многослойном заполнении шва, при варке предметов большого сечения шлак каждый раз приходится тщательно удалять. Постоянный ток имеет еще то преимущество, что только с помощью его можно хорошо наваривать некоторые специальные электроды для сварки бронзы, меди, алюминия или высококордных сталей. Сварка с помощью угольных электродов, применяемая только для тонкостенных изделий, также идет лучше на постоянном токе. Ток в некоторых сварочных динамо легко регулировать на расстоянии, что представляет собою преимущество при работах с котлами, трубопроводами и стальными высокими конструкциями, так как для сварщика очень утомительно при замене электродов другого диаметра каждый раз отрываться от работы и регулировать свой аппарат.

Автоматическая сварка до сего времени практически производится только на постоянном токе. Здесь следует упомянуть о новом весьма оригинальном преобразователе с трехфазного на постоянный ток: машина эта не имеет статора, а лишь якорь, вращаемый небольшим синхронным мотором. Ротор этого мотора снабжен двойной обмоткой, из которой одна трехфазная присоединяется к сети, другая постоянного тока ведет к коллектору. Якорь вращается синхронно с полем трехфазного тока, но в обратную сторону, вследствие чего возникает неподвижное магнитное поле, в котором и вращается обмотка постоянного тока. Таким образом возникает постоянный ток без статора, причем синхронный мотор рассчитывается лишь на покрытие потерь трения. При помощи передвигных щеток машина эта плавно регулируется, имеет хороший к. п. д. и коэффициент мощности, равный единице.

В последние 10 лет, с большим развитием сети трехфазного тока, стал вопрос о непосредственном применении для сварки переменного тока без преобразования его в постоянный. В конце концов удалось выработать сварочный трансформатор, дающий такую же статическую и динамическую характеристику, как и хорошая динамо постоянного тока. Вначале для дуговой сварки, как и для сварки встык, стали конструировать однофазные трансформаторы. Характеристику им необходимо было дать, как и у динамо, падающую, чтобы выдержи-

вать короткие замыкания, имеющие место при зажигании дуги в процессе сварки. Это достигается или действием магнитного рассеяния, или действием дроссельных катушек. Трансформаторы рассеяния состоят обычно из железного сердечника с неподвижной и подвижной обмотками, или с обемки неподвижными обмотками, но с подвижной частью сердечника. Если к нормальному трансформатору приключить дроссельную катушку и сделать от обмотки несколько ответвлений, то получится регулируемый трансформатор с падающей характеристикой. Трансформатор последнего типа, как не имеющий большого потока рассеяния, можно помещать в железный кожух и делать последний водонепроницаемым и с масляным охлаждением. Это позволяет конструировать легкие сварочные трансформаторы, что особенно важно при монтажных работах. Они дешевы и не требуют почти ухода.

Сварочные трансформаторы должны иметь для хорошего зажигания дуги 60—80 V. Но и при этом высоком напряжении необходимо употреблять для сварки электроды с оболочкой или со специальной жилой из плавня для шлакообразования (schlackenseele). Голые электроды можно применять при переменном токе лишь при напряжении зажигания выше 120 V, что требует особых защитных приспособлений, и для монтажных целей неудобно. Коэффициент полезного действия однофазных сварочных трансформаторов 60—90%, мощность холостого хода незначительна. Большим недостатком их является плохой коэффициент мощности, который не превышает 0,3. Это создает преувеличенную установленную мощность и требует мощной сети и толстых подводящих проводов. Но если мы параллельно к этим трансформаторам приключим конденсаторы, то можем насколько угодно улучшить коэффициент мощности и сделать его настолько высоким, что трансформатор возможно будет присоединить даже к осветительной сети. Конденсаторы теперь строятся легкими и дешевыми, состоящими из нескольких свернутых из бумаги с прокладкой из алюминиевой фольге роликов, помещенных в жестяной ящик, залитый кабельной или масляной массой. Конденсатор настолько улучшает коэффициент мощности, уменьшая этим присоединяемую мощность трансформатора, что приключение их однофазно к трансформаторной сети мало нарушает равномерность нагрузки.

Преимуществом однофазного трансформатора является легкость его конструирования для переключения на любое напряжение.

Дуговая сварка с предохраняющим газом (schutzgassschweissung) представляет собой дальнейшее развитие сварки—помощью электродов, покрытых плавнем. Источником тока здесь также является однофазный трансформатор.

Трехфазных сварочных аппаратов встречается до сего времени мало, так как они, особенно для обслуживания одного рабочего места, имеют те же недостатки, что и однофазные аппараты, а именно, и равномерность нагрузки трехфазной сети полностью не достигается. Трехфазный сварочный трансформатор на два рабочих места, при котором один провод прикладывается к изделию, а два других к электродам, уже лучше нагружает сеть, но обладает плохим коэффициентом мощности. Если этот аппарат используется как односторонний, то и второе место должно быть нагружено искусственно, что вызывает уменьшение к. п. д. Недостаток этот исчезает, если употреблять трехфазную сварочную дугу, заставляя работать в ней оба электрода одновременно. Но и здесь возникают большие затруднения, не устранимые даже специальными двойными электродами, зато значительно повышается коэффициент мощности.

Недавно на рынке появился вращающийся трансформатор, дающий сварочный ток 150 периодов. Значительное снижения напряжения зажигания дуги им не достигается, но так как он представляет собой преобразователь частоты, то имеет удовлетворительный коэффициент мощности, кроме того, он легкий и обладает хорошим к. п. д. Но и этот род тока создает дугу, как и нормальный переменный ток, не позволяющую применять голые электроды. Этот вид сварочного аппарата особенно удобен для монтажных работ, так как сравнительно безопасен, имея всего 70 V, и, кроме того, удобен тем, что к нему можно присоединять появившиеся недавно на рынке электрические ручные сверлилки и шлифовальные и фрезерные аппараты, работающие на 150 периодах. Ручные сверлилки, обрабатывающие машины на это число периодов, обладают рядом преимуществ по сравнению с аппаратами обычного числа периодов.

Автор указывает, что при необыкновенно быстром развитии дуговой сварки, которое сейчас замечается, следует ожидать, что многие из недостатков современной сварочной аппаратуры будут в дальнейшем устранены.

В связи с мощным развитием электросварочного дела у нас в Союзе, нам также пора приступить к массовому выпуску электросварочной аппаратуры, учитывающей достижения переловой техники.

В. Рейхман.

IV. Аппаратура

13. Н. W. GLOTHIER. Новая испытательная установка большой мощности фирмы Rey-Rolle в Англии El. Review, London, Bd. 106, стр. 996.

В течение этого года в Англии построена и пущена в ход лаборатория большой мощности для испытания современных выключателей, разрывная мощность которых определялась до сих пор в Англии лишь расчетным путем.

Пульт управления и место для наблюдателей отнесены от испытательного стада на 45 м, причем в момент испытания в машинном помещении нет никого из обслуживающего персонала. Камера для наблюдения выполнена из сталибетона и имеет узкую прорезь для глаз наблюдателей, так что гарантируется полная безопасность.

Для защиты генератора от короткого между объектом испытания и генератором служит мерц-прис защита. Для предохранения питающей сети 5500 V и привода от обратного действия коротких замыканий питающая сеть самостоятельно отделяется от испытательной установки тотчас после того, как главный выключатель произведет включение на короткое замыкание. Порядок включения подобран таким образом, что цепь испытания может замкнуться лишь после выключения моторного выключателя. Обратно, если разрывается цепь испытания, то моторный выключатель сам снова включается, генератор принимает нормальное число оборотов и делается готовым для следующих опытов.

Для гашения возможного пожара при взрыве масляного выключателя служит углекислота, позволяющая в течение 30 сек. покрыть угрожаемое место пеной. Очень много внимания уделено обслуживанию машин и, в частности, смазке подшипников, которые снабжены реле из биметалла, сигнализирующим оптически и акустически всякую задержку смазочного масла или другие ненормальности в подшипниках.

Отнесением всей измерительной аппаратуры в помещение, отстоящее от цепи главного тока на 45 м, позволило избежать электромагнитных влияний последнего. Установленный для записи кривых осциллограф позволяет записывать одновременно 9 кривых, что представляет новый шаг вперед в этой области по сравнению с последней конструкцией шестифазового осциллографа фирмы Сименс-Гальске.

Генератор состоит из трехфазной машины с непосредственно связанной с ним машиной возбуждения и приводным мотором 2400 об/мин, который прямо питается от 5500 V питающей сети. Максимальная мощность короткого замыкания—1500 000 kVA. Путем переключений на клеммах генератора можно получить напряжения: 22 000 V, 12 700 V, 11 000 V и 6350 V.

Для того чтобы испытывать масляные выключатели при их номинальных напряжениях, предусмотрена в лаборатории группа однофазных трансформаторов, позволяющих получить различные ступени напряжения до 132 kV включительно. Для испытания аппаратуры на большие токи предусмотрен трансформатор больших токов, позволяющий получить токи порядка 300 000 A.

Настоящая установка является первой в Англии и по своей мощности, очевидно, будет самой крупной в Европе.

И. Палицын

14. А. Н. М. ARNOLD. Усовершенствованный метод испытания трансформаторов тока. J. of the IEE. Июль, 1930, стр. 893—905; и ETZ, 4 декабря 1930.

По мере развития трансформаторостроения, особенно после введения специального сорта железа (муметалла) для сердечников трансформаторов тока, выявилась также потребность усовершенствования и методов испытания их. При обычном испытании трансформаторов тока методом Шеринга и Альберти точность его достигает для коэффициента трансформации 0,1%, а для сдвига фаз несколько минут. Это, понятно, не удовлетворяет новейшим требованиям, которые предъявляются к измерительным трансформаторам, поэтому начали искать пути к усовершенствованию этого метода, и изыскания, произведенные в Национальной физической лаборатории в Теддингтоне, дали увеличение чувствительности вышеозначенного метода, выявив источники его ошибок и сделав некоторые изменения в самой схеме включения.

Отрицательные сдвиги фаз, в методе до сих пор употребляемом, измерялись при помощи катушки самоиндукции, включенной в делитель напряжения, получая перекompенсацию фазового отклонения, а точную компенсацию получали при помощи параллельно установленного конденсатора.

В новом же методе отрицательный сдвиг также измеряется, но только при помощи одних конденсаторов, включаемых параллельно в другой части делителя напряжения. Если первичные токи будут выше 200 A, то первичный нормальный транс-

форматор включается непосредственно в первичную цепь, но со вторичной стороны на вспомогательный трансформатор тока; при этом уже не требуется больше употребления водоохлаждаемых нормальных сопротивлений, которые всегда вносят некоторое неудобство. Но, с другой стороны, надо заметить, что при употреблении вспомогательных трансформаторов необходимо ввести поправку на коэффициент трансформации и угол сдвига фаз.

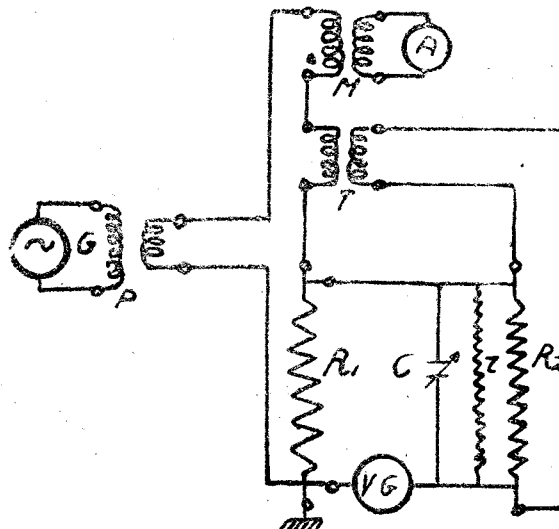


Рис. 1

Для получения абсолютной ошибки включения производят эталонирование схемы без вспомогательного трансформатора и с последним, для которого вносят необходимые поправки. Нижеследующая схема дает возможность судить, насколько новый метод отличается от метода Шеринга и Альберта (рис. 1).

Как видим, на чертеже первичная и вторичная нормаль R_1 и R_2 включены непосредственно друг против друга через вибрационный гальванометр. Уравнивание коэффициента трансформации получается при помощи высокоомного сопротивления r , включенного параллельно первичной или вторичной нормали; а уравнивание угла сдвига фаз—при помощи параллельно включенного конденсатора. При такой схеме коэффициент трансформации определяется с точностью до 0,01%, а сдвиг фаз с точностью до 0,1°.

А. Брауде

V. Электрификация промышленности

15. Токи короткого замыкания в сетях металлургических заводов ETZ № 5, 1931

В сетях металлургических заводов, а также и других сетях, в которых на небольшом пространстве сосредоточены большие мощности при низком напряжении, часто в связи с ростом мощностей электрических станций возникает затруднение с ограничением токов короткого замыкания.

Выполнение выключателей на большие разрывные мощности при низком напряжении представляет собой гораздо большие затруднения, чем при высоком напряжении.

Фирма AEG указывает, что ограничение токов короткого замыкания можно произвести путем включения так называемых „сопротивлений короткого замыкания“ (Kurzschlusswiderstände). В качестве сопротивления берется металл с высоким положительным температурным коэффициентом, т. е. металлическое сопротивление которого увеличивается с ростом его температуры. Особенно пригодным для этого является железо.

Ток короткого замыкания, проходя сквозь такое сопротивление, нагревает его и этим самым сопротивление увеличивается. Подобные сопротивления уже несколько лет введены в эксплуатацию сетей больших заводов и показали себя достаточно хорошо.

При нормальной нагрузке температура сопротивления достигает 50—80° C. Падение напряжения составляет 0,5%. Величина сопротивления должна быть подсчитана таким образом, чтобы до включения тока короткого замыкания выключателями железные ленты, составляющие подобные сопротивления, не нагревались до красного каления, т. е. до температуры 700—800° C. Для определения величины сопротивления должны быть приняты во внимание мощность короткого замыкания, время выключения и номинальный ток. Таким образом в каждом отдельном случае требуется особый подсчет величин сопро-

Пяртман

В. Толвинский

¹ Скончался в ноябре 1931 г. в Ленинграде.

ЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Изделия
германской электротехники

Весна 1932 г. с 6—13 марта



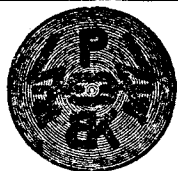
В рамках большой технической и строительной ярмарки, Лейпциг

За справками обращаться к Ярмарочному Комитету:
Leipziger Messamt, Leipzig (Германия), а также
к О-ву „Здание Электротехники“ на Выставочной площадке:
Haus der Elektrotechnik e. V., Ausstellungs-Gelände, Leipzig

6668

Ввиду ограниченности тиража
спешите подписаться на журнал
„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Условия подписки см. на 2-й стр. обл.



Papierfabrik a.m.b.h. vorm. Brüder Kämmerer & Osnabrück

Телеграфный адрес: Papierfabrik Osnabrück

Специальная фабрика изоляционной бумаги для электрической промышленности

Годовая продукция 20000 тонн

Специальные сорта:

Манильская и натронная клетчатка — Бумага для изолирования кабелей большого протяжения, кабелей высокого напряжения и кабелей сильного тока, лучшая изоляционная бумага для конденсаторов, бакелит и т. д.

6689

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

Осциллографы с вращающейся катушкой

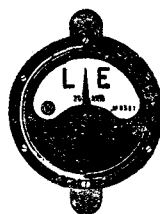
Скорость регистрации: от 0,1 мм.сек.
до 50000 мм. сек.

Катодные осциллографы

Скорость регистрации: от 0,1 км. сек.
до 50000 км. сек. Всевозможные
инструменты для лабораторных из-
мерений во время работы в любом
желательном специальном выполнении

Dr. Ing. Hans Rumpff
Bonn a. Rh.
Германия

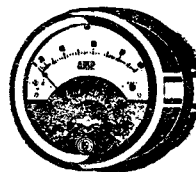
6659



Электрические
измерительные приборы
любого рода

KANNT & RIEDE

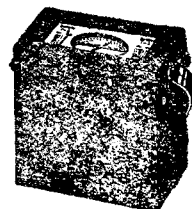
GERA
(Германия)



Наша специальность:

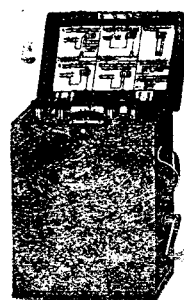
Измерительные элементы

в фарфоровой коробке
65×65 мм, непроницаемы
для воды и газов



Измерительные агрегаты

для ввертывания в нормальные
предохранительные элементы
со сменными амперметрами
для силы тока от 1—100 а.



6663

Porzellanfabrik N O R D E N A G Kopenhagen Dänemark (Дания)

БОЛЬШОЙ ПРИЗ



БАРСЕЛОНА 1929



СТАРЕЙШАЯ
ФАБРИКА
„МОТОРНЫХ
ИЗОЛЯТОРОВ“

Изоляторы высокого напряжения

6638

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.
Пожалуйста, запросите к иностранным фирмам о присылке каталогов, образцов и проспектов, просим сослаться на № нашего журнала



Motor-Aggregate- bau - Gesellschaft

m. b. H.

Erfenschlag-Chemnitz (Германия)

Zweigwerk der Zschopauer

Motorenwerke J. S. Rasmussen A.-G.

Zschopau i. Sa.

D K W

Моторные агрегаты всякого рода; приводной силой являются двигатели внутреннего сгорания

для бензина, бензола, керосина и нефти.

Мы кроме того поставляем в особенности:

Малые электрические станции

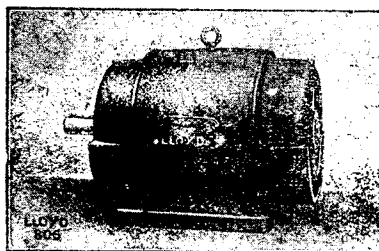
для всех видов тока и
всех напряжений;

для токов низкого напряжения,
для токов нормального напряжения,
для токов высокого напряжения и
для токов высокой частоты

6655

LLOYD

Моторы трехфазного тока с двойными каналами, малой и большой мощности.



Нормальные,
фланцевые,
вертикальные
моторы и мо-
торы для при-
стройки.

Моторы с при-
строенным пе-
реключателем
со звезды на
треугольник, с

поверхностным охлаждением,
с рубашкой для охлаждения,
защищенные от рудничных газов.

Моторы с двойными каналами, допускающие
переключение полюсов для различных чисел
оборотов при падающей мощности.

Моторы с двойными каналами для под'емных
машин,

для приводов,
для пристройки (в утопленной форме), при
этом применяются моторы в форме трубы
для всех отраслей индустрии и ремесла.

LLOYD DYNAMOWERKE

AKTIEGESELLSCHAFT

BREMEN

6654

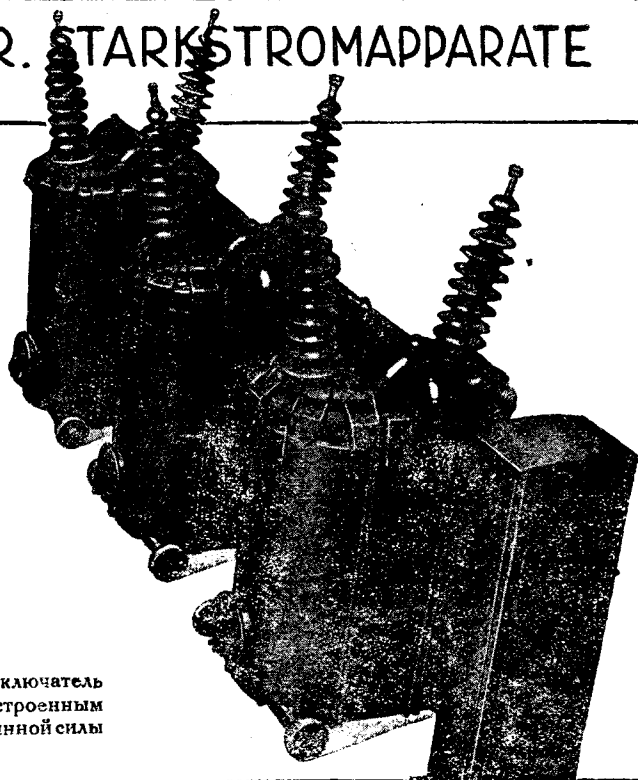
SPEZIALFABRIK ELEKTR. STARKSTROMAPPARATE und SCHALTANLAGEN

Специальный завод электрических аппаратов и распределительных установок

Наши масляные выключа-
тели показали свою надеж-
ность во всех отношениях.
Конструкция их является
результатом 20-и летнего
опыта в области fabri-
кации масляных выключа-
телей и отвечают всем тре-
бованиям при всевозмож-
ных условиях.



Масляный выключатель
110 кВ. с пристроенным
приводом магазинной силы



6652

EMAG ELEKTRIZITÄTS-AG FRANKFURT A M

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

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

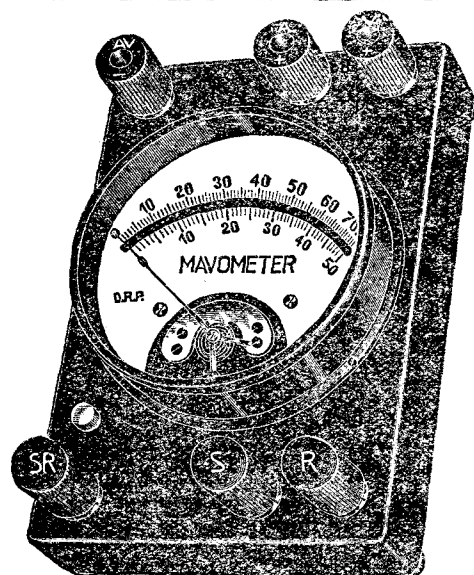
MAVOMETER

Один единственный инструмент заменяет 20 и больше дорогих измерительных приборов

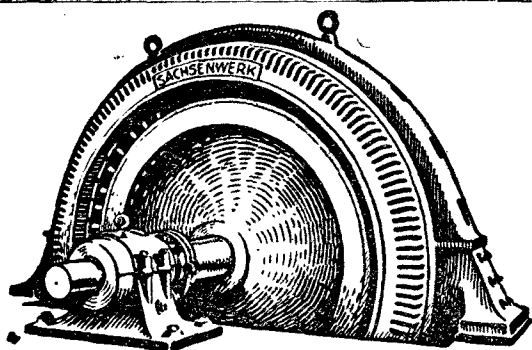
Наш универсальный мавометр

со сменными предвключаемыми и шунтовыми сопротивлениями (Германск. Государств. Пат.) применим для всех встречающихся на практике измерений напряжения, тока и сопротивления, а именно, начиная от 1-го милливольта до 2000 вольт, от 20 микро-ампер до 250-ти ампер и от 5-и ом до 50-и мегом. Благодаря своей высокой показательной точности, мавометр пригоден не только для контрольных измерений в работе и на монтаже, но, в особенности, и для научных измерений в институтах и лабораториях.

По желанию высылается подробный проспект.



GOSSEN
ERLANGEN-BAY.



SACHSENWERK

ГЕНЕРАТОРЫ - ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

для промышленности, ремесленных производств и сельского хозяйства

ТРАНСФОРМАТОРЫ

аппараты высокого и низкого напряжения
инсталляционный материал

ПОСТРОЙКА ЦЕНТРАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

и передача тока на расстояние
электрические железные дороги

ПЫЛЕСОСЫ

РАДИО-АППАРАТЫ

АККУМУЛЯТОРЫ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

Sachsenwerk, Niedersiedlitz (Sa)

591/1097

Германия

Трубопроводы всякого рода
проектирует и поставляет

P. FISCHER & CO.
FRANKFURT a. M.-SUD 10

Телегр.-адрес: Röhrenfischer-Frankfurt/Main

Представительства во всех больших городах
Германии и за границей

Полные трубопроводные установки для пара
высокого давления, для рабочих давлений
до 40 атм. и выше и для максимального
давления пара.

Трубопроводы для городских и фабричных отопительных установок и для районных отопительных станций.

Поставка всех отдельных частей вплоть до самых больших внутренних диаметров.

Сварочные работы всякого рода для любого давления вплоть до 300 атм.

Автогенная, алюминиевая и электрич. сварка, собственная трубо-загибочная для сгибания труб внутренних диаметров до 600 мм., **солидное и быстрое обслуживание.**

17028



Sachgemässe Beratung
in allen Fragen

der

ausländischen Reklame in der Sowjetunion

bietet unverbindlich:

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

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

Berlin W35, Kurfürstenstr. 33
Tel. B2 Lützow 8603

Просьба к читателям

желающим выписать каталоги или пр. информаци-
онный материал иностран. фирм, заполнить помещен-
ный внизу текст, вырезать его, вложить в конверт
снабженный 15 коп. маркой и отправить фирме по
адресу, указанному в объявлении или статье журнала.

Фирме:

В.....

Ссылаясь на В/ объявление в технических журна-
лах Союза ССР, прошу (сим) выслать мне (нам)
по нижеследующему адресу каталог или инфор-
мационный материал об изделиях В/ производства
и особенно в отношении

Фамилия или
учреждение:
(Разборчиво)

Специальность:

Адрес:

КРИТИЧЕСКИЕ ПОКУПАТЕЛИ



требуют только
наши

Рулоны для регистрации
ПЕРФЕКТ

Требуйте бесплатные предложения.

Специальность!

1. Бумага с миллиметровым делением.
2. Бумага с логарифмическим делением.
3. Бумага, различаемая по треугольной и полярной системе координат.

При запросах просим присылать образ-
ец печатного текста и указывать тре-
буемое количество экземпляров, длину
рулонов, а также диаметр внутреннего
отверстия.

Carl Schleicher & Schüll
Düren, Rheinland

28128

Сплавы и металлы, плавленные при вакууме

Хромо-никелевая проволока для нагре-
вательных элементов для сталлизируемых
электричеством накалильных печей для
промышленности и предметов домашнего
хозяйства, с содержанием хрома от
11—33%.

Тянутые без швов трубы из хромо-ни-
келя, плавленного в вакууме, как-те за-
щитные трубы для пирометров и для хи-
мической промышленности.

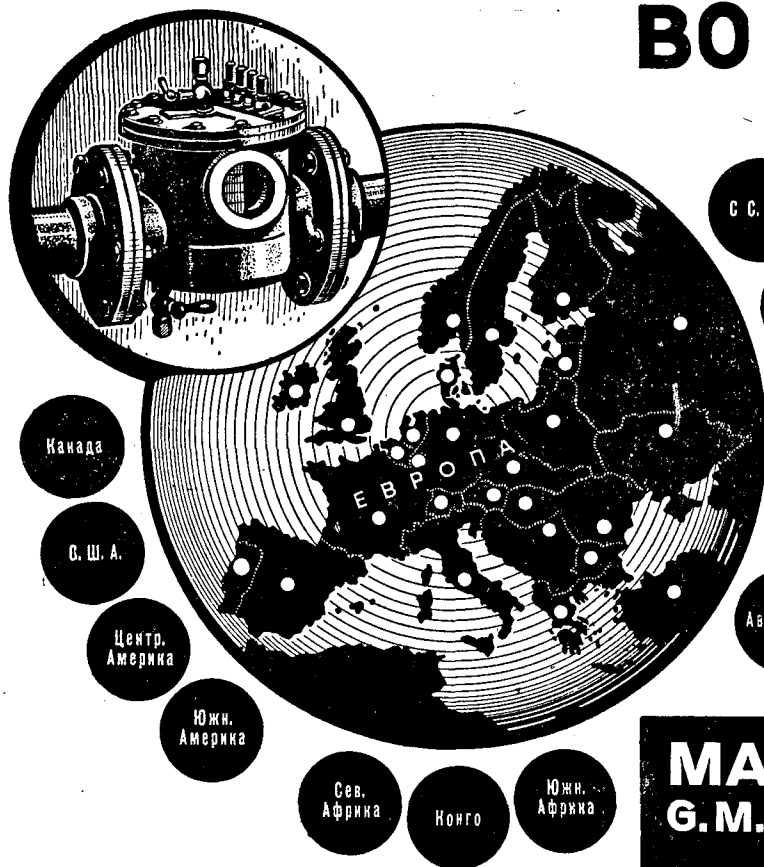
Сплавы высшей теплоустойчивости для ма-
шинных частей, которые должны выдержи-
вать длительные рабочие температуры
до 1000°.

Антикатоды из меди, подвергнутой плаве-
нию в вакууме, для рентгеновских трубок.
Свободная от газа чистая никелевая
проволока и лента для ламп накаливания,
усилительных и передаточных трубок.
Свободная от газа токоподводящая про-
волока для ламп накаливания из сплава
железо-никеля.

Термоэлементы из плавленных при ваку-
уме благородных металлов с постоян-
ной кривой градуировки, измерение тем-
ператур от 300—1100°.

Геркус-Вакуумшмельце
А.-О.
Гангау н. М. (Германия)

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



ВО ВСЕМ МИРЕ

специалистами признано, что

РЕЛЭ БУХГОЛЬЦА

являются надежнейшим устройством для защиты **ТРАНСФОРМАТОРОВ.**

В настоящее время свыше

11000 шт.

таких устройств защищают трансформаторы общей мощностью

ок. 45 МИЛЛИОНОВ kVA

На основании нашего общего договора, все запросы и заказы для С.С.С.Р. следует направлять через

Отдел Силовых Установок и Электротехники Торгового Представительства С.С.С.Р. в Германии (Берлин) или ОБЪЕДИНЕНИЮ ЭЛЕКТРОИМПОРТ МОСКВА.

MAX BUCHHOLZ

G.M.B.H. KASSEL (ГЕРМАНИЯ)

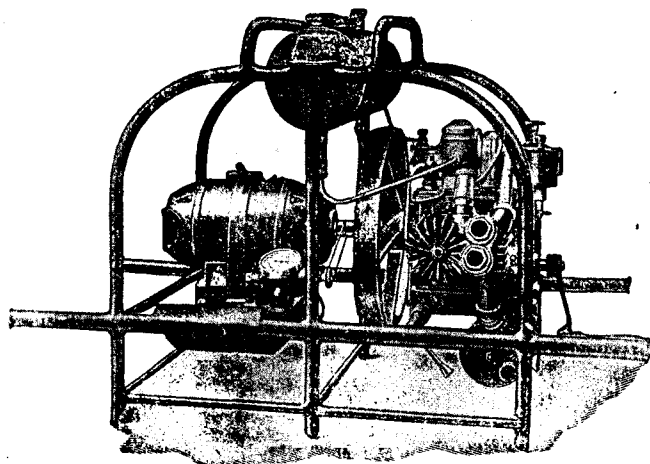
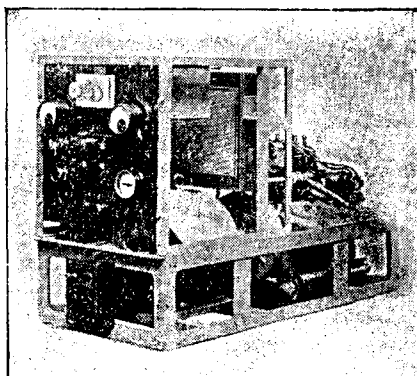
AMALIENSTRASSE 1



HANS BERGMANN

APPARATEBAU

BERLIN - CHARLOTTENBURG, GOSLARER PLATZ 8-9



Электрические силовые станции любого рода

Телеграфный адрес: Nomontanus

6637

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