1932

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

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 9

МАЙ

ВЫПУСК I

МОСКВА
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ОНТИ КНИГОЦЕНТР ОНТИ

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1932 год

НА ЖУРНАЛЫ

„ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ"

Ежемесячный орган Всесоюзного электротехнического об'единения ВЭО

ЗАДАЧИ ЖУРНАЛА: достижения советской электропромышленности сильного тока, описание новых типов выпускаемых изделий с их технической характеристикой, результаты лабораторных испытаний, виды и условия применения, опыт эксплоатации и качество электротехнических изделий. Особый отдел—электродвигательные приводы к производственным станкам и машинам. Отделы планово-экономический.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН на инженеров, техников, квалифицированных рабочих и студентов втузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год . . . . . 10 р. — к.,
на 6 мес. . . . . 5 р. — к.,
на 3 мес. . . . . 2 р. 50 к.
Отдельный номер . . . . . 1 р. — к.

Льготная при коллективной подписке не менее 10 экз.

на год . . . . . 9 р. — к.,
на 6 мес. . . . . 4 р. 50 к.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ ЭНЕРГОЦЕНТРА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ГОД ИЗДАНИЯ 3-й ГОД ИЗДАНИЯ 3-й

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Описание проектов новых станций и сооружений. Освещение опыта эксплоатации станций и их отдельных частей. Вопросы организации строительства. Вопросы планирования электростроительства и распределения энергии. Разбор новых проблем эксплоатации и рационализации энергохозяйства. Эксплоатация высоковольтных сетей и электропередач. Параллельная работа станций. Освещение достижений Запада в вопросах электростроительства.

Журнал рассчитан на инженера, техника и квалифицированного рабочего станции, учащихся вузов и втузов, библиотеки, научно-исследовательские и проектирующие институты.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год . . . . . 15 р. — к.,
на 6 мес. . . . . 7 р. 50 к.,
на 3 мес. . . . . 3 р. 75 к.,
Отдельный номер . . . . . 1 р. 50 к.

Льготная при коллективной подписке не менее 10 экз.:

на год . . . . . 8 р. — к.,
на 6 мес. . . . . 4 р. — к.,
на 3 мес. . . . . 2 р. — к.

Подписка принимается во всех отделениях и магазинах Книгоцентра ОГИЗа, его уполномоченными и на почте.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

9
МАЙ
1932

Орган Всесоюзного электротехнического об'единения (ВЭО), Главного управления энергетического хозяйства (Главэнерго), 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, 1-й этаж. Телеф. 72-46 и 1-57-19

Содержание

	Стр.
Передовая. Климовицкий—Внимание вопросам эксплоатации электростанций	485
Решения Всесоюзной конференции по генплану электрификации—в массы	489
С. Гарденин—Основные элементы генплана электрификации Дальневосточного края	490
Проблема передачи постоянным током в генплане электрификации	494
Привет новому отряду энергетиков в Академии наук СССР	495
П. П. Лаупман и В. А. Толвинский—Днепровская государственная электрич. станция	496
В. Ф. Миткевич и П. Л. Калантаров—О стандартах электротехнических обозначений	511
В. С. Кулебакин и Я. Н. Шпильрейн—За широкое общественное обсуждение стандартов обозначен.	512
Обсуждайте тематический план электротехнических изданий	513
Н. Ф. Сергеев—Методы защиты контактной сети электрич. ж. д. постоянного тока от токов короткого замыкания	515
П. К. Денисов—Универсальная диаграмма тяговых серие-двигателей	520
В. М. Хрущов—О расчете сверхтоков в сложных электрических сетях	524
Библиография	530
Из книг и журналов	531

Внимание вопросам эксплоатации электростанций [1]

Я. Климовицкий

Укрепление и расширение энергетической базы социалистического хозяйства всегда было предметом особой заботы партии и правительства. Успешное завершение в первой пятилетке ленинского плана ГОЭЛРО явилось непосредственной предпосылкой плана электрификации второй пятилетки, плана создания новейшей энергетической базы, которая по директиве XVII конференции ВКП(б) должна обеспечить стране в 1937 г. не менее 100 миллиардов киловатт-часов электроэнергии против 17 миллиардов в 1932 г.

Огромные сдвиги в области электрификации ярче всего выражаются в цифрах ввода новых мощностей нашими электростанциями. В 1928 г. было введено только 300 тыс. киловатт, в 1929 г.—400 тыс., в 1930 г.—600 тыс. и в 1931 г.—свыше 1 млн. В 1932 г. должно быть введено не менее 1,5 млн. квт. По ежегодному вводу новых мощностей мы уже достигли наиболее высокого (докризисного) уровня передовых европейских капиталистических стран, перегнав большинство их и имея пока впереди себя лишь САСШ.

Этих успехов, однако, совершенно недостаточно, чтобы полностью преодолеть все еще значительное отставание электростроительства и электроснабжения от растущих потребностей социалистической реконструкции народного хозяйства. Широкий размах механизации и автоматизации производственных процессов в промышленности, осуществляемый перевод на электрическую тягу ряда железных дорог, постепенная электрификация сельского хозяйства, быстрый рост городского хозяйства и благосостояния трудящихся масс—требуют резкого увеличенияв ыработки электроэнергии. Развитие новых отраслей техники, внедрение электричества в металлургию и химию, строительство гигантских энергопромышленных комбинатов, сочетающих потребление электрической и тепловой энергии от мощных теплоэлектроцентралей,—настоятельно диктуют дальнейший форсированный ход электрификации.

„Отмечая диспропорцию между промышленным развитием и обеспечением электроэнергией ряда крупных районов (Донбасс, Ленинград, Москва, Нижний-Новгород, Урал), с'езд считает необходимым расширить сеть строящихся электростанций и добиться решительного перелома в обеспечении предприятий электричеством". Это решение XVI с'езда партии далеко еще не реализовано в полной мере.

[1] Статья в основной своей части напечатана в газ. „Правда" № 22, май, с. г.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Донбасс, получивший в 1931 г. новые значительные мощности в 285 тыс. киловатт (Зуевка, Штеровка, Донсода), не обеспечен все же достаточно бесперебойным электроснабжением. С наибольшей остротой, именно в Донбассе, обнаружился резкий разрыв между вводом новых мощностей и строительством распределительных подстанций, линий передач и сетей.

Ленинград получил 48 тыс. и Москва—100 тыс. киловатт, но такое расширение энергетических баз не покрывает еще потребностей роста этих крупнейших индустриальных центров.

Нижегородский промышленный район до сих пор не избавился от лихорадочных перебоев НИГРЭС, которая переживает тяжелые последствия прорыва в области топливоснабжения, потрясшего в большей или меньшей степени все наши торфяные электростанции.

Урал, заметно подкрепленный новыми 134 тыс. киловатт (Челябинск, Березники, Магнитогорск), продолжает все же оставаться, особенно в Северном и Среднем районах, отсталым участком электрификации. Новых мощностей ждут Зап. Сибирь, Казакстан, Средняя Азия и другие районы.

В ряде мест наше электрохозяйство работает без всякого резерва. Если в среднем по основным промышленным районам в 1931 г. резерв к установленной мощности составлял 20 проц., то в 1932 г. он снизился до 10 проц., что в условиях неполного кольцевания электростанций является крайне неблагополучным положением.

Продолжая и в дальнейшем с большевистской настойчивостью развивать быстрыми темпами крупное электростроительство, нужно сейчас сосредоточить усилия на освоении введенных ранее и вступающих в строй новых миллионов киловатт. Эта важнейшая область, область правильной наладки эксплоатации электростанций до сих пор оставалась в тени всех работ по электрификации. Наряду с многочисленными образцами подлинно героических темпов строительства (Днепрострой, Магнитогорская грэс, Сталгрэс и др.) в отдельных случаях имела место погоня за показными рекордами пуска агрегатов, а иногда и целых станций без комплектной и доведенной до конца сдачи их в нормальную эксплоатацию.

Так, на НИГРЭС еще в ноябре 1931 г. состоялся „торжественный пуск" турбины в 46 тыс. квт, в то время как агрегат не имел еще собственных трубопроводов, котлов, трансформатора и других устройств и вследствие этого не пущен по-настоящему до сих пор. Белгрэс вступила в эксплоатацию, имея 95 дефектов и недоделок в электрической части и 100—в тепловой, из которых наиболее важнейшими были: незаконченность торфоподачи, ненадежность паропроводов, полное отсутствие измерительных приборов, электрической защиты, запасных частей и пр. Вступившая в работу еще в мае 1930 г. Новороссийская станция с самого начала обнаружила ряд серьезных конструктивных и монтажных недочетов, главным образом, в водоподготовительном устройстве котельной и до сих пор не вышла из полосы неполадок. Единственная в мире по передовому техническому замыслу и оборудованию Березниковская теплоэлектроцентраль мощностью около 80 тыс. квт вырабатывающая при давлении пара в 60 атм сфер комбинированную электрическую и тепловую энергию, переживает серьезнейшие затруднения в области водоподготовки, дробления угля и углеподачи. Печальную известность заслужило очковтирательство с пуском Дзержинской ГРЭС.

Советское энергомашиностроение при огромных его достижениях на пути решительной замены импорта заграничного оборудования собственным производством мощных котлов, турбин, электрических машин и аппаратуры не обеспечивает еще качественно высокой продукции, комплектности и стандартности изготовления. Это чрезвычайно болезненно отзывается на эксплоатации электростанций. На той же Новороссийской станции одна из турбин Ленинградского металлического завода (ЛМЗ) в 10 тыс. киловатт вскоре же после пуска потерпела аварию из-за плохого качества материала лопаток и была отправлена для капитального ремонта обратно на завод. На Краснодарской станции при первых же пусках двух турбин ЛМЗ по 5 000 квт вследствие упущений в заводских расчетах были сожжены подшипники, и ротор одного из электрических генераторов приведен в негодность. На Кизелгрэс котел ЛМЗ, проработав всего 278 час., вышел из строя из-за неисправной работы топок и т. д.

Жесткий счет должен быть пред'явлен и по линии дефектов импортного оборудования заграничных фирм, служащего нередко причиной многих неполадок. Так, на Чугуевской станции (Эсхар) были обнаружены дефекты в генераторах и трансформаторах фирмы АЕГ и котельных вентиляторах фирмы Ганомаг, на Киевгрэс выявлены крупные конструктивные недочеты в котлах Ла-Бельвиль, на открытых подстанциях МОГЭС оказались негодными раз'единители Сименс-Шуккерт, на Кашире котлы Бабкок-Вилькокс в 3 100 кв. метров нагревают вместо гарантийных 192 тонн пара в час лишь 130—140 каждый и т. п.

Для оздоровления эксплоатации и сокращения „детских болезней" пускового периода электростанций нужно прежде всего еще при проектировании и выборе оборудования привлекать к широкой критике проектов опытный эксплоатационный персонал. Необходимо в самом начале четко отделять на каждом конкретном об'екте область эксплоатации от сложных вопросов электростроительства и обеспечивать ответственную техническую сдачу и приемку всего комплекта частей смонтированной до конца станции. Недоделкам, некомплектности поставок, всучиванию негодного оборудования, показным рекордам и очковтирательству на фронте электрификации должна быть об'явлена беспощадная война. Этот участок должен быть взят под жестокий обстрел пролетарской самокритики.

Образцовым примером правильного подхода к вопросу наладки бесперебойной эксплоатации и овладения высокой новейшей техникой электростанций служит такой крупнейший об'ект электростроительства, как Днепрострой. Центральным комитетом партии и правительством перед руководителями Днепростроя поставлена задача „наладить правильную эксплоатацию днепростроевских сооружений в течение всего 1933 г." Разрешением этой ответственной задачи уже заняты

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

строители Днепрогидроцентрали[1]. „Не только школой строительного дела должен гордиться Днепрострой, ему же надлежит стать подлинной школой хорошей современной эксплоатации". (А. В. Винтер, „Правда", 1 мая с. г.)

В составляемом сейчас (на основе работ недавно происходившей специальной Всесоюзной конференции) новом плане электрификации СССР во второй пятилетке вопросы эксплоатации должны быть учтены в самой широкой степени и занять видное место.

Недочеты в освоении новых мощностей и эксплоатации электростанций раньше всего отражаются на выработке электрической энергии. Мы добились недосягаемых для капиталистических стран темпов ежегодного прироста в производстве электроэнергии. Наши районные станции дали в 1930 и 1931 гг. прирост энергии на 43%, в то время как САСШ имели в 1931 г. снижение на 3,75%, с характерной для глубокого кризиса капитализма тенденцией дальнейшего падения выработки в 1932 г. Итоги работы районных станций в первом квартале 1932 г. снова дали прирост на 45,5% по сравнению с этим же периодом 1931 г. И, несмотря на это, план выработки энергии 1931 г. все же недовыполнен нами на 16%, а план первого квартала 1932 г. на—4,3%. По отдельным районам в истекшем квартале недовыполнение достигает 15—20% (Уралэнерго, Запэнерго, Ивэнерго, Нигрэс, Сталгрэс) и даже 29 проц. (Самгрэс).

Серьезнейшим фактором недовыполнения плана выработки электроэнергии является недостаточная пропускная способность подстанций, сетей и линий передач, в строительстве которых наблюдается до сих пор недопустимое отставание. Особенно показателен пример Иваново-Вознесенской станции, имевшей до недавнего времени, вследствие запоздания строительства сетей на Рыбинск и Ярославль, нагрузку в 10—15 тыс. квт. при мощности в 70 тыс. квт. и не догруженной до сих пор.

Однако должен быть дан решительный отпор попыткам об'яснить только за счет недостаточности сетей и преувеличенных заявок потребителей (фабрик и заводов) недовыполнение плана выработки электроэнергии. „Потребители не взяли энергии", такова излюбленная формула этих героев самотека в области электрохозяйства. Например, в передовой статье журнала „Электрические станции" (№ 5 за 1931 г.) усиленно подчеркивалась „зависимость производственного задания станции от замкнутого круга потребителей, которые определяют не только количественное выполнение задания, но и основные производственные условия его выполнения". При этом смазывалась активная роль плановой социалистической энергоснабжающей системы и самой станции в выработке и распределении энергии.

Совершенно исключительна, например, активная роль инженерно-технического персонала и рабочих станций в организации надежной работы оборудования, в предупреждении и ликвидации аварий. Между тем, процент аварийного недоотпуска энергии показывает за последнее время сильный рост. В 1931 г. из-за аварий, вызванных чисто эксплоатационными неполадками, недоотпущено по всем районным станциям 35 миллионов квт-ч, что составляет 0,5 проц. от выработанной энергии. Такой же примерно размер недоотпуска дает февраль и март 1932 г. В предыдущие же годы недоотпуск из-за аварий составлял по ряду станций, например, наиболее технически сильной системы МОГЭС, всего 0,05 проц.

Анализ причин 133 аварий, происшедших за 5 последних лет только в электротехнической части Шатурской электростанции, показывает, что значительная часть аварий была вызвана неудовлетворительным состоянием устройства высоковольтной электрической защиты, диспетчерской службы и связи в системе МОГЭС. Вместе с тем имеет большой рост число аварий из-за неправильных операций персонала. Крупное расширение и усложнение оборудования этой важнейшей торфяной централи не было обеспечено ростом квалифицированных кадров эксплотационного персонала. „Из общего числа аварий, зависящих от Шатурской гэс (49 за 5 лет), половина падает на аварии, вызванные неправильными операциями персонала и неисправностью оборудования" (инж. В. П. Сабельников, журнал „Электрические станции", № 10, 1931 г.).

Серьезным сигналом должна послужить происшедшая в 1931 г. непосредственно по вине и небрежности персонала авария на одной из подстанций МОГЭС. Авария, сопровождавшаяся тремя человеческими жертвами, пожаром масла и простоем подстанции мощностью около 25 тыс. киловатт в течение 14 час. выявила неблагополучие в технике безопасности и игнорирование подчас элементарных правил эксплоатации электростанций.

Перебои в электроснабжении бьют по промфинпланам наших предприятий. Недоотпуск только 1 киловатт-часа электроэнергии, хотя и принимающей незначительное участие в самой стоимости промышленной продукции (всего иногда 1—2 проц.), вызывает недовыработку продукции, оцениваемой рублями. Главнейшей задачей наших станций поэтому должна стать упорная борьба за бесперебойность электроснабжения предприятий путем повышения эксплоатационной бдительности и производственной дисциплины всего персонала.

Решающее значение в эксплоатации электростанций имеет наибольшее использование их установленной мощности. Этот качественный коэфициент у нас растет неизменно, показывая в 1931 г. 3 460 час. годовой работы каждого установленного киловатта. По отдельным районам он достигает 4 800 (МОГЭС), 4 750 (Ленинградский „Электроток") и даже 6 000 час. (Донэнерго). В САСШ годовое число часов использования снизилось до 2 590 против 3 100 час. периода наивысшего расцвета промышленности в прежние годы. В области уплотнения графика работы наших электростанций и использования их мощности мы обладаем недоступными капитализму средствами планового хозяйства и должны добиваться еще более высоких результатов. Надо потребовать от советского киловатта еще более интенсивной работы.

Решительных сдвигов нужно добиться и в снижении стоимости киловатт-часа. Снижение

[1] См. ниже описание Днепроцентрали в статье тт. Лаупмана и Толвинского в данном номере.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

себестоимости электроэнергии лежит на пути улучшения качества всей работы электростанций и, особенно, в части расхода топлива. Этот показатель в среднем для районных станций улучшается с каждым годом. Если в 1926/27 г. он выражался в 0,95 кг условного топлива на 1 киловатт-час, то в 1930 г. он достиг 0,86 и в 1931 г., 0,82. Но здесь мы еще в сильной степени отстаем от передовых капиталистических стран, в частности, от САСШ, где расход топлива на киловатт-час в 1930 г. составлял 0,76 кг, и от Германии, имеющей в этой области еще более высокие достижения.

Огромной задачей качественного порядка является для электроснабжения борьба с потерями на реактивную энергию, затрачиваемую в больших количествах вследствие нерационального ведения электрохозяйства промышленными потребителями, например, из-за низкой загрузки и неправильной расстановки моторов на заводах, фабриках и шахтах. Это—борьба за повышение косинуса фи электроустановок и электрических сетей, недоиспользование мощности из-за плохого косинуса фи составляет в нашем электрохозяйстве в среднем не менее 25 проц. Современная техника вооружает электрохозяйство в борьбе за высокий косинус фи. Обеспечение высокого косинуса фи (синхронными и статическими конденсаторами и другими мероприятиями) даст новые сотни миллионов киловатт часов активной энергии во второй пятилетке.

Важнейшей основой бесперебойной работы тепловых электростанций является правильно поставленное топливоснабжение. Недоотпуск электроэнергии из-за недостатка и плохого качества топлива, главным образом торфа, достиг в 1931 г. 0,5 проц. всей выработки. Борьба за налаживание торфяного хозяйства является одной из главных задач всего топливоснабжения электростанций, так как выше 35 проц. общего количества электроэнергии вырабатывается на торфе. Для бесперебойной работы электростанций требуется торф однородного и вполне определенного качества в зависимости от режима работы индивидуальных особенностей топок котлов и других механизмов. Система Союзторфа, не сумевшая обеспечить такого гибкого топливоснабжения, потерпела полную неудачу. Доставка торфа повышенной влажности (до 65 проц. вместо 30%) превратилась в перевозку воды, загрузила и без того недостаточный транспорт и дезорганизовала работу станций.

Сжигание больших количеств торфа в масштабах, невиданных для мировой техники, под котлами наших электростанций выдвинуло на данном этапе ряд технических трудностей, требующих особо продуманных мероприятий по организации торфяного хозяйства. Паникерские заключения о непригодности торфа, как топлива для мощных советских электростанций (см. заметку Лерт в „За индустриализацию" от 6 мая с. г.) должны быть резко осуждены. Необходимо теснее связать электростанции с торфяными полями, поручив это самим энергоснабжающим системам. Нужно форсировать окончательное разрешение научно-исследовательскими институтами и электростанциями проблемы сжигания фрезерного торфа, учитывая образцовые достижения на этом участке Шатурской, Брянской и др. станций и продолжая неуклонно расширять базу электрификации в области местных топлив.

Вместе с тем должно быть усилено строительство гидростанций, обеспечивающих по сравнениию с тепловыми централями, как показал успешный опыт Волхова и Загэса, при значительно меньшей сложности эксплоатации гораздо более надежное, безотказное и дешевое электроснабжение. В этом разрезе недавнее решение ЦК ВКП(б) и правительства о приступе к постройке вслед за Днепростроем трех крупных гидростанций Средволгостроя имеет историческое значение для дальнейших сдвигов в электрификации страны.

Успешное разрешение задач освоения новых мощностей должно опираться на широкую механизацию всех звеньев технологического процесса работы электростанций. Наша отсталость здесь также весьма велика. Количество рабочих на 1 000 киловатт наших электростанций в среднем в 3—4 раза больше, чем за границей. На Сталгрэс, Кизелгрэс и на многих других новых станциях золоудаление производится все еще вручную вагонетками и конной тягой. И это несмотря на то, что некоторые станции (тот же Сталгрэс) оборудованы гидравлическим устройством золоудаления. Труд золоката крайне тяжел. Горы золы загромождают территорию станций. Механизация должна охватить в первую очередь этот участок.

Автоматизация управления электрическими системами на расстоянии, служащая основой технически совершенной диспетчерской службы, также является неотложной задачей. Сложными сетями МОГЭС, Донбасса и др. районов мы управляем до сих пор при помощи телефонов и управляем плохо, с ошибками и авариями. Достижения современной электротехники, осуществляющие передачу измерений и позволяющие управлять механизмами на расстоянии, должны быть целиком нами использованы. Пора, наконец, в Главэнерго и ВЭО поставить этот вопрос на практические рельсы.

Исследовательские лаборатории наших электростанций, в особенности же химические, находятся в запущенном состоянии. Между тем химический анализ (влажности, зольности, теплотворности топлива, качества воды, электротехнических масел и т. д.) должен пронизать все стадии производства электрической энергии.

Правильная эксплоатация электростанций должна опираться на широкие научные исследования многообразных сторон работы сложного электротехнического и теплового оборудования, на обобщение опыта аварий, неполадок и борьбы за качественные показатели. Для этого должен быть создан научно-исследовательский институт, изучающий работу и вырабатывающий методы эксплоатации современных электроцентралей.

Особое внимание для улучшения эксплоатации электростанции должно быть сосредоточено на

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ремонтном деле. Челябгрэс, расширяемая сейчас до 150 тыс. киловатт и ряд других крупнейших электростанций не оборудованы ремонтными мастерскими. Со всей остротой выдвигается вопрос создания специальных районных ремонтных заводов для электростанций. Планово-предупредительный ремонт всех частей оборудования должен стать обязательным правилом.

Огромные трудности управления энергохозяйством всей страны смогут быть преодолены только при коренном изменении методов руководства электростанциями на основе шести условий т. Сталина. Уравниловка в зарплате еще гуляет по электростанциям. На Сталгрэс, например, бригада ЦКК РКИ нашла, что все старшие кочегары вне зависимости от индивидуальной квалификации оплачиваются поровну, кочегары, старшие мельники и дежурные на насосах получают одинаково, инженер с пятилетним стажем получает столько же, сколько инженер, работающий менее года. Необходимо коренным образом перестроить систему оплаты труда на электростанциях от водосмотра до главного инженера, ввести широкую систему премирования за экономию топлива, за быструю ликвидацию аварий и т. д. Обезличке в обслуживании котлов, турбин и электрических устройств нужно положить конец путем прикрепления бригад к агрегатам, повышения ответственности, резкого улучшения технического руководства и четкого проведения хозрасчета в сочетании с соцсоревнованием и ударничеством. И наконец, нужно обеспечить еще более широкую, чем до сих пор, подготовку и переподготовку кадров квалифицированных рабочих, мастеров, инженерно-технического персонала и директоров для полного овладения передовой техникой электростанций, этих важнейших высот индустриализации страны.

Решения Всесоюзной конференции по генплану электрификации—в массы!

Научно-технические предпосылки плана электрификации СССР[1]

Необходимо в ближайшее время принять стандартную шкалу напряжений для районных сетей, межрайонных связей и для линий магистрального значения, учтя все сделанные по данному вопросу предложения. Ввиду особого значения для Союза линий магистрального значения необходимо вести особо интенсивным образом разработку проблем, связанных с передачей больших мощностей на очень далекие расстояния, как при помощи постоянного, так и трехфазного тока. Учитывая особую важность проблем, связанных с трансформацией, необходимо безотлагательно развернуть научно-исследовательские работы по: а) трансформированию больших мощностей при очень высоких напряжениях при помощи обычных схем трансформации (однофазные и трехфазные); б) тоже при помощи каскадной системы, производя вышеуказанные работы в условиях по возможности близких к эксплоатации.

Ввиду особой остроты вопроса о быстром и надежном отключении больших мощностей при сверхвысоких напряжениях, необходимо уделить серьезное внимание разработке новых конструкций мощных выключателей на разрывные мощности порядка 5—6 млн. kW.

Ввиду высоких грозоупорных качеств дерева и возможности широкого применения деревянных опор необходима скорейшая разработка конструкций соответствующих опор для линий электропередач. Необходимо также уделить достаточное внимание научно-исследовательским работам в области грозовых явлений и защиты от них сетей.

Ввиду широкого применения для регулирования линий электропередач синхронных и других компенсационных устройств необходимо произвести соответствующую научно-техническую работу, связанную с организацией их производства на заводах Союза. Необходимо подвергнуть глубокой научно-технической проработке вопрос о генерировании ваттных и безваттных мощностей в отдельных машинах. Необходимо значительно расширить об'ем научно-исследовательских работ по параллельной работе станций и вопросам устойчивости, обратив особое внимание на изыскание способов увеличения устойчивости искусственными мерами.

При проработке проблем передачи энергии постоянным током необходимо вести работу по всем основным направлениям, которые обещают дать удовлетворительное техническое решение (ионные, ртутные преобразователи и т. п. [1].

При разработке ионных преобразователей, а также новых типов выключателей и предохранителей, необходимо особо учитывать потребности электрификации транспорта. Необходимо поставить самую широкую научно-исследовательскую работу по автоматизации управления электростанциями и подстанциями. Для рациональной постановки диспетчерской службы необходимо дальнейшее развитие систем телефонной и других видов связи и широкое распространение телеметрических устройств.

Одной из актуальных задач в области ЕВС является разработка на марксистско-ленинской основе системы технико-экономических показателей конкретных звеньев ЕВС. Имея ввиду при наличии в общем достаточно серьезной научно-исследовательской базы в области электрификации (ВЭИ, ЛЭФИ, НИИЭЭ и пр.) большое отставание практических достижений в работе этих институтов от поставленных задач, считать необходимым, помимо создания единого планирующего и организационного центра, решительную реорганизацию работы самих институтов на основе шести условий т. Сталина, развертывание методов социалистического соревнования, а также широкой самокритики в области научных работ, обеспечение наилучших условий для работы старых специалистов, дальнейшее орабочивание основных кадров научно-исследовательских работников, перестройку на боевой лад существующих общественных организаций (ИТС, ВЭК, научно-технические общества) внедрение метода диалектического материализма в научно-исследовательскую работу, решительную борьбу как с некритическим переносом буржуазной техники, так и с абсолютным отрицанием наследства последней, большее использование электротехнической печати для социалистического обмена опытом и широкого развертывания в среде научных работников деловой научной самокритики.

Считать необходимым дальнейшее развертывание научно-исследовательских работ как в области поисков новых естественных и искусственных (синтетических) материалов, так и в области новых изоляционных конструкций, в особенности проходных изоляторов для трансформаторов и выключателей на 220—400 kV.

---

[1] Из резолюции Всесоюзной конференции по генплану электрификации в связи с докладами А. А. Чернышева и т. Палицына.

[1] См. публикуемую ниже выдержку из резолюции конференции по постоянному току на стр. 494.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

МАТЕРИАЛЫ К ГЕНПЛАНУ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Основные элементы генплана электрификации Дальневосточного края

С. Гарденин
Госплан СССР

В районной секции Оргкомитета по составлению Генплана электрификации СССР было заслушано несколько докладов и сообщений работников Дальневосточного крайплана об общей схеме построения генплана электрификации Дальневосточного края. Основной доклад был сделан т. Кравцовым, сообщение по общей гидрологии ДВК — т. Симбирским и специальный доклад о наводнениях в ДВК — т. Бродовицким.

Центральной идеей, положенной в основу генплана электрификации края, сроком выполнения которого авторы считают 15-летний промежуток времени, является принцип комплексного использования колоссальных гидроэнергетических ресурсов края, суммарная теоретическая мощность которых составляет цифру в 66 млн. л. с., благодаря чему ДВК в отношении гидроэнергетических ресурсов выдвигается на первое место даже среди таких богатых гидроресурсами районов, как Закавказье, Средняя Азия, Восточная и Западная Сибирь.

Принцип комплексного использования рек края как основной базы генплана его электрификации сближает ДВК с перечисленными выше районами. Однако особенности гидрологии края заставляют подходить к осуществлению этого принципа чрезвычайно своеобразно и ставят перед проектировщиками ДВК специфические задачи, ни в чем не похожие на задачи других районов и заслуживающие тщательного и внимательного изучения. В то время как в других районах гидрокомплекс понимается и трактуется как одновременное использование воды для энергетических, транспортных и ирригационных целей, в условиях ДВК он осложняется новой задачей, имеющей не меньшее, а в некоторых случаях и решающее значение,— задачей борьбы с наводнениями.

ДВК обладает чрезвычайно богатой и разветвленной речной системой. Если не считать узкой полосы побережья Охотского моря и крайнего севера, то почти все реки края принадлежат к одному бассейну р. Амура. Наиболее мощными из его притоков являются с левой стороны Зея с притоками Селемджой и Буреей, с правой стороны — Уссури с притоком Иманом. Все левые притоки Амура берут свое начало в горных хребтах, покрывающих северную половину этой части ДВК и составляющих водораздел с системой р. Лены, и, протекая в своих верховьях среди узких горных долин и ущелий, сложенных часто из коренных первозданных и изверженных пород, в своем нижнем течении протекают по плодородным долинам, чрезвычайно удобным для земледелия. Таким же характером горных рек обладают правые притоки р. Уссури и многочисленные реки Уссурийского края, впадающие в Тихий океан. И те и другие берут начало в горных ущельях Сихотэ-Алина.

Реки края обладают той особенностью, что они не знают весенних паводков, зато имеют летние паводки, часто настолько высокие и обильные, что заливают всю низменность р. Амура и его основных притоков. Нередко эти паводки принимают характер стихийного бедствия. Отсутствие весенних разливов рек об'ясняется тем, что зимы в крае довольно малоснежны и таяние снегов благодаря суровому климату горной местности, откуда реки получают свое питание, идет замедленным темпом. Совершенно иную картину мы видим летом. Циклоны, зарождающиеся в южной части Восточнокитайского моря (тайфуны), несут огромные запасы влаги, захваченной в насыщенном парами воздухе южных тропических морей. Охлаждаясь по мере продвижения на север, особенно при соприкосновении с высотами горных хребтов Малого Хингана и Сихотэ-Алина, влага тайфунов конденсируется и выпадает в виде непрерывных и чрезвычайно обильных дождей. О силе дождевых потоков можно судить по тому, что в некоторых случаях зарегистрированная высота суточных осадков достигает 200 mm. Ливни захватывают огромные пространства и продолжаются по нескольку дней подряд, вызывая в низовьях рек и по долине Амура опустошительные наводнения. О размерах наводнений можно судить хотя бы по тому, что реки разливаются на 20—30 km в ширину и вода в них поднимается на 10 m и более. В одно из наводнений на р. Зее по ориентировочным подсчетам в течение 50 суток прошло не менее 50 млрд. m³ воды. Опустошения, производимые наводнениями, колоссальны: смываются с лица земли пашни, дороги, селения, гибнут люди и домашний скот. По далеко неполным вычислениям наводнением 1927 г. по р. Иману и Уссури причинено убытков на сумму свыше 10 млн. руб., наводнение 1928 г. по Зее и Амуру — 23 млн. руб., наводнение 1929 г. по Амуру — немногим меньшую сумму, — и это при чрезвычайно слабой заселенности края и весьма небольшом культурном освоении его земель. Особенно сильно подвержены наводнениям долина р. Амура и его крупнейших притоков Зеи и Уссури, которые в то же время по своим почвенным и климатическим условиям являются наиболее удобными для сельскохозяйственного освоения.

Мы подробно остановились на вопросе о наводнениях, так как борьба с ними является основным условием возможности широкого заселения этого края и полного использования его энергетических и сырьевых богатств. Вот почему авторы схемы в комплекс основных положений генплана наряду с энергетическими и транспортными проблемами кладут также и проблему борьбы с наводнениями, придавая ей не меньшее, а в некоторых случаях и решающее значение, тем более, что технически задача борьбы с наводнениями коренным образом разрешается тем же способом, а именно созданием крупных водохранилищ на тех участках, где реки, прорвавшись через горные ущелья, переходят в низменные затопляемые равнины.

Мы уже указали, что теоретическая мощность водных сил ДВК составляет цифру порядка 66 000 000 л. с. Если же взять только мощность рек, учтенных ниже поименно, то эти цифры по подсчетам работников края будут составлять 36 000 000 л. с. Учтенные мощности по бассейнам рек распространяются следующим образом:

Мелкие левые притоки Амура (Урка, Омутная, Урума, Ольдой, Невер)	316 000	л. с.
Бассейн р. Зеи (Зея, Селемджа, Томь и др.)	7 800 000	„
Притоки среднего Амура (Бурея, Тыра, Архара, Бира, Биджан)	3 317 000	„
Бассейн р. Уссури (Уссури, Иман, Хор и др.)	3 059 000	„
Бассейн притоков нижнего Амура	2 552 000	„
Амур от Покровки до устья без притоков	15 368 000	„
Побережье Охотского моря (Уда, Мая)	1 472 000	„
Побережье Японского моря	1 947 000	„
Ханкойский бассейн	42 000	„
ИТОГО	36 000 000	л. с.

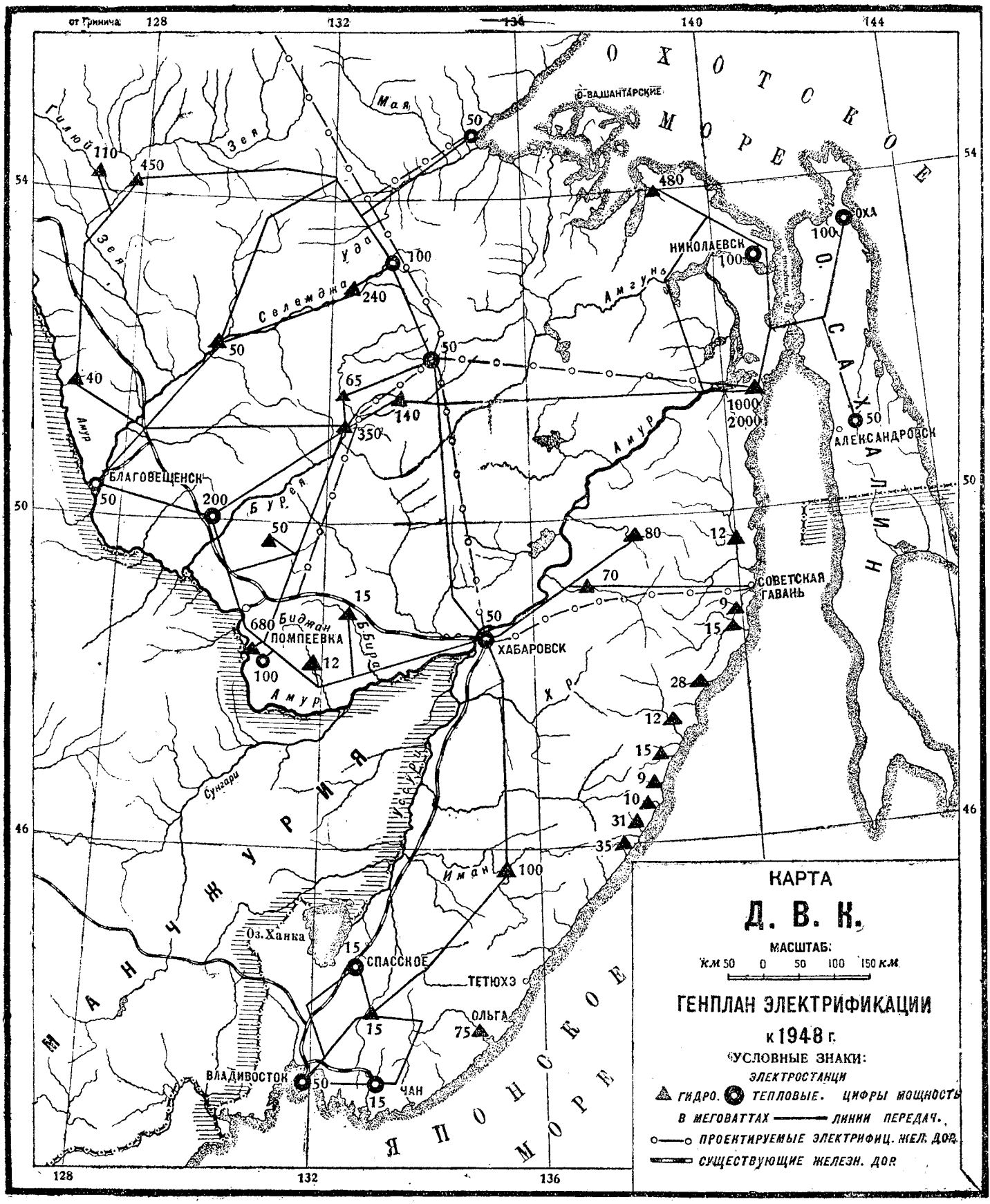
Определяя мощность станций по 6-месячному расходу воды можно наметить следующие технически осуществимые об'екты гидростроительства в порядке их влияния на разрешение вопросов энергетики и борьбы с наводнениями (табл. 1, стр. 492).

В этой таблице перечислены об'екты, намечаемые к строительству Дальневосточным крайпланом в разрезе генплана электрификации, т. е. в течение 15 лет (1933÷1948 гг.). Сооружение их позволило бы полностью разрешить проблему энергетики, транспорта и борьбы с наводнениями. Кроме того, уже теперь можно наметить еще ряд об'ектов будущего строительства, например, на Кухцине 50 000 л. с., на Хоре—50 000 л. с., на Божги—33 000 л. с., на р. Камчатке—210 000 л. с. и около 50 установок на небольших реках с мощностью менее 25 000 л. с в каждой установке. На реке Амуре, у деревни Помпеевки, при условии соглашения с Китаем возможно осуществить установку мощностью в 970 000 л. с. Таким образом уже по конкретно намеченным об'ектам строительства возможно получение мощности до 5 000 000 л. с. без Помпеевской установки и до 6 000 000 л. с., включая эту последнюю. Конечно, эта последняя цифра далеко не является исчерпывающей. Можно с уверенностью сказать, что по мере изучения края список этот будет непрерывно возрастать.

Чтобы иметь общее представление о характере гидросооружений края, мы остановимся несколько детальнее на некоторых из них.

У р. Инарогды в ущелье Тукурингра Зея имеет в ширину всего 195 ÷ 215 m. Здесь есть возможность при крутых склонах, сложенных из диорита, соорудить плотину высотой около 100 m и длиной по верху от 500 до 700 m. При этих условиях

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru



емкость водохранилища будет достигать 40.10^9 m³, а зеркало его 1 200 km² при длине около 200 km. Расчетный напор гидростанции — 80 m, среднегодовой сток — $38 \cdot 10^9$ m³ и максимальный годовой сток $77 \cdot 10^9$ m³.

При этих условиях здесь можно получить мощность гидростанции около 640 000 л. с. Ориентировочная стоимость сооружения составляет 300 ÷ 350 млн. руб., что дает стоимость 1 kWh на шинах станции порядка 1 коп., причем стоимость всего сооружения целиком относится на энергетику. Созданием водохранилища емкостью в $40 \cdot 10^9$ m³ при среднегодовом стоке Зеи в $38 \cdot 10^9$ m³ и максимальном $77 \cdot 10^9$ m³ полностью разрешается задача борьбы с наводнениями в Зейской долине, площадь которой, удобная для земледелия, составляет $14 \cdot 10^6$ ha. Зарегулированность Зеи, если не полностью освободит от опасности наводнений и самый Амур, все же значительно снизит на нем паводковую волну.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 1

Название и местонахождение строительства	Мощность л. с. $\cdot 10^8$	Борьба с наводнениями	Улучшение судоходства
Зея у Инарогды	640	Реш.	Реш.
Вариант у Гилюя	600	—	—
Селемджа у Дагмары	100	Реш.	Реш.
Селемджа у Ивановского зимовья	340	Нет	Нет
Бурея у Умальты	200	Нет	Реш.
Бурея у Чекунды	500	Реш.	Реш.
Амур у де-Кастри	2 000	Нет	Реш.
Иман	125	Реш.	Реш.
Хунгари	100	Не имеет значения	Нет
Ниман	92	Реш.	Реш.
Архара	75	Реш.	Реш.
Амазар	38	Реш.	Нет
Самарга	24	Реш.	Нет
Сучан	27	Реш.	Реш.
Пхусун	22	Реш.	Нет
Суйфун	21	Реш.	Реш.
Тадушу	26	Реш.	Нет
Тахобэ	45	Реш.	Нет
Даубихэ	20	Реш.	Нет
Улахэ	23	Реш.	Нет
ВСЕГО	4 128	—	—

Годовое регулирование стока разрешает также транспортную проблему Зеи. В своем современном состоянии река доступна только для мелкосидящих судов. Грузы, идущие с Амура, перегружаются в Благовещенске в мелкосидящие пароходы и на них идут по Зее. Далее они перегружаются на лодки. В своих верховьях Зея недоступна даже и для лодки и на многочисленные золотые прииски, расположенные в этой местности, грузы доставляются по горным тропам вьюками на лошадях. При этих условиях вопрос снабжения приисков всем необходимым приобретает особую остроту. Достаточно сказать, что доставка в прииски 1 t груза в довоенное время обходилась в 450 руб.

Сооружением Инарогдского водохранилища коренным образом разрешается транспортная проблема Зеи. Она получает по всему протяжению, вплоть до водохранилища, глубину в 1,5 m, открывая доступ большим амурским пароходам до Инарогдской плотины. Далее, посредством шлюзов или судоподъемников суда будут переводиться в верхний бьеф и следовать еще на 200 km. Отсюда до приисков остается уже небольшое расстояние.

На главном притоке р. Зеи — Селемдже — имеется возможность получить в двух установках мощность до 440 000 л. с. Особый интерес представляет установка на Селемдже между Огоджинским и Ивановским зимовьями. Протекая в скалистых гранито-гнейсовых берегах, почти отвесных, она имеет здесь ширину всего лишь 9 m при глубине также 9 m. Сооружением высоконапорной плотины возможно получить мощность около 340 000 л. с. при себестоимости энергии порядка 0,5 коп. за 1 kWh. Аналогичную же картину имеем и на втором главном притоке Амура — Бурее. Здесь в трех установках — на самой Бурее у Умальты и у Чекунды и на притоке Буреи Нимане — возможно получить около 800 000 л. с. и полностью зарегулировать годовой сток реки. Наиболее мощной и интересной установкой является установка у Чекундов. При ширине ущелья в 135 m и при высоте плотины в 100 m здесь возможно получить установку мощностью до 500 000 л. с.

Совершенно особое положение занимает проблема использования нижнего течения р. Амура. Это единственный проект, не связанный с проблемой борьбы с наводнениями. Сущность его заключается в том, чтобы исправить тот „географический парадокс", который устроен природой в устье р. Амура. Амур, почти достигнув моря в районе Мариинска и будучи отделен от моря лишь небольшой полосой суши, шириною около 8 km и высотою 55 m, круто поворачивает на север и, пройдя еще около 300 km, выливает свои воды в самом мелководном и холодном месте Татарского пролива. Благодаря этому период навигации в устье Амура сокращается на $1^1/_2 \div 2$ мес., мелководье Татарского пролива делает устье Амура недоступным для глубоко сидящих морских судов, а водный путь от Владивостока и портов Японии и Китая до Хабаровска и других городов, расположенных по Амуру, удлиняется на 530 km. Существует несколько вариантов исправления этого „географического парадокса". В основе всех их лежит устройство в низовьях Амура, несколько ниже по течению от самого узкого места водораздела, плотины высотою $10 \div 20$ m. Поднятые на такую высоту воды Амура через озеро Кизи и открытый шлюзованый канал получают выход в бухту Таба, где предполагается соорудить морской порт. На деривации канала возможно сооружение мощной гидростанции мощностью от 1 000 000 до 2 000 000 л. с.

Для полноты картины возможного использования гидроэнергии ДВК следует упомянуть еще о приливных течениях Охотского моря, которые в некоторых местах достигают высоты 12 m. Только на трех установках можно получить общую мощность свыше 800 000 л. с. (залив Николая 670 000 л. с., Пенжинская губа 100 000 л. с. и Шантарские острова 67 000 л. с.).

Грандиозные масштабы всех перечисленных гидросооружений, слабая изученность края в геологическом и гидрологическом отношениях, отсутствие необходимых исследований и изысканий для составления проектов, слабая заселенность края, где на пространстве 3 000 000 km² имеется всего 1 660 000 чел. населения, наконец, отсутствие потребителей энергии создают обстановку, при которой к сооружению даже первоочередных об'ектов можно будет приступить не ранее второй половины наступающей пятилетки, причем вступление их в эксплоатацию может осуществиться уже за ее пределами.

Эти обстоятельства выдвигают вопрос об энергетике переходного периода. Естественные богатства ДВК настойчиво требуют освоения.

Даем краткий перечень основных сырьевых и естественных ресурсов края.

Леса кедровые, лиственничные и ценных лиственных пород (бархат, дуб, ясень и орех) Амура и Приморья занимают площадь около 543 000 km² и дают годовой прирост деловой древесины до 40 000 000 m³, при суммарном приросте до 72 000 000 m³. Земли, вполне пригодные для земледелия в Зейско-Буреинском, Иманском и Уссурийском районах, занимают площадь в 18 700 000 ha. Почвенные и климатические условия позволяют возделывать технические (свеклу, лен, судзу, клещевину, коноплю, соевые бобы и др.) и злаковые культуры (рис, пшеницу, овес и др.). Обилие пастбищ, особенно по поймам низовьев Амура, дает возможность широкого развития скотоводства. Прилегающие к ДВК Японское и Охотское моря, а также впадающие в них реки богаты ценными породами рыб (кетой, кунжей, сельдью „иваси"), трепангами, крабами, с годовой фактической добычей до 550 000 t, а также морским зверем и морской капустой.

Немаловажную роль в хозяйстве ДВК играет охотничий промысел, который в будущем должен превратиться в культурное звероводство.

По минеральным богатствам край до известной степени обеспечен железной рудой, дающей ему возможность поставить собственную металлургию, правда, пока не особенно большую. Железорудные месторождения на Хингане имеют разведанные запасы по категориям $A + B + C$ до 42 500 000 t, чем обеспечена металлургия с ежегодной выплавкой до 500 000 t чугуна.

Кроме того, имеются железорудные месторождения на побережьи Татарского пролива, около залива Ольги и у Николаевска на Амуре. Около бухты Ольги и на Тетюхэ имеются богатые месторождения серебро-свинцово-цинковых руд с выявленными запасами в металле по категориям $A + B$ свыше 100 000 t свинца и 124 000 t цинка.

Имеются богатейшие молибденовые руды по р. Бурее, многочисленные месторождения меди, марганца, вольфрама, апатитов, мрамора, известняков и других полезных ископаемых. Приамурский край, а также Калымские россыпи в течение ближайшего времени будут одними из основных районов золотопромышленности.

Топливно-энергетические ресурсы, хотя по своим масштабам и уступают гидравлическим, тем не менее достаточно богаты, чтобы на них одних можно было развить широкое энергохозяйство.

Запасы угля, бурого и коксующегося, составляют свыше $2{,}5 \cdot 10^9$ t, из которых около $2 \cdot 10^9$ t приходится на Сахалин, около $0{,}4 \cdot 10^9$ t — на Кивдинское месторождение, около $50 \cdot 10^6$ t — на Сучанское и от $50 \cdot 10^6$ до $75 \cdot 10^6$ t — на Артемовское. Затем идут Тавричанка, Сучан и прочие более мелкие месторождения. Из общей суммы запасов каменных углей около 10% приходится на долю коксующихся, пригодных для металлургических целей. Таким образом черная

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

металлургия края будет обеспечена и своей рудой, и своим коксом.

Запасы сахалинской нефти по определению Американского института нефти составляют около $300 \cdot 10^6$ t.

Выше уже было отмечено, что годовой прирост древесины в лесах ДВК составляет $72 \cdot 10^6$ m³, из которых только $40 \cdot 10^6$ m³ приходится на долю деловой, а остальные 32 идут в отход. Эти отходы в известной своей части могут быть использованы в качестве топлива для электростанций. Таким образом один из основных экономических ресурсов края, который и теперь занимает и в будущем будет занимать в нем доминирующее место,— лесное хозяйство.— при правильном его ведении вполне обеспечен собственной топливно-энергетической базой.

Последним топливно-энергетическим ресурсом ДВК является торф. В крае известны многочисленные торфяные болота. Однако определить запасы торфа даже приблизительно не представляется возможным ввиду полной их необследованности. Рекогносцировочное обследование, произведенное в истекшем году в окрестностях Хабаровска, показало возможность обеспечить торфяным топливом теплоцентраль мощностью в 100 MW. Однако несомненно, что обследованные запасы составляют лишь небольшую долю всех имеющихся запасов торфа.

Характер и размеры природных богатств края определяют те отрасли хозяйства, которые будут развиваться на протяжении генплана и второй пятилетки. В настоящее время и в ближайшем будущем основными ведущими отраслями народного хозяйства являются земледелие, лесная, рыбная и топливная промышленность, а также золотопромышленность. Но и эти отрасли используют лишь ничтожную долю наличных богатств края и притом в крайне примитивных, экстенсивных формах. Материалы Далькрайплана дают следующую таблицу использования основных ресурсов края (в процентах к возможному максимальному использованию):

Уголь	0,14
Лес	0,082
Нефть	0,068
Рыба	18,4
Земельные фонды с.-х. значения	5,7
Речные пути (по длине)	62,7
Водные энергоресурсы	0
Черные металлы	0

Во второй пятилетке, наряду с дальнейшим количественным и качественным развитием тех отраслей народного хозяйства, начало которому положено уже в настоящее время, необходимо положить прочное основание ряду совершенно новых отраслей промышленности, в первую очередь, черной и цветной металлургии, судостроению, машиностроению, химии, в особенности лесохимии. Все эти мероприятия составят программу развернутой социалистической реконструкции советского Дальнего Востока.

Специфические условия ДВК, его пространственная протяженность и слабая заселенность ставят большие трудности при проектировках генплана и особенно второй пятилетки. Привлечение новой рабочей силы со стороны, как бы интенсивно оно ни происходило (а оно, несомненно, будет итти чрезвычайно интенсивно), все же не может полностью и в короткий срок заполнить ту брешь, которая образовалась в ДВК благодаря хищнической колонизационной политике царского правительства. Недостаток людей еще долго будет ощущаться в ДВК. Тем большей является необходимость максимального энерговооружения тех, кто своими руками будет осуществлять генплан и вторую пятилетку. Как мы уже видели, в рамках генплана при сооружении всех мощных и сверхмощных гидроэлектростанций недостатка в энергии, и притом дешевой энергии, не будет. Но мы видели, что даже при самых оптимальных условиях эти гидростанции смогут дать энергию в сеть не ранее середины третьей пятилетки, пятилетки 1937—1942 гг. Отсюда вытекает необходимость создать энергетику переходного времени.

Энергетика переходного времени должна в основном базироваться на сети тепловых станций, использующих местные топливные ресурсы, и небольших гидростанций, строительство которых может быть осуществлено в рамках второй пятилетки. Исходя из конкретных задач ближайшего времени, в основном уже вырисовываются пункты расположения этих станций, подлежащих осуществлению во втором пятилетии. Обслуживание Владивостокского порта, Сучанских угольных копей и Ольгинского металлургического завода потребуют расширения Артемьевской станции ориентировочно до 50 MW; станция будет работать на отходах каменных углей. Более тщательные экономические расчеты покажут, не будет ли более целесообразным разбить ее на два блока: один — работающий на отходах сучанских углей, а другой — на коксовальных и колошниковых газах Ольгинского металлургического завода. Следующим об'ектом строительства является Хабаровская теплоцентраль, обслуживающая столицу края — Хабаровск, который превратится уже ко второй половине второй пятилетки в крупный промышленный центр с большим судостроительным и машиностроительным заводом и рядом производств, их обслуживающих. Мощность Хабаровской тэц намечается также порядка 48÷50 MW. Работать она будет либо на торфу, либо на отходах нефтеперегонного завода.

В Кивдине и Ландако для обслуживания второго металлургического завода, перерабатывающего хинганские железные руды, намечается постройка теплоэлектроцентралей, работающих на отходах кивдинских коксующихся углей. Мощность Кивдинской станции намечается около 24 MW, станции в Ландако—6 MW.

В Спасске (Цементграде) на Уссурийской ж. д. необходимо соорудить тепловую станцию мощностью порядка 15 MW для нужд цементного завода.

На Сахалине предположено соорудить две станции: одну на Охинских нефтяных промыслах, другую в Александровске для каменноугольных копей. Мощность их на вторую пятилетку определится размерами добычи и местной переработки нефти и каменного угля и сопутствующих им предприятий.

Из станций, обслуживающих северные районы, преимущественно горнорудную и легкую промышленность, следует отметить станцию в Николаеве на Амуре и станцию в районе верховьев Селемджи. Кроме того, золотопромышленность и лесодобычи будут обслуживаться рядом мелких установок, расположенных непосредственно на приисках и в местах лесоразработок.

Из гидравлических станций, намеченных к сооружению уже в течение второй пятилетки, необходимо отметить станции на р. Бире 15 MW, Биджане 12 MW и Абакумовке 7,5 MW.

По этой схеме намечается развитие энергетики переходного периода.

Нам остается сказать несколько слов относительно транспортной проблемы ДВК. К сожалению, эта чрезвычайно важная, решающая для ДВК отрасль хозяйственного развития не нашла достаточного отражения в докладе. Основной замысел схемы транспорта сводится к тому, что помимо существующих в настоящее время железных дорог — Амурской и Уссурийской, край должен быть перерезан двумя основными магистралями. Одной — в широтном направлении к заливу де-Кастри и другой—от Хабаровска в северном направлении к Якутску. Обе эти линии должны прорезать горные массивы и дать выход горнорудным и лесным богатствам края. От этих основных линий намечается ряд ответвлений, из которых заслуживает быть отмеченной линия на Советскую Гавань — ближайший к Хабаровску морской порт. Все линии, проходящие в чрезвычайно трудных условиях горной местности и северной тайги; в районе вечной мерзлоты, ориентировочно проектируются на электрической тяге.

Советскому Дальнему Востоку—мощную энергетическую базу

Районная секция Оргкомитета, обсудив доклад в своем пленарном заседании и в специально образованной комиссии, приняла следующую резолюцию:

1. Заслушав доклад представителей крайплана ДВК (докладчики тт. Симбирский, Бродовецкий и Кравцов), районная секция Оргкомитета признает, что положенный в основу доложенной схемы генплана принцип комплексного использования рек края для борьбы с наводнениями, транспортных и энергетических целей является правильным руководящим началом для разработки генплана, одобряет доклад и считает возможным положить его в основу дальнейшей работы по составлению генплана электрификации ДВК.

2. Вместе с тем, отмечая, что доложенная схема, как это было заявлено самими докладчиками, является лишь первоначальной рабочей гипотезой, не облеченной пока еще в конкретные формы и не нашедшей цифрового выражения, районная секция полагает, что дальнейшая проработка генплана должна итти в направлении выявления конкретных об'ектов хозяйственного строительства (энергетики, промышленности, транспорта и сельского хозяйства), их географического рас-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

пределения, основных количественных и качественных показателей, хронологической последовательности строительства и дальнейшего его развития, особо выделяя по годам строительство и продукцию второй пятилетки (1933—1937 гг.).

3. Учитывая, что слабая изученность геологии и гидрологии края и ряда специфических трудностей, вытекающих из его климатических, географических и иных особенностей, в лучшем случае позволяют лишь к концу второй пятилетки приступить к осуществлению строительства основных гидроэнергетических установок доложенной схемы (Зейской, Селемджинской и Буреинской) с тем, что окончание этого строительства будет лежать за пределами второй пятилетки, районная секция Оргкомитета считает, что на переходный период должна быть развернута достаточная сеть тепловых и иных станций, которая могла бы подготовить экономику края для намечаемых мощных и сверхмощных гидравлических установок и в дальнейшем работала бы в качестве их теплового резерва.

4. Особое географическое положение края как окраинной области, располагающей единственным во всем Союзе чрезвычайно развитым морским побережьем, своеобразный его рельеф, наличие мощных речных артерий и слабая заселенность делают транспортную проблему основным звеном генплана края. Секция полагает, что транспортная проблема ДВК, в основном являющаяся всесоюзной проблемой, должна быть изучена и проработана с особой тщательностью и полнотой с точки зрения изыскания и плана строительства морских портов Тихоокеанского побережья, магистральных железнодорожных линий, обеспечивающих надежную безопасную связь побережья с внутренними частями края и территорией Союза внутренних и под'ездных путей, связывающих между собою и с магистралями важнейшие хозяйственные области и пункты края.

5. Вполне соглашаясь с установкой доклада на максимальное и квалифицированное использование богатейших лесных ресурсов края, секция полагает, что намечаемый об'ем и формы этого использования возможны и осуществимы лишь при максимальной механизации и электрификации лесоразработок и лесообработки, для чего необходима собственная энергетическая база в виде ряда станций, работающих в первом периоде в значительной степени на фаутном лесе и на отбросах лесозаготовок.

6. Районная секция Оргкомитета полагает, что рациональное ведение рыбного хозяйства и морских промыслов ДВК, долженствующих наряду с лесом занимать чрезвычайно видное место в хозяйстве края, требуют наличия соответствующей энергетической базы и считает необходимым, чтобы эта отрасль нашла себе полное освещение в генплане края.

При проектировании гидростанций и других хозяйственных сооружений необходимо учитывать нужды рыбного хозяйства путем принятия эффективных мер для обеспечения массового прохождения рыбы, вплоть до отказа от сооружений, которые по техническим условиям не могут обеспечить такого прохождения в том случае, если их народнохозяйственный эффект не окупает ущерба, наносимого рыбному хозяйству.

Имея в виду, что основной задачей сельского хозяйства края является борьба с наводнениями, связанная с устройством обширных водохранилищ и сооружением мощных гидростанций, вырабатывающих большое количество дешевой энергии, секция предлагает крайплану учесть это обстоятельство при проектировках развития сельского хозяйства.

8. Ввиду того что освоение края тесно связано с притоком свежего рабочего населения, секция полагает, что неразрывной частью генплана должен быть план колонизации, в котором должен найти себе отражение весь комплекс мероприятий по хозяйственному, культурному и бытовому обслуживанию переселенцев с учетом решений XVII Партконференции.

9. Главнейшим тормозом в деле освоения естественных богатств края является слабая изученность его. Поэтому секция считает необходимым, чтобы делу изучения было уделено максимальное внимание как в самом крае, так и в центре. Секция полагает, что наряду с полным обеспечением исследовательских работ денежными и материальными средствами, краю должна быть оказана также поддержка в виде посылки исследовательских и изыскательных партий из центра. Секция считает необходимым, чтобы Оргкомитет обратился к Академии наук, Институту энергетики и электрификации, Союзводхозу, Союзгеоразведке, Союзцветмету и другим научным учреждениям и заинтересованным ведомствам с приглашением уже в текущем году широко поставить дело изучения края путем посылки специальных экспедиций и исследовательских партий. Секция считает необходимым, чтобы для комплексной увязки всех научно-исследовательских и проектировочных работ в центре была бы создана специальная организация по типу Ангарстроя или Волгостроя.

10. Секция отмечает, что в доложенной схеме совершенно не проработана вся северная полоса края к северу от устья Амура (Приморское побережье, Анадырский край и Камчатка), и считает необходимым, чтобы в дальнейшей работе этот пробел был заполнен.

Проблема передачи постоянным током в генплане электрификации [1]

Конференция по генплану электрификации отмечает громадное историческое значение поставленной I Всесоюзной конференцией по высокому напряжению проблемы передачи больших мощностей на дальние расстояния в системе единого электро-энергетического хозяйства, об'единенного единой высоковольтной сетью СССР.

Потребность передачи огромных мощностей на большие расстояния перерастает технические возможности системы 3-фазного тока и уже теперь приводит к чрезвычайно техническим затруднениям при расстояниях свыше 1 000 km., если не считать транзитных линий, в отношении: устойчивости параллельной работы синхронизации, регулирования напряжения, а также коммутации.

Эти трудности при современном состоянии техники могут быть устранены передачей энергии постоянным током высокого напряжения. Кроме этого передача постоянного тока дает возможность наиболее эффективно использовать воздушные и в особенности кабельные линии передач. Стоимость подземно-кабельной сети постоянного тока приближается к стоимости воздушной линии, что открывает широкие перспективы строительства кабельной сети, устраняющей все перенапряжения и аварии и в свою очередь в значительной степени упрощает коммутацию и защиту.

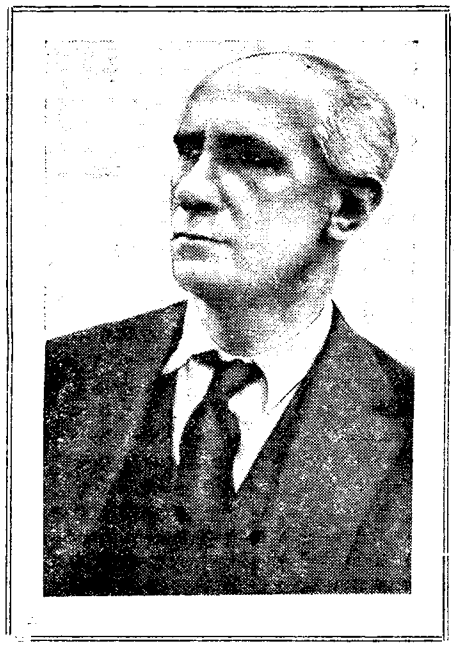
Проблема передачи постоянным током может и должна быть решена как единая комплексная задача по разработке всех элементов, входящих в схему при тесной кооперации научно-исследовательских институтов и заводов по следующим основным вопросам, а именно: а) по разработке машин высокого напряжения большой мощности, в особенности с использованием ионных устройств для коммутационных целей и получения постоянного тока; б) ионных преобразователей типа ртутных с жидким ртутным катодом, в особенности с сетками; в) ионных преобразователей типа тиратронов с оксидным катодом; г) ионных преобразователей с магнитным контролем; д) ионных преобразователей с механическими коммутационными устройствами; е) преобразователей типа трансформаторов и ионными коммутационными устройствами; ж) проблем коммутации и коммутационной аппаратуры постоянного тока высокого напряжения; з) материалов изоляционной и вакуумной техники; и) по высоко- и сверхвысоковольтным кабелям постоянного тока.

В связи с этим работы по ртутным выпрямителям и преобразователям, по высоковольтным машинам, кабелям, материалам, изоляционной и вакуумной технике, а также по коммутационной аппаратуре—сосредоточить в Москве, в ВЭИ, кооперируя работу с заводом ртутных выпрямителей в Москве, с заводом Изолит и т. д. Работы же по газотронам и тиратронам с оксидным катодом, ионных преобразователей с магнитным контролем сосредоточить в Ленинграде, в ЛЭФИ, кооперируя работу с заводом „Светлана“ и Электрозаводом.

1 Из резолюции Всесоюзной конференции по генплану электрификации по докладам т.т. А. А. Чернышева, Л. Н. Ларионова, и М. И. Свиридова.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Привет новому отряду энергетиков в Академии наук СССР!



И. Г. Александров

А. В. Винтер

Б. Е. Веденеев

Г. О. Графтио

А. А. Чернышев

К. И. Шенфер

Ударников электрификации—в штаб научной мысли Союза

Имена недавно избранных академиков И. Г. АЛЕКСАНДРОВА, А. В. ВИНТЕРА, Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА, Г. О. ГРАФТИО, А. А. ЧЕРНЫШЕВА и К. И. ШЕНФЕРА широко известны в кругах советских электротехников и далеко за пределами этих кругов—всей нашей стране, всем участникам великой социалистической стройки. Новый отряд энергетиков Академии наук СССР включает в себя лучших представителей практической и теоретической инженерно-технической мысли в области электрификации Союза. Вхождение этого отряда в обновленную Академию наук подчеркивает со всею силой глубокое историческое значение нового этапа в ее работе, поставленной на службу построения социализма, на службу второй пятилетке.

Пламенный привет новым академикам от редакции журнала „Электричество"!

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ДНЕПРОСТРОЙ — ВЕЛИЧАЙШАЯ ПОБЕДА СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Днепровская государственная электрическая станция

П. П. Лаупман и В. А. Толвинский
Днепрострой

Статья тт. Лаупмана и Толвинского дает общие сведения о Днепровской государственной гидроэлектрической станции и ее высоковольтной сети, вступающих в эксплоатацию в текущем году. Ряд статей по отдельным об'ектам днепровской системы будет напечатан в дальнейших номерах журнала „Электричество" за этот год.

РЕДАКЦИЯ.

Мы находимся накануне развертывания работ по осуществлению нового грандиозного плана электрификации Союза, и вполне понятен тот интерес, который возбуждает наиболее мощная из генерирующих установок, завершаемая по первому плану электрификации, плану Гоэлро, а именно Днепровская государственная электрическая станция (в дальнейшем сокращенно Дгэс). Но и независимо от места, занимаемого в плане Гоэлро, эта установка представляет крупнейший интерес и не только для нас. Мы далеки от утверждения, что электрическая система Дгэс является сложнейшей и крупнейшей в мире. Несомненно, в настоящее время не только в САСШ, но и в Западной Европе имеются более сложные системы, но, несомненно, также и то, что еще никогда в истории не сооружалась сразу подобная система. Достаточно привести несколько цифр.

Так, мы имеем гидроэлектрическую станцию с установленной мощностью в 558 MW, 11 понижающих подстанций с установленной мощностью трансформаторов первой очереди свыше 1 000 MVA, около 1 000 km цепей линии передачи, работающих при напряжении 154 kV. При помощи линий передачи Дгэс связывается с тремя тепловыми станциями, причем на пути связи с двумя из них сооружаются компенсационные подстанции,—одна на 60, другая на 100 MVA. Эти цифры говорят сами за себя.

Место расположения узла днепровских сооружений

Узел днепровских сооружений (рис. 1) расположен вблизи города Запорожья (ст. Александровск Южных ж. д) у (ныне уже затопленного) селения Кичкас. Днепр в этом месте круто, почти под прямым углом, менял направление, проходя так называемое Волчье Горло, через которое был переброшен Кичкасский мост Екатерининской ж. д. Примерно в 2 km ниже Волчьего Горла русло реки разветвляется знаменитым островом Хортица (Запорожская Сечь) на два рукава—Старый и Новый Днепр, которые у южной оконечности острова снова сливаются в общее русло. Между Волчьим Горлом и островом Хортица по течению Днепра был разбросан ряд островков и отдельных скал различной величины, причем по линии островов, носивших название Большого и Малого, скалистое дно реки подымается до наиболее высоких отметок, образуя как бы порог. В этом месте и воздвигнута днепровская пло-

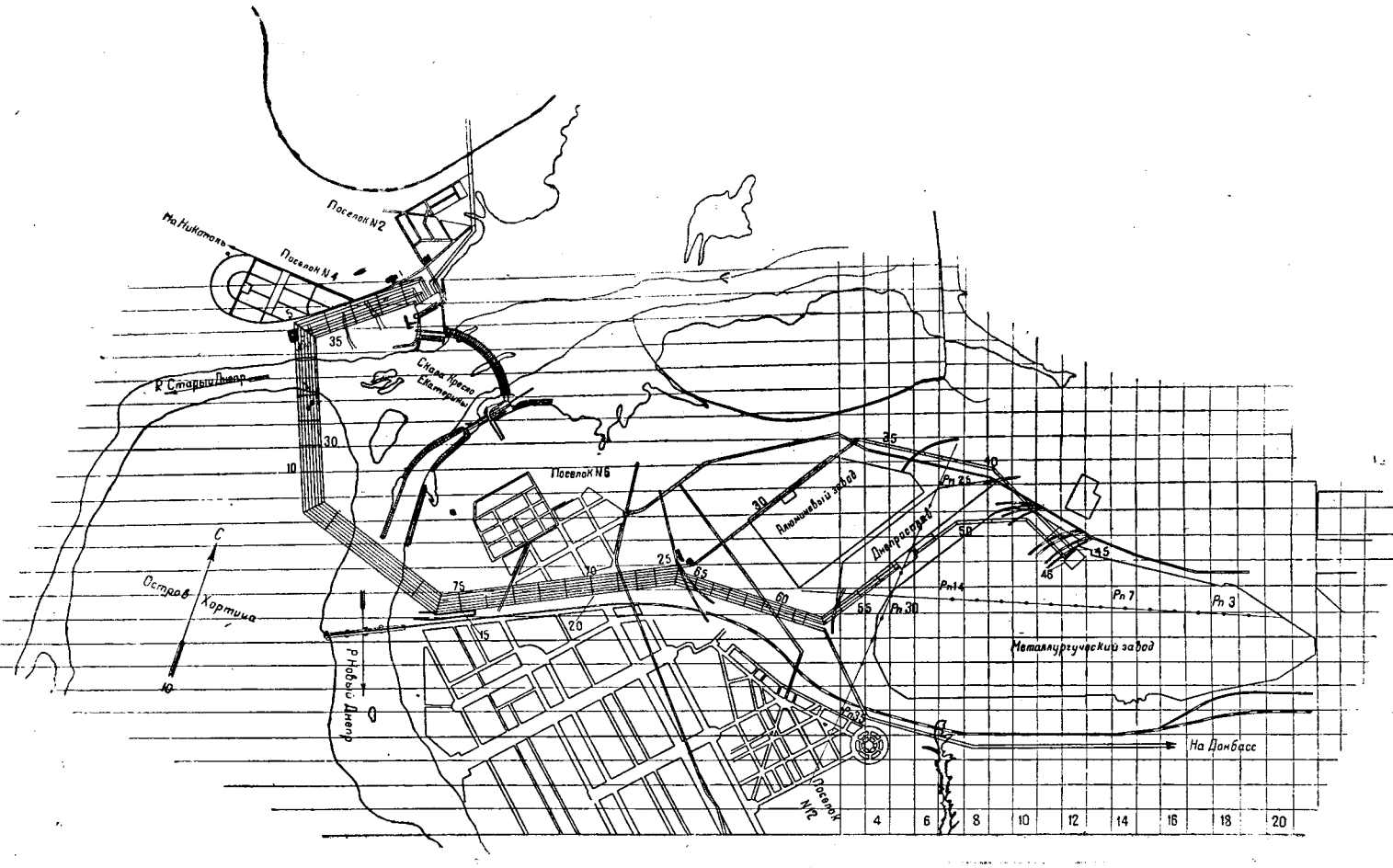


Рис 1. Узел сооружения Дгэс

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

гина. Скалистость берегов обеспечила надежность примыкания плотины к берегу, а наличие Большого и Малого островов, разбивавших русло на три протока, облегчили производство строительных работ.

Технический проект гидротехнических сооружений

Выявленное изысканиями проф. И. Г. Александрова наличие как в основании, так и в берегах Днепра у северной оконечности острова Хортицы гранитного массива прекрасного качества позволило сосредоточить весь перепад порожистой части Днепра, около 37 m, в одном месте. Вследствие этого из всех предложенных вариантов днепровских сооружений, в числе которых были варианты двух и трех плотин и станций, окончательно был выбран и утвержден одноплотинный вариант проф. И. Г. Александрова. Этот вариант представляет собой наивыгоднейшее решение использования перепада порожистой части Днепра с экономической, энергетической и судоходной точек зрения. Утверждению проекта предшествовала детальная экспертиза не только русскими инженерами и профессорами-специалистами, но и заграничными специалистами. Экспертиза, одобрив проект в основном, внесла в него ряд изменений, которые были учтены как в окончательном 9-м варианте технического проекта проф. И. Г. Александрова, так и при разработке детального рабочего проекта гидротехнических сооружений.

Технический проект электротехнической части Днепровской станции

При разработке технического проекта гидротехнических сооружений мощных гидроэлектрических установок электрическая часть будущей установки учитывается лишь постольку, поскольку она может оказать влияние на компановку гидротехнических сооружений. Вследствие этого и в проекте И. Г. Александрова электрическая часть была разработана лишь эскизно. Технический же проект электрической части был разработан уже строительством Днепровской станции. Через утверждение ЦЭС проект прошел в январе 1930 г.

Строительство Днепровской станции

Строительство было утверждено 15 марта 1927 г. Главным инженером был назначен А. В. Винтер, его помощниками Б. Е. Веденеев и П. П. Ротерт. Позднее строительство гидроэлектрической станции было об'единено со строительством Днепрокомбината—новых заводов на левом берегу Днепра против Кичкаса—будущих основных потребителей днепровской энергии. Начальником Об'единенного днепровского строительства был назначен А. В. Винтер, его заместителем В. М. Михайлов, главным инженером по Днепрострою Б. Е. Веденеев, а по Днепрозаводстрою П. П. Ротерт.

Иностранная консультация

Об'ем работ Днепростроя выходил далеко за пределы не только наших советских капитальных работ, но в Европе найдется немного об'ектов, равноценных по об'ему с днепровскими сооружениями. Вследствие этого правительство решило создать в помощь строительству постоянную иностранную консультацию по гидротехническим сооружениям и пригласило для этой цели частную американскую строительную организацию Hugh L. Cooper & Co. Строительство пользовалось также по ряду вопросов консультацией немецкой строительной организации Siemensbau Union.

Плотина

За нормальную отметку верхнего бьефа принята отметка 51,20 m, соответствующая среднему горизонту высоких вод в районе Днепропетровска. Условия подтопления Днепропетровска паводками потребовали при увеличении расхода реки снижения горизонта воды по определенному закону таким образом, чтобы при максимальном расходе 20 400 m³/sec горизонт верхнего бьефа снижался от отметки 51,20 m до отметки 48,76 m. Горизонт нижнего бьефа повышается с увеличением расхода от отметки 13,40 m при низкой межени до 21,76 m при максимальном расчетном расходе. Таким образом получаемый перепад колеблется в пределах 38÷27 m, причем расчетная нормальная величина перепада определилась в 37 m. Требование пропуска столь значительных паводков и притом при пониженном против нормального горизонта обусловило выбор плотины с возможно более широким разв тием водосливной части, закрываемой подвижными затворам Соответственно с этим водосливная часть плотины общим пр тяжением 760,5 m занимает всю ширину русла реки, приче промежуточными бычками толщиною по 3,25 m она разб вается на 47 пролетов. Ширина пролета в свету 13 m. Пр общей ширине водослива, равной 611 m, и коэфициенте ра хода, принятом равным 0,455, толщина переливающегося сл при максимальном расходе в 20 400 m³/sec получается равн 6,5 m. Этим определилась отметка 42,25 m порога водосли ной части плотины.

Плотина бетонная, гравитационного типа (рис. 2). Распол жение ее в плане по кривой с радиусом 600 m вызвано бол удобным примыканием к берегам; оно не могло быть испол зовано для ее облегчения путем расчета как сводчатой, вле ствие слишком большого радиуса кривизны и малого отнош ния высоты плотины к ее длине. Отметка заложения основан плотины колеблется от 0,0 до +26,0 m в береговых пролета таким образом высота водосливной части плотины достига 42,25 m, чему соответствует ширина основания 39,7 m. Вы сота бычков плотины доходит до 60 m Общий об'ем бетонн кладки плотины составляет около 720 000 m³. При таких ра мерах плотина является одной из крупнейших в мире.

Очертание сливной поверхности определено путем лабор торных испытаний из условий отсутствия под переливающей струей вакуума. Полученные в лаборатории ЦАГИ на опыта с пространственной моделью эмпирические координаты точе сливной поверхности уложились на двух параболических кр вых, плавно сопрягающихся в расстоянии 8,3 m от греб плотины. На отметке 25,28 m кривая слива переходит в кас тельную прямую, к которой в нижней части примыкает обра ная круговая кривая, служащая для образования сопряжени плотины с руслом реки. Оголовок плотины от верховой гран сделанной (по соображениям производства строительных р бот) вертикальной, до ее гребня заложением 2,5 m очерче по коробовой кривой радиусами 1,5 и 4,5 m.

Соответственно применявшемуся при сооружении плоти методу гребенки, плотина разбивается температурными шва по граням бычков и по осям пролетов на секции длиной 6, и 3,25 m. Секции бычков (3,25 m) для большей их устойч вости снабжены с обеих сторон контрфорсами по 0,75 п образующими штрабу для сопряжения с водосливными се циями. В теле плотины предусмотрена дренажная систем состоящая из вертикальных труб, расположенных в расстоя нии 6,0 m от верховой грани плотины, и двух смотровы галлерей, заложенных на отметках 31,0 и 15,0 m. Для отвод в нижний бьеф воды, просачивающейся в нижнюю галлере в каждом пролете плотины уложены соответствующие трубы

Ниже отметки 15,0 m, а также в основании плотины, дре нажа не предусмотрено. Во избежание просачивания вод под основание производилась цементация его, осуществленна в два приема. Сперва был процементирован верхний сло через два ряда перфораторных скважин глубиною около 6 m Затем по возведении части бетонной кладки была произведен глубокая цементация через ряд 150-mm скважин, заложенны в скальное основание на глубину до 30 m.

Для закрытия водосливных отверстий запроектирован щиты Стонея, пока еще не установленные. Щиты размеро 13,86 × 9,70 m, весом по 42 t, выполнены в виде сварно конструкции, что дало значительную экономию в весе металл и является первым применением электросварки в столь круп ных гидротехнических конструкциях. Щиты будут двигать в пазах бычков, для чего бычки выведены до отметки 60,5 m На случай повреждения щитов Стонея предположено устана ливать шандорные щиты, используя пазы щитов, которы применялись при постройке плотины.

Как щиты Стонея, так и шандорные будут обслуживать двумя кранами грузопод'емностью по 200 t, двигающимис по парному мосту, который укладывается по бычкам пло тины.

Для усиления профиля бычков, выдерживающих дополни тельную горизонтальную реакцию щитовых закрытий плотины а также воспринимающих давление льда, бычки выдвинуты стороны верхнего бьефа на 4,5 m против напорной гран плотины. В верхней части выступы бычков увеличены д 7,0 m для образования обтекаемой формы носа быка и дл требовавшегося в этой части уширения под временный стро тельный мост.

Передняя часть бычков возвышается, как было уже упомя нуто, до отметки 60,5 m и служит опорой кранового моста По уступам с низовой стороны бычков на отметке 52,0 m проходит мост под двухпутную шоссейную дорогу с прокладкой одного трамвайного пути, допускающего пропуск по мосту отдельных железнодорожных вагонов.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

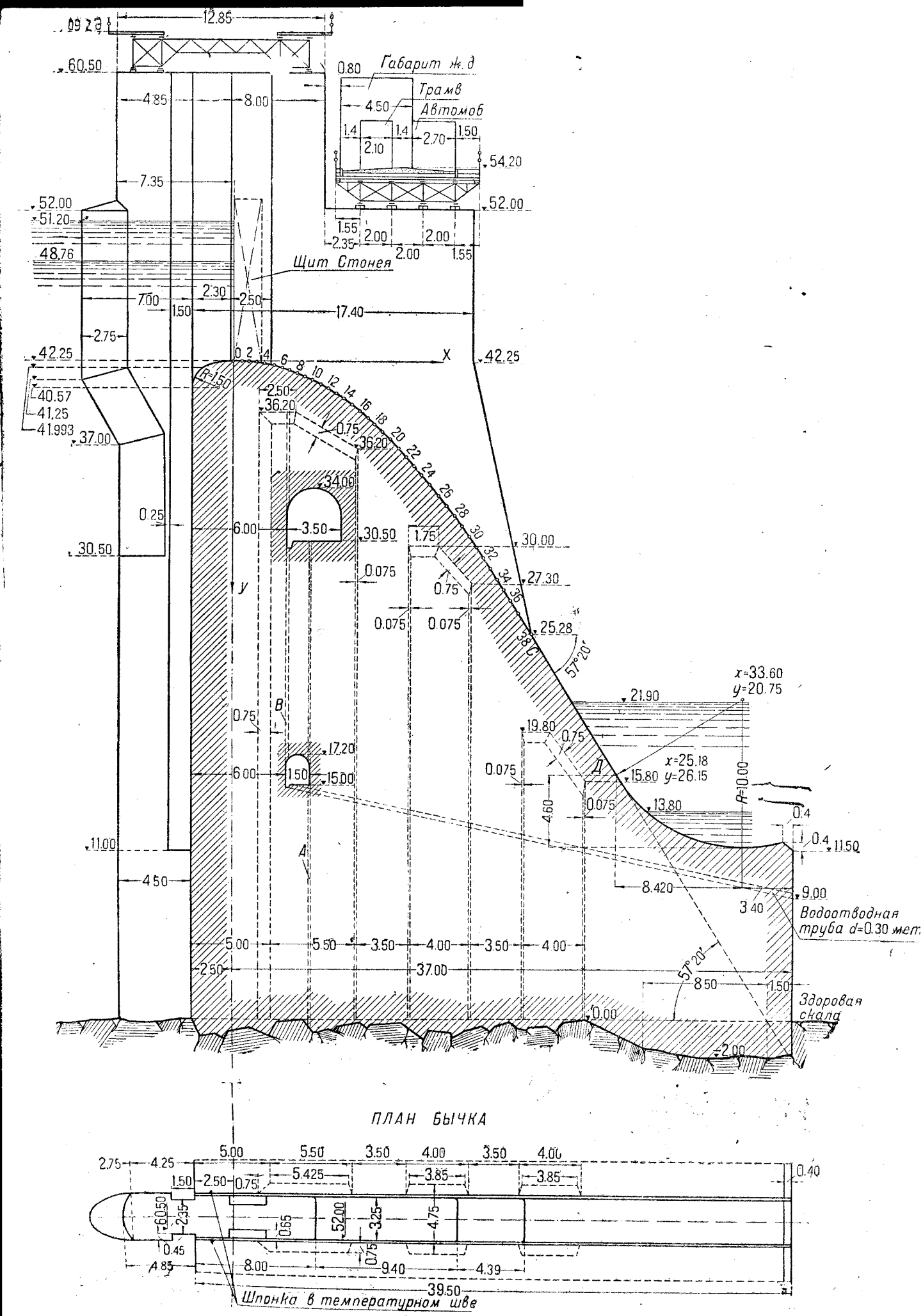


Рис. 2. Плотина Дгэс

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

С низовой стороны бычки ограничены вертикальной гранью, спускающейся до отметки гребня плотины; дальше идет наклонная грань, сопрягающая бычки с телом плотины на уровне перехода от криволинейной сливной части поверхности к касательной плоскости.

В примыкании к левому берегу между последним пролетом плотины и шлюзом расположен, под защитой глухой части плотины, монтажный парк, служащий для сборки и возможного ремонта щитов Стонея. Крановый мост продолжен над парком на 50 m и перекрывает его двумя пролетами по 17,5 m в свету. В эти пролеты подаются собранные щиты. Здесь они кантуются и подымаются кранами для установки на место. Один из пролетов, кроме того, служит складом для запасного щита и двух шандорных щитов.

Шлюз

Подпор, создаваемый днепровской плотиной, делает судоходной порожистую часть Днепра, что открывает широкие перспективы для речного транспорта по Днепру. Судоходное сообщение обоих бьефов обеспечивается трехкамерным шлюзом, сооружаемым у левого берега. Шлюз предназначен для грузооборота в 1 800 000 t в год.

Размеры камер: длина 120 m, ширина 18 m, минимальная глубина на королях 3,6 m. Отметка верхнего короля 44,9 m определилась из учета самого низкого горизонта 48,5 m верхнего бьефа, соответствующего максимальному судоходному расходу реки в 14 000 m^3/sec.

Отметка нижнего короля 10,2 m определилась наинизшим, допускающим движение полногрузных судов горизонтом 13,8 m нижнего бьефа.

Отметки королей и площадок стен шлюза определены таким образом, чтобы при любых возможных соотношениях горизонтов верхнего и нижнего бьефов шлюзование можно было производить без всяких дополнительных впусков и выпусков воды. Этим обеспечивается наибольшая простота эксплоатации шлюза.

Исключение представляет собой лишь речная стенка нижней камеры, снабженная водосливом на отметке 27,5 m. Слив через нее излишней воды во время половодья позволил снизить стенки нижней камеры на 1,8 m. При назначении отметок промежуточных королей было соблюдено условие, чтобы при любом реальном соотношении горизонтов верхнего и нижнего бьефов глубина на средних королях была больше меньшей из глубин на верхнем и нижнем королях. Отметка водослива нижней камеры подобрана таким образом, чтобы ворота трех нижних голов получились одинаковой высоты. Ворота верхней головы имеют высоту 7,5 m и выполнены ригельного типа. Ворота прочих голов имеют высоту 18,1 m. При этой высоте сводчатый тип ворот дал заметную экономию в весе по сравнению с ригельным, что и побудило на нем остановиться. Вес каждой створки ворот около 110 t.

Для защиты ворот от навала судов, что особенно опасно для вторых ворот, при поломке которых получается прорыв верхнего бьефа, перед верхними двумя воротами устраиваются заградительные цепи, затормаживающие наваливающееся судно.

На случай ремонта шлюза предусмотрены в верхней и нижней головах его шандорные закрытия, обслуживаемые устанавливаемыми на обеих головах жесткими дерриками.

Шандоры выполнены в виде клепаных полых цилиндров, при этом шандоры низового заграждения, устанавливаемые при всех условиях только в спокойную воду, имеют прямоугольную обделку концов и скользят в пазах на деревянных полозьях. Шандорное заграждение верхней головы должно закрываться в случае аварии ворот также и на быстротоке, и вследствие чего для уменьшения сопротивлений шандоры выполнены в виде цилиндров, скатывающихся по установленным в пазах зубчатым рейкам.

Тяга судов принята односторонняя кабестанная; устанавливаются всего 10 кабестанов. Принятый тип механической тяги является наиболее простым и дешевым решением, вполне обеспечивающим требуемый грузооборот. При проектировании шлюза, однако, предусмотрена возможность перехода на электрическую тягу без коренных перестроек.

Для крепления судов во время шлюзования в каждой из трех камер шлюза предусмотрено по 4 подвижных рыма, меняющих свое положение вместе с горизонтом воды в камере.

Система наполнения шлюза—донная, посредством двух галлерей, расположенных симметрично относительно оси шлюза и имеющих поперечные прорезы для выпуска воды в камеру. Затворы расположены в боковых стенах голов шлюза на уровне галлереи нижней из примыкающих камер. Затворы для предупреждения засасывания воздуха взяты герметические, клинкетного типа (Беттерфляй).

Подход к верхней голове защищен со стороны верхнего бьефа прямым пирсом длиной 240 m, примыкающим к голове шлюза. Пирс осуществлен в виде стенки на каменной аркаде. В сторону берега верхняя аванкамера значительно расширена и ограждена откосами, защищенными каменными отсыпями.

Низовой подход шлюза огражден со стороны реки каменной дамбой, расположенной по кривой и сопрягающейся с скалой Дурной.

Кроме того, к речной стенке нижней головы шлюза примыкает прямой бетонный пирс эстакадного типа, длиною 226 m, служащий для причала ожидающих шлюзования судов.

Судоходный канал перерезает скалу Дурную, состоящую из прекрасного гранита и служившую каменным карьером для всех работ левого берега.

Со стороны берега низовой подход, так же как и верховой, огражден откосами и, кроме того, дамбой. Здесь предусматривается причал караванов, ожидающих пропуска в верхний бьеф, а также пристань для пассажирских пароходов.

Идущая по плотине дорога пересекает шлюз мостом, расположенным ниже второй головы шлюза.

Все управление шлюзом централизовано в здании, расположенном у 2-й головы шлюза. При этом все важнейшие операции связаны системой блокировки как между собой, так и с сигнализацией. На случай порчи центральной системы все механизмы имеют второе управление, расположенное у самых механизмов и питаемое отдельной системой кабелей.

Время, затрачиваемое судном на проход всех трех камер шлюза, составляет 1 ч. 40 м., при этом интервал между следующими при серийном шлюзовании друг за другом караванами равен 47 мин.

Указанная выше пропускная способность шлюза исчислена при учете значительного процента маломерных судов и при соответствующей нынешнему незарегулированному состоянию нижнего бьефа Днепра, допускающего хождение судов лишь с осадкой до 1,42 m.

При будущем развитии судоходства путем доведения судоходных глубин на всем протяжении нижнего Днепра до 3,6 m и перехода на преимущественное пользование большемерными судами размером 107 × 16 × 1,84 m и полезной грузоподъемностью 3 000 t, пропускная способность шлюза может быть повышена до 4 000 000 t в навигацию.

Гавань

Завершением судоходных устройств в верхнем бьефе является гавань верхнего бьефа, непосредственно примыкающая к аванкамере шлюза и занимающая залив, расположенный у левого берега между шлюзом и бывшим Кичкасским мостом. Гавань отделена от разлива реки молом, шириною 110 m и длиной около 400 m, расположенным со стороны Кичкасского моста и идущим навстречу верховому пирсу шлюза. Гавань строится для обслуживания нужд как сооружаемого в непосредственной от нее близости Днепрокомбината, так и города Запорожья. Расчетный грузооборот предположен порядка 1 300 000 t.

Гавань будет иметь четыре оборудованных кранами и пакгаузами причала с вертикальными набережными, бетонной и железобетонной конструкции, общим протяжением 1 067 m.

Кроме того, вдоль наружной речной стороны мола, защищенной выступающей на 140 m левобережной дамбой прежнего Кичкасского моста, а также вдоль самой дамбы устраиваются защищенные каменной отсыпкой причалы, общим протяжением 760 m; они будут служить как для причала ожидающих пропуска в нижний бьеф караванов, так и для операций с грузами, не требующими вертикальных набережных. Между входом в аванкамеру шлюза и вертикальными набережными гавани расположена обделанная каменным откосом причальная линия протяжением 520 m; ее предположено использовать для устройства пассажирской пристани с первоклассным речным вокзалом, связанным как с железной дорогой, так и с трамвайной и дорожной сетью города Запорожья. Здесь же разместится и спортивная гавань города.

Правобережную дамбу Кичкасского моста предположено использовать в качестве волнолома, защищающего как гавань, так и расположенную перед ней обширную акваторию от северо-западных ветров.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Аванкамера и сопрягающий устой

На правом берегу примыкает к плотине сгруппированный вокруг аванкамеры комплекс сооружений силового хозяйства днепровской установки. Аванкамера, служащая для главного подхода воды к станции, имеет форму трапецоидального в плане залива верхнего подпертого бьефа реки с широким обращенным в сторону разлива основанием, шириною около 250 m. Стороны аванкамеры, заключающие между собой угол в 35°, образованы стенкой щитового отделения гидростанции и укрепленным каменной наброской откосом береговой территории, спланированной для расположения на ней главной подстанции открытого типа. Со стороны малого основания трапеции аванкамера замыкается глухой плотиной, расположенной под углом 100° к направлению стенки щитового отделения и служащей для сопряжения напорной линии станции с правым берегом. По большому основанию аванкамеры перекинут через нее мост с тремя главными пролетами по 74 m и тремя сопрягающими пролетами. Мост служит для сопряжения проложенной по плотине дороги с правым берегом. По линии моста будет расположена опирающаяся на его быки пловучая запонь, служащая для защиты аванкамеры от плавающих тел.

Стык плотины с гидростанцией и мостом образован сопрягающим устоем, в пределах которого расположен грязеспуск, служащий для спуска в нижний бьеф накопляющихся у запони плавающих тел. Здесь же размещены компрессорная установка для обдувания щитов Стонея воздухом с целью защиты их от обмерзания и второй питательный пункт местных нужд станции.

Станция

Станция (рис. 3) состоит из щитового отделения, которое представляет собой ограничивающую аванкамеру плотину с устроенными в ней входными устройствами напорных трубопроводов турбин, и собственно силовой станции, соединенных между собой напорными трубопроводами. По условиям местности и для более плавного подхода воды к входным сечениям трубопроводов напорная грань щитового отделения повернута на угол 7,5° по отношению к касательной к криволинейной оси плотины и смещена по отношению к напорной грани плотины на 20 m в сторону нижнего бьефа.

Входные сечения трубопроводов поделены промежуточными бычками на два прямоугольные отверстия, закрываемые каждое щитом Стонея размером 7,53 × 9,74 m. Щиты весом по 30,3 t (без катковых реек и арматуры), так же как и щиты плотины, выполнены сварными. Для уравновешивания давления воды на главные затворы, с целью облегчения их открытия, предусмотрены в блоке каждой турбины две малые водопроводные галлереи со вспомогательными затворами, служащие для наполнения напорного трубопровода водой при закрытых главных затворах.

Перед щитами расположены пазы для шандорного закрытия на случай ремонта, а со стороны стенки щитового отделения установлены ограждающие решетки (рис. 4). Затворы напорных труб обслуживаются отдельными лебедками, установленными в заглубленных и перекрытых с'емными перекрытиями камерах верхней части стенки щитового отделения. Для обслуживания шандорных затворов и решеток, а также для монтажа главных затворов с лебедками по стенке ходит кран под'емной силой 60 t.

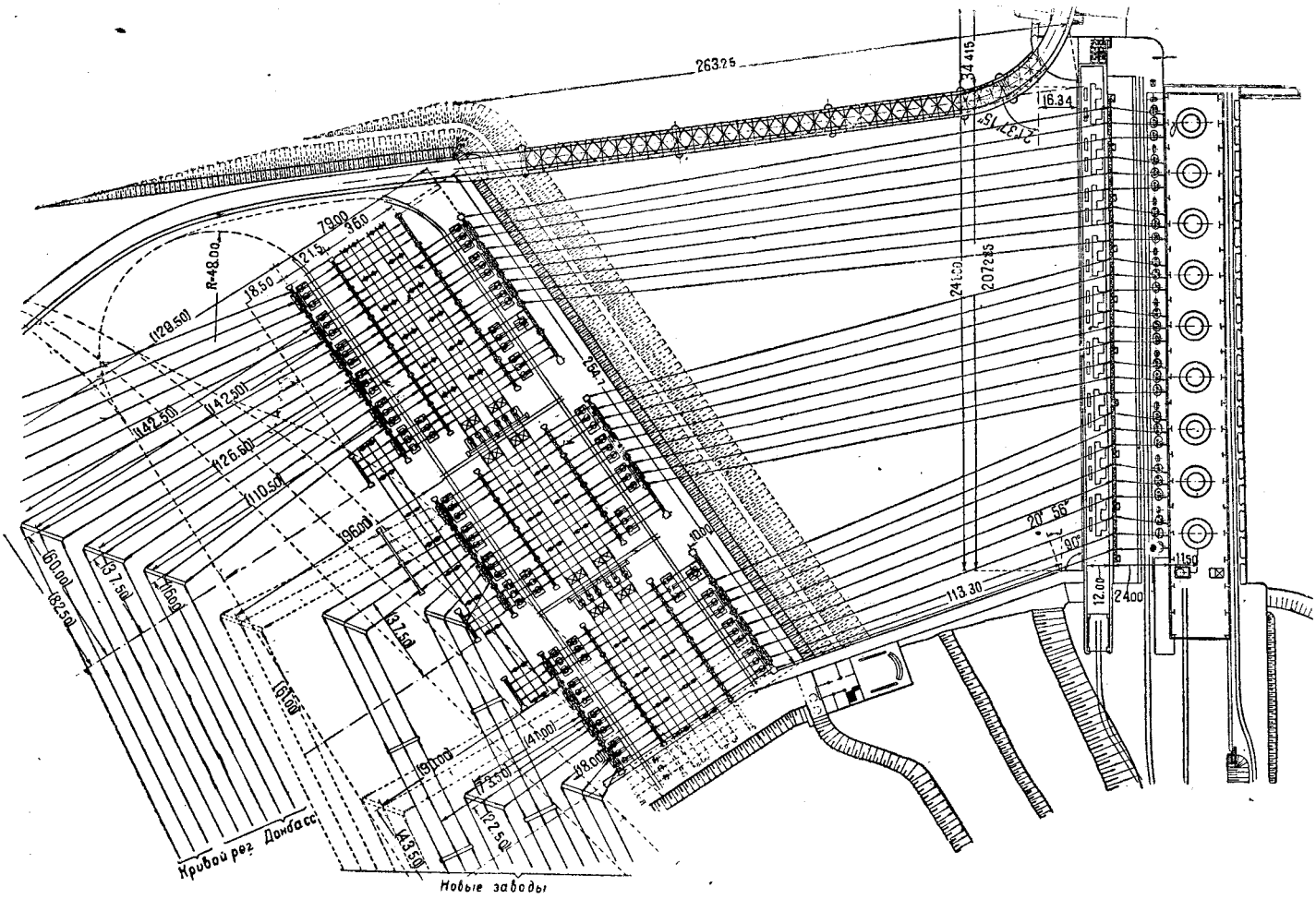


Рис. 3. План станции и главной подстанции.

Обе ветви напорного трубопровода в пределах стенки щитового отделения соединяются в общую трубу, плавно переходящую к круговому сечению диаметром 7,62 m. В нижней части трубопровод имеет железную клепаную облицовку, целиком залитую в бетон и снабженную в конце по шву, отделяющему стенку щитового отделения от массива подводной части станции, тарельчатым компенсатором. В состав стенки щитового отделения кроме 9 блоков, соответствующих основным агрегатам станции, входят еще водонапорный блок, содержащий 2 заборных отверстия хозяйственного водопровода Дгэс, и блок малой турбины с ее напорным трубопроводом. В береговом торце стенки расположена шахта контрольных кабелей и лестница, соединяющие станцию с корпусом управления. К лестничной клетке примыкает открытая площадка для монтажа и хранения запасных затворов Дгэс.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Площадка перекрыта высокой железобетонной эстакадой для выката на нее крана щитового отделения.

Собственно станция состоит из 9 блоков основных турбогенераторов длиною по 22 m и расположенного с берегового конца станции блока монтажной площадки длиною 33 m, в каковом размещен также и малый вспомогательный турбогенератор.

В массивной бетонной подводной части станции расположены всасывающие трубы турбин, подразделенные в горизонтальном их колене промежуточным бычком. С низовой стороны всасывающие трубы в случае ремонта закрываются водяного хозяйства, а также проводки и аппаратуры генераторного напряжения.

Означенные подвальные помещения заходят также и в примыкающую к массиву станции пятовую часть стенки щитового отделения, образуя здесь два расположенных над напорными трубопроводами турбин коридора, отведенные под проводку контрольных и силовых кабелей и под охладительное устройство трансформаторов. Сами трансформаторы стоят на открытой перекрывающей верхний коридор площадке, примыкающей к задней стене машинного зала, обращенной к щитовому отделению. Вдоль площадки уложен по уступу

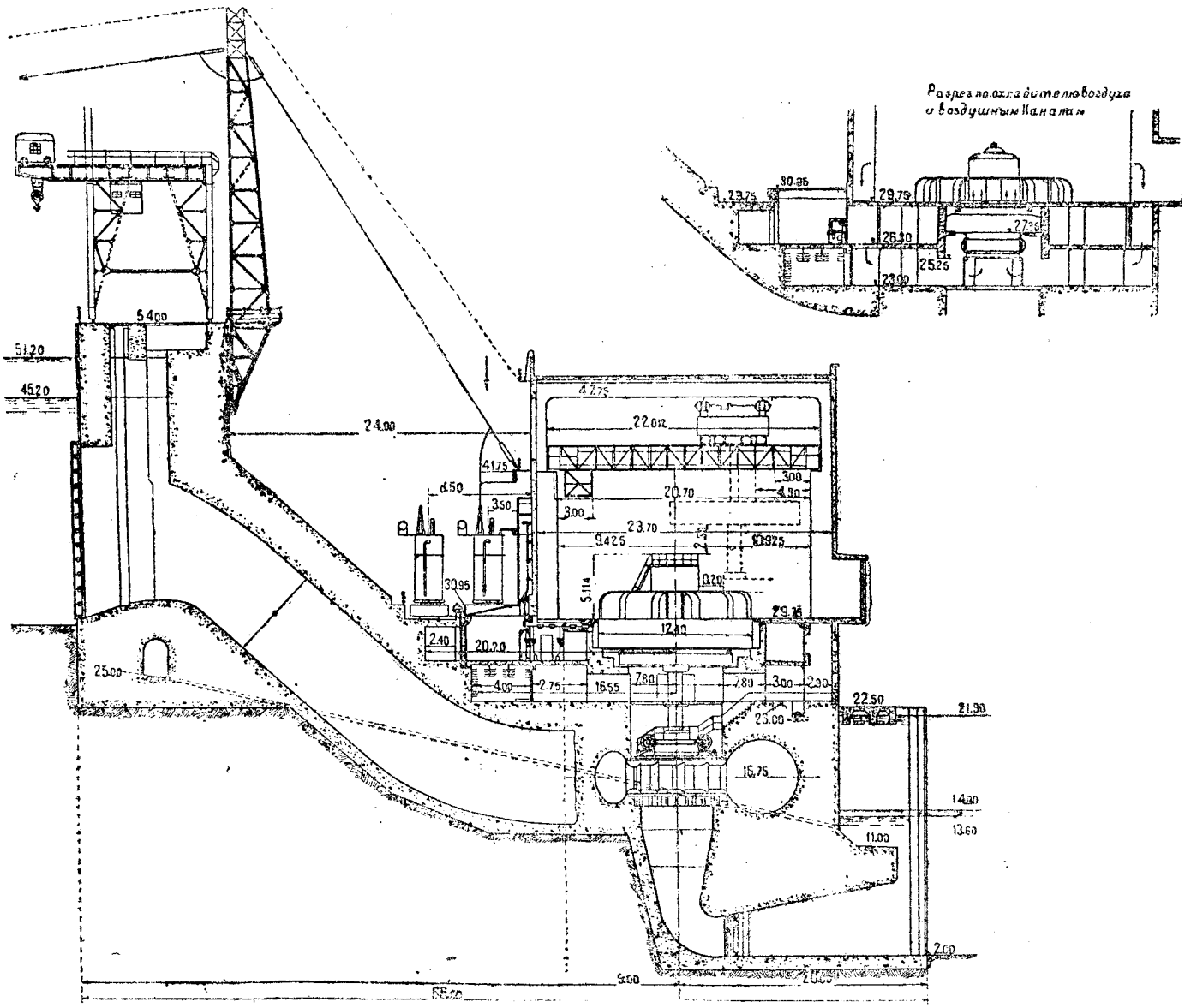


Рис. 4. Разрез станции

шандорами. Над всасывающими трубами расположены железные клепаные спиральные камеры, целиком залитые в бетонный массив подводной части. На этот массив опирается также массивный фундамент генератора, ослабленный только средней цилиндрической шахтой турбины и продольной и поперечной галлереями, служащими для осмотра генератора, размещения его выводов и подвода охлаждающего воздуха.

Пол машинного зала поднят на уровень верхней грани статора, так что над полом возвышается только верхняя крестовина с поддерживающим подшипником и расположенным над ним вспомогательным генератором.

Между массивом спиральных камер и полом машинного зала расположены в двух уровнях подвальные помещения, которые служат для размещения всех обслуживающих турбогенераторы вспомогательных устройств, как-то: вентиляционного устройства для охлаждения генератора замкнутым циклом, регуляторного устройства турбин, трубопровода масляного и того же перекрытия коридора путь для выката трансформаторов, расположенный в уровне машинного зала.

В подвале под монтажной площадкой находятся помещения масляного хозяйства и мастерская для монтажа трансформаторов и ремонтных работ.

Здание гидростанции состоит из машинного зала и небольшой пристройки (вестибюля), содержащей, кроме приемных помещений, также служебные помещения заведующего установкой и первый питательный пункт местных нужд.

Машинный зал имеет длину 231 m при пролете в свету 20,35 m и высоте 18 m. Зал перекрыт металлической рамной конструкцией с заполнением стен артикским туфом.

Для монтажа турбогенераторов машинный зал оборудован двумя мостовыми кранами, грузоподъемностью по 260 t, работающими при установке ротора генератора весом 450 t в спаренном виде.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

С берегового торца станции введен в нее в уровне пола машинного зала железнодорожный путь, уложенный в пределах монтажной площадки. Временно для облегчения монтажа введен еще второй путь в расположенную в подвальной части трансформаторную мастерскую.

Глухая плотина

К береговому концу стенки щитового отделения примыкает под углом 100° к ней глухая плотина, замыкающая с торца аванкамеру и основанная, так же как плотина и станция, на прочном цементированном скальном основании. Для предотвращения возможности обхода сооружений водой глухая плотина продолжена также и в пределах подсыпанной территории главной подстанции и кончается шпорой, которая доведена до места берега с отметками естественного грунта, соответствующими уровню подпорного горизонта воды. В верхней части сечения глухой плотины расположены коридор для контрольных кабелей, а также коридор для сообщения станции с корпусом управления.

Данные водного потока

По гидрометрическим данным за пятьдесят лет (с 18 7/78 по 1925/26 г.) напор ниже 30,5 m будет иметь место лишь в течение 1,3% времени, а напор выше 37,5 m только в течение 10% времени за указанный период. При заказе турбин расчетный напор определился в 35,5 m.

Днепр, как известно, характеризуется чрезвычайно большим отношением между максимальными и минимальными расходами, а именно: наибольший наблюдавшийся расход за 50 лет составлял 20 493 m^3/sec, а наименьший 250 m^3/sec. В течение 50% времени за пятьдесят лет расход равнялся 940 m^3/sec.

Интересно отметить, что в весенний паводок 1931 г максимальный расход был равен 24 500 m^3/sec, т. е. превысил максимальный замеренный расход за предшествующие 55 лет на 20%.

Нормальная отметка верхнего бьефа равна 51,2 m, но может в зависимости от режима реки и регулирования понижаться до 45,2 m. Нормальная отметка нижнего бьефа 14,0 m, при наивысшем горизонте равна 21,8, а при наинизшем 12,7 m. При паводке 1931 г. наивысшая отметка нижнего бьефа была равна 22,54 m.

Максимальные уровни верхнего бьефа 51,2 m и нижнего 21,8 m определили собой незатопляемые отметки всех сооружений установки. С учетом высоты волны за незатопляемые отметки приняты для верхнего бьефа отметки 54,0 m, а для нижнего 22,5 m.

За счет сработки призмы верхнего бьефа высотою у плотины в 6 m и об'емом в $1{,}1 \cdot 10^9$ m^3 возможно регулирование как сезонное, так и суточное. В переводе на работу устанавливаемых на станции генераторов запас энергии в упомянутой призме соответствует работе 1 генератора в течение двух месяцев, около 90 000 000 kWh.

Мощные установки и выработка энергии

В средний гидрологический год в течение 3 мес. станция будет работать при мощности 558 MVA, в течение 5 мес.—при мощности 180 MVA, 4 мес. являются переходными.

Годовая выработка энергии за средний год равна $2{,}9 \cdot 10^9$ kWh.

Главные агрегаты

На станции устанавливаются 9 агрегатов по 62 MW, или 84 000 л. с., а всего 756 000 л. с. Как известно, на Волховской станции установлено 8 агрегатов по 10 000 л. с. Таким образом каждый из днепровских агрегатов по мощности равновелик всей волховской установке, а вся Днепровская станция—девяти Волховским.

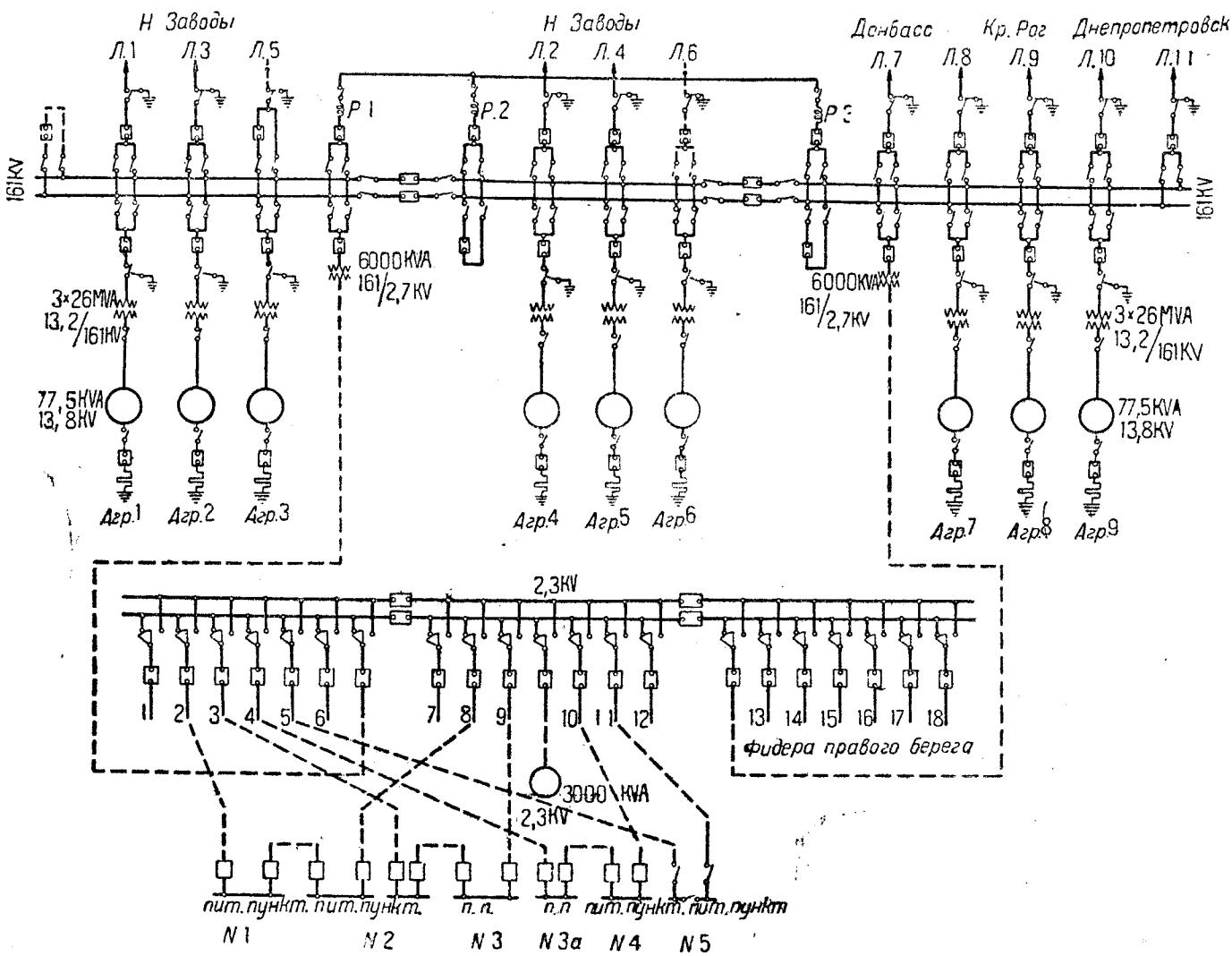


Рис. 5. Оперативная схема электрических соединений Днес

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Интересно отметить, что мощность наиболее крупной из построенных гидроэлектрических станций, а именно: станции на Ниагарском водопаде, принадлежащей Niagara Falls Plant Company, имеет всего 425 000 л. с. Следующие две по мощности станции—Conowingo и Muscle Shoals—имеют соответственно 378 000 и 260 000 л. с.

Турбины. Все турбины поставляет американская фирма Нью-Порт-Ньюс. При расчетном напоре 35,5 m мощность турбины 94 700 л. с.; при том же напоре и наибольшем к. п. д. 91,8% мощность равна 84 000 л. с.

При напоре 37,5 m наибольшая мощность 103 500 л. с., при этом наибольший к. п. д. 92,1% получается при мощности в 90 000 л. с. Договором на турбины гарантировано, что при расчетном напоре 35,5 m при работе в пределах от 67 000 до 91 000 л. с. среднее значение к. п. д. будет не меньше 90,6%.

Некоторые характерные данные: вес турбины (без напорного трубопровода и регулятора) около 660 t, вес рабочего колеса с валом 177 t, наибольший диаметр рабочего колеса 6,01 m, угонная скорость составляет около 1,75 нормальной, равной 88.25 об/мин.

Генераторы. Пять генераторов заказаны фирме GEC, четыре изготовляются на заводе „Электросила" в Ленинграде. Основные данные генератора: 77,5 MVA, 62 MW при коэфициенте мощности 0,8; напряжение 13,8 kV ± 5%, номинальная сила тока 3 250 A; скорость вращения 88,25 об/мин; частота 50 пер/сек; число полюсов 68.

Гарантированные значения к. п. д.

Нагрузка	1/1	1/3	1/2
При cos φ = 1	98,4	98,2	97,6%
При cos φ = 0,8	97,8	97,5	96,8%

Договором гарантируется, что в том случае, если среднее значение к. п. д. в пределах от полной нагрузки до 3/4 нагрузки окажется меньше на 0.5% среднего гарантированного значения в этих пределах, то заказчик в праве отказаться от приемки генератора.

Охлаждение генератора—по замкнутому циклу.

Хотя изоляция всех обмоток выполнена из материалов класса B и по нормам САСШ, а равно и международным, допускается превышение температур в 80°C, но по предложению фирмы GEC допустимые превышения температур приняты равными 60° C с целью обеспечить надежную работу катушек при расширении меди от нагрева.

На валу каждого главного генератора сидит вспомогательный генератор мощностью 750 kVA, напряжением 2,3 kV, и возбудитель последнего мощностью 37 kW при напряжении 250 V. От вспомогательного агрегата питается двигатель возбудительного агрегата и двигатели масляных насосов регулятора турбины. Возбудительный агрегат состоит из асинхронного двигателя мощностью 575 л. с. при 985 об/мин, 2,2 kV, возбудителя на 375 kW, 250 V, и подвозбудителя мощностью 4 kW, 250 V. Возбудитель и подвозбудитель компаундные.

Некоторые характерные данные генератора: реактивность рассеяния 30%; кратность установившегося тока короткого замыкания при возбуждении холостого хода 1,25. Полный вес 780 t, в том числе ротор с валом 430 t, причем вал весит 75 t; диаметр ротора 10.2 m; внешний диаметр статора около 13 m; окружная скорость ротора при нормальной скорости вращения 47,2 m минимум; маховой момент 28 000 tm².

Система возбуждения—быстро отзывчивая; скорость возбуждения 200 V/sec.

Коэфициент полезного действия агрегата. На основании вышеприведенных данных к. п. д. агрегата в пределах от 80% нагрузки до полной равен 88,5%. Здесь уместно привести для сравнения соответствующее значение к. п. д., полученное для агрегата установки Рибург-Шверштадт на р. Рейне.

На станции установлены турбины Каплана фирмы Voigt; номинальная мощность турбины 35 000 л. с., номинальный напор 11,5 m, скорость вращения 75 об/мин. Генераторы поставлены фирмой BBC. На основании испытаний среднее значение к. п. д. в пределах нагрузки от 9 000 до 26 000 kW оказалось равным 86,7%.

Главные трансформаторы

Всего имеется 9 групп трансформаторов по числу главных генераторов; каждая группа состоит из трех однофазных трансформаторов сердечникового типа, мощностью по 26 MVA, коэфициент трансформации группы 13,2/161 kV. Соединение обмоток треугольник звезда. На стороне высшего напряжения имеются два ответвления по +2,5% и два по —2,5%, переключаемые при отсоединенном с обеих сторон трансформатор Напряжение короткого замыкания 13,5%, изменения напр жения при cos φ = 1 равно 1,8%, а при cos φ = 0,8 равно 10 Потери холостого хода на фазу трансформатора составляв 47,5 kW, медные 175,5 kW. Коэфициенты полезного действи

Нагрузка	1/1	3/4	1/2
При cos φ = 1	99,14	99,25	99,30%
При cos φ = 0,8	98,93	99,07	99,12%

Охлаждение трансформаторов масляное с принудительнс циркуляцией масла через охладитель, отдельный для кажд фазы. Расход охлаждающей воды на фазу 795 l минимум циркуляция масла 540 l минимум. Охладители стоят в коридор устроенном под трансформаторами на отметке 26 m.

Веса. Полный вес фазы 62 t, в том числе вес масла 23,4

Габаритные размеры: от зажима вывода высшег напряжения до головки рельса 7 950 mm, потребная площад 4,5 × 4 m. Превышение температуры обмоток над температ рой охлаждающей воды, принимаемой в 25°C, равно 55°C; дл масла 40°C.

Для облегчения транспорта бак по высоте—составной. Сс бранный сердечник с обмотками доставляется в нижней част бака без масла.

Трансформаторы—нерезонирующего типа, поставляются фир мой GEC. Изоляция обмоток высокого напряжения ступенчатая причем нулевая точка заземлена через импидор (см. ниже Один вывод обмотки высокого напряжения изолирован н 161 kV, другой на 92 kV (присоединяемый к импидору).

Импидор

Импидор—заземляющее устройство, включаемое фирмой GE(в нейтраль нерезонирующих трансформаторов в том случае если их нейтраль не заземляется наглухо. Импидор состоит из емкости и параллельно включенного через искровой промежу ток сопротивления. Для высокочастотных импульсов импидор эквивалентен глухому заземлению, при нормальной частоте он дает полную изоляцию от земли, а поэтому допускает параллельное приключение к нему любого по величине реактивного сопротивления. Импидоры, поставляемые GEC для Днепрострой, имеют параллельно приключенную к емкости самоиндукцию с реактивностью четырехкратной по отношению к реактивности самого трансформатора. Таким образом при нормальной частоте главные трансформаторы имеют заземление нейтрали через реактивность в 5,2%, а при высокочастотных импульсах благодаря наличию упомянутой емкости—как бы глухое заземление.

Вес импидора 14 t, в том числе вес масла 7,1 t. Габаритные размеры: высота 4 630 mm, потребная площадь пола 2,90 × × 1,95 m.

Оперативная схема электрических соединений (рис. 5).

На напряжении 13,8 kV шин не имеется. Каждый генератор работает на свою группу трансформаторов; соединение—посредством 4 голых медных полос сечением 100 × 6 mm на фазу. На случай испытания генератора без трансформатора в соединительные шины вставлены разъединители; последние, таким образом, не имеют оперативного значения.

На напряжении 161 kV имеется двойная система шин, разбитая на три секции. На каждую секцию включено по три генератора. Секции соединены через реакторы, включенные по системе Стотта, т. е. в звезду. В каждой секции имеется свой междушинный масляный выключатель. Имеются масляные выключатели и для соединений секций каждой из систем шин.

Две смежные секции предназначены для питания новых заводов (Днепрокомбината), расположенных на левом берегу Днепра,—алюминиевого, металлургического и ферросплавного. От каждой из этих секций идет по две цепи, и имеется по одному резервному месту. Третья секция дает соединение Дгэс с прочими потребителями; от нее отходят две цепи линии передачи в Рыково (Донбасс), две цепи в Днепропетровск и далее в Каменское и одна цепь в Никополь-Кривой Рог. К каждой из крайних секций приключено, кроме того, по трансформатору местных нужд (см. ниже).

Присоединение к шинам 161 kV главных трансформаторов и цепей линий передачи осуществляется через масляный выключатель с последующей развилкой сблокированных между собой разъединителей.

Как следует из сказанного, вся аппаратура подстанции заказана на напряжение 161 kV. Среднее эксплоатационное напряжение системы 154 kV.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

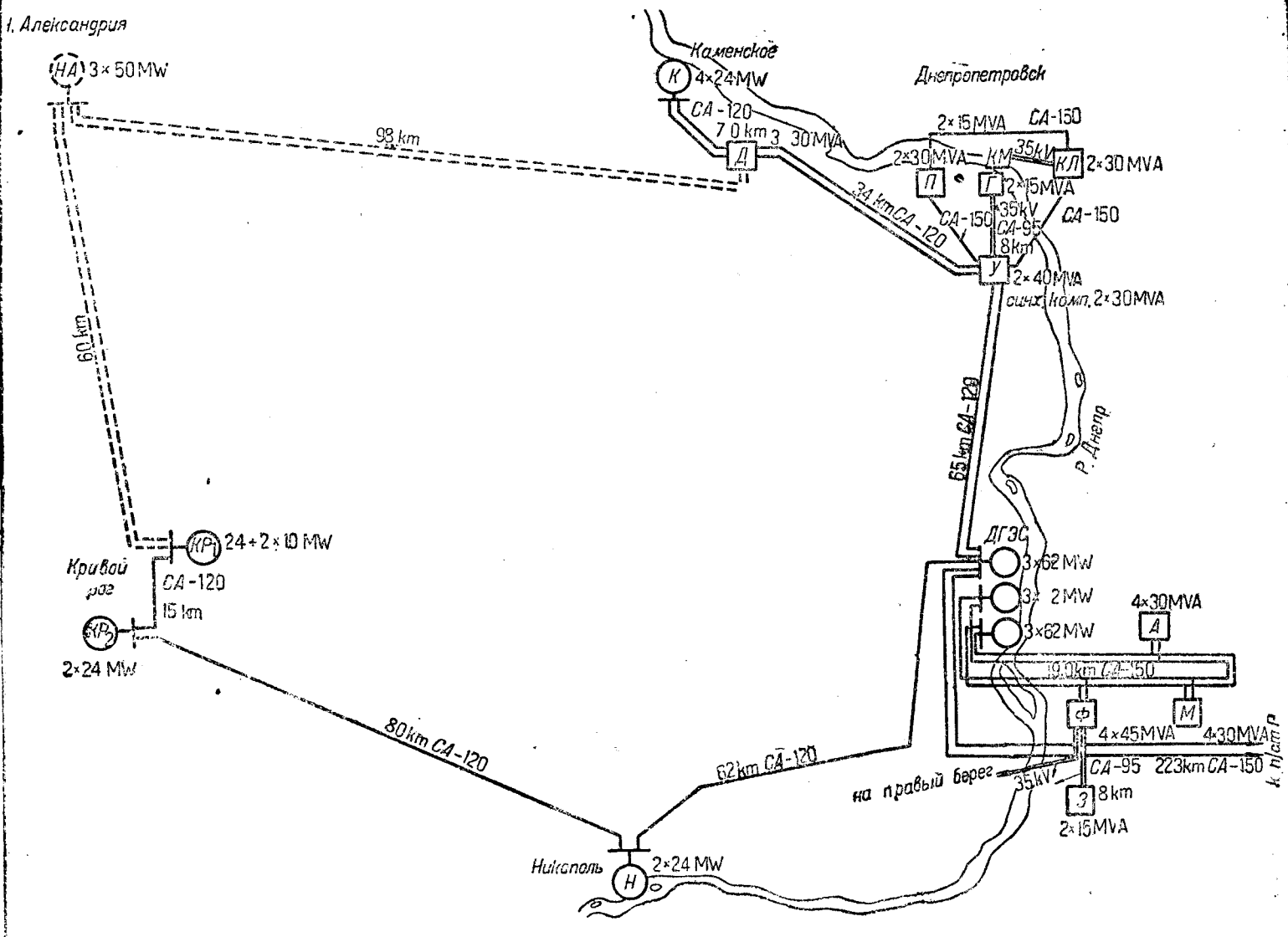


Рис. 6. Схема высоковольтной сети днепровской системы

Установка главных трансформаторов

Главные трансформаторы установлены у стены здания станции со стороны щитовой стенки, на отметке 30,99 m.

Над втулками, проходящими через перекрытие площадки главных трансформаторов, устроены специальные будки. Они защищают эти втулки от непосредственного попадания атмосферных осадков, а обслуживающий персонал—от прикосновения к проводке.

Треугольник на стороне 13,8 kV трансформаторов выполнен на стене здания станции посредством медных шин. Соединение обмотки высшего напряжения в звезду и соединение нулевой точки с импидором выполнено медными трубками диаметром 48 mm на штыревых изоляторах, которые крепятся к балочкам, связанным с металлическим каркасом здания станции. К этим же балочкам крепятся гирлянды изоляторов, посредством которых осуществляется соединение выводов 161 kV трансформаторов с перекидкой проводов через аванкамеру к главной подстанции (см. ниже). По упомянутым балочкам устроен вдоль всей стены здания балкон для облегчения монтажа изоляторов и ухода за ними.

Закрепление на здании станции защитных тросов, идущих через аванкамеру, осуществлено посредством балочек местных балкончиков, устроенных на высоте крыши здания по числу групп трансформаторов.

Главная подстанция на 161 kV

За исключением главных трансформаторов, установленных у стены здания станции, все остальное оборудование на 161 kV размещается по другую сторону аванкамеры, через которую сделана перекидка проводов на портал, сооружаемый на щитовой стенке, а с портала—к главным трансформаторам. Средняя длина перекидки через аванкамеру около 250 m. Она осуществляется посредством сталь-алюминиевых проводов специальной конструкции, сечением 117,2 mm² в медном эквиваленте. Тросы, идущие через аванкамеру, также сталь-алюминиевые, сечение их 75,1 mm² в медном эквиваленте.

Подстанция занимает площадь, равную (кругло) $250 \times 100 = 25\ 000$ m². Осуществить намеченный первоначально распластанный тип подстанции не удалось из-за недостатка места. Пришлось разъединители поставить в два яруса. Шины 161 kV—трубчатые, медные, диаметром 110/100 mm, устанавливаются на четырехэлементных опорных изоляторах GEC. Ширина ячейки металлической конструкции подстанции 15 m. Расстояние между фазами принято равным 4,25 m; расстояние до заземленных частей в наиболее неблагоприятных условиях не менее 2,2 m.

Почти все соединения от главных шин к аппаратуре выполнены медным гибким проводом сечением 400 mm² лишь незначительная часть выполнена медными трубками с внешним диаметром 48 mm. Тросы на подстанции такие же, как и над аванкамерой.

Реакторные шины так же, как и главные,—из медных труб диаметром 110/100 mm.

Аппаратура на 161 kV главной подстанции

Аппаратура поставляется фирмой GEC.

Масляные выключатели на разрывную мощность в 2 500 MVA по американским нормам. Скорость выключения при нагрузке от 25 до 100% равна 0,2 sec. Включение производится электродвигателем постоянного тока на 220 V; пусковой ток двигателя 100 A.

Выводы содержат как трансформаторы тока, так и емкостные трансформаторы напряжения.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Для каждой фазы имеется свой бак круглой формы, диаметром 2 m, жестко закрепляемый на фундаменте и не имеющий катков, так как фирма для масляников этого типа катков не допускает, опасаясь вибрации баков и нарушения правильной работы приводного механизма. Расстояние между осями отдельных фаз 2 276 mm.

Вес всех трех фаз с маслом 43 t, в том числе вес масла 22,5 t. Габаритные размеры: высота от фундамента до верхнего края выводов 5 453 mm, требуемая площадь, включая приводной электродвигатель, 7,65 × 2,95 m.

Разъединители имеют раскрывающийся вверх нож. Привод—посредством электродвигателя постоянного тока на 250 V. Расстояние между разъединителями отдельных фаз почти такое же, как и между проводами (4 250 mm).

Реакторы взяты на пропускную мощность, равную примерно $1^1/_2$ мощности одной группы трансформаторов, а именно 120 MVA; по отношению к этой мощности их реактивность равна 10%. Каждая фаза реактора в своем баке весит, включая масло, 18,57 t; вес масла 11,3 t. Габаритные размеры фазы: высота 6 077 mm, потребная площадь 3,2 × 2,5 m.

Реакторы имеют водяное охлаждение посредством змеевика, помещенного в баке. Расход воды 113,5 l минимум.

Примечание. Хотя на главной подстанции предусмотрены места для разрядников, но таковые не заказаны, так как GEC считает их для защиты своей аппаратуры и трансформаторов ненужными.

короткого замыкания 15%. Габаритные размеры трансформатора: высота 7 166 mm, потребная площадь 5,89 × 5,20 m. Трансформаторы стоят на главной подстанции. Вес с маслом 65,9 t, в том числе масла 33,34 t.

Распределительное устройство 2,3 kV—бронированное (metall clad), поставляется GEC. Оно располагается в корпусе главного поста управления (см. ниже).

Шины двойные, они распадаются на три секции, к средней присоединяется генератор станционных нужд, к крайним—трансформаторы местных нужд.

К одной из крайних секций присоединены фидеры местного района, и она работает отдельно от прочих секций. Другие две секции нормально соединены вместе и служат для подачи энергии к питательным пунктам Днэс.

Выдвижные панели 2,3 kV для электродвигателей агрегатов возбуждения и масляных насосов системы регулирования турбины стоят в коридоре на отметке 26,3 m, под главными трансформаторами,—поставляются GEC.

Питательные пункты 2 300/230 V

Всего имеется 5 питательных пунктов, из них два расположены у торцевых частей здания станции, один в корпусе управления, один у места сопряжения плотины со шлюзом и один на шлюзе.

В каждом из питательных пунктов имеется один осветительный трансформатор и один или два силовых. Схема

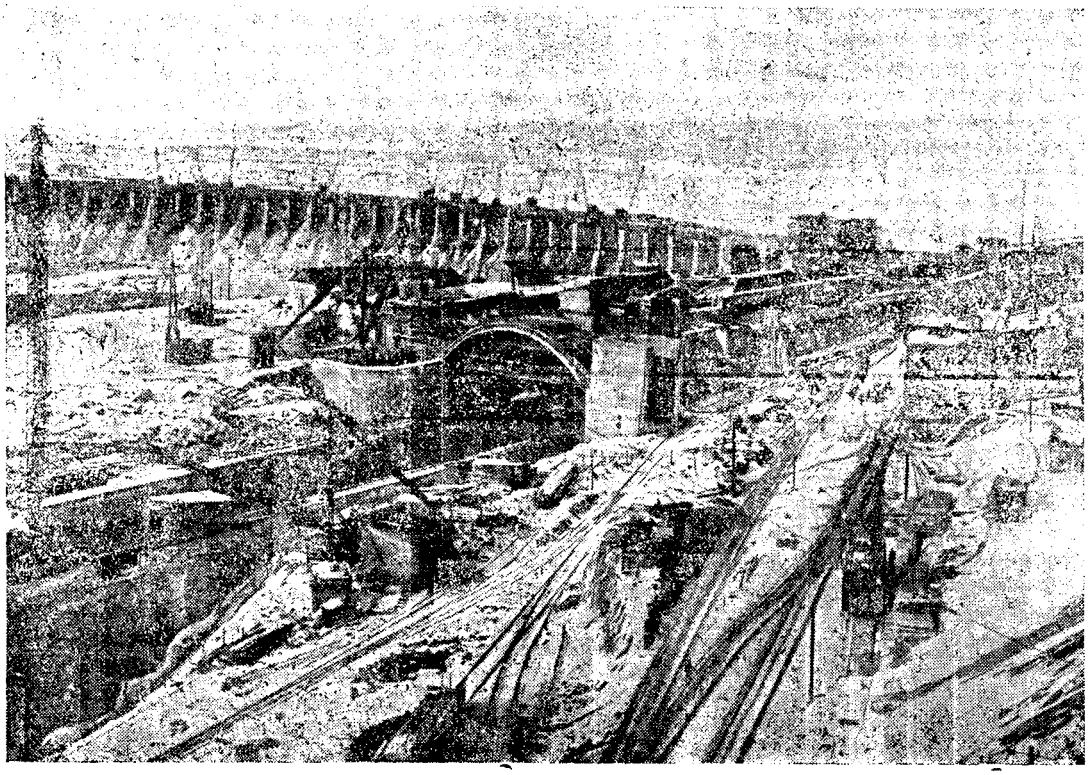


Рис. 7. Днепровская плотина со стороны шлюза

Система местных нужд 2,3 kV и ее оборудование

Агрегат станционных нужд устанавливается под монтажной площадкой на отметке 23 m. Он состоит из турбины с вертикальным валом, мощностью 3 500 л. с., поставляемой Ленинградским металлическим заводом, и трехфазного генератора, поставляемого ленинградским заводом „Электросила". Генератор на 3 000 kVA, 2 400 kW при $\cos\varphi = 0{,}8$, 2 300 V, 428 об/мин и 50 пер/сек. Генератор резервируется двумя трансформаторами по 6 000 kVA, один из них предназначается для питания местного района правого берега. Вследствие указанной связи между обслуживанием станционных нужд и нужд местного района все оборудование на напряжение 2,3 kV получило на строительстве наименование системы местных нужд.

Трансформаторы местных нужд (фирмы GEC)—трехфазные, мощностью 6 000 kVA, напряжение 16¹/2,7 kV, масляные с естественным охлаждением; регулирование напряжения на ± 10% осуществляется под нагрузкой, напряжение

питания отдельных двигательных приемников обеспечивает непрерывность подачи энергии в случае аварии на любом из питательных пунктов.

Осветительные трансформаторы питательных пунктов работают несвязанными с силовыми трансформаторами. В случае повреждения осветительного трансформатора, вся нагрузка его перебрасывается на силовой трансформатор того же питательного пункта.

Управление питательными пунктами — дистанционное из поста управления станции.

Источники постоянного тока

Для обслуживания реле и приводных электродвигателей имеются две аккумуляторные батареи (из них одна резервная), каждая со своим зарядным агрегатом. Последний состоит из трехфазного асинхронного двигателя мощностью 60 л. с., напряжением 220 V, и генератора постоянного тока на 35 kW при 300 V.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Аккумуляторные батареи поставляются нашим Аккумуляторным трестом. Батареи типа И-24 емкостью 720 Ah при 5-часовом разряде.

Нормально работает один агрегат с параллельно приключенной аккумуляторной батареей, которая служит буфером. Основное назначение системы постоянного тока—питание приводных механизмов масляных выключателей и разъединителей и сигнализационных лампочек щитов управления. Кроме того, на постоянном токе питается освещение безопасности. В случае аварии фидеров переменного тока, питающих аварийное освещение, последнее автоматически переключается на постоянный ток.

Корпус главного поста управления и местных нужд

Этот корпус расположен у главной подстанции, над уровнем которой он имеет один этаж. С противоположной стороны (к нижнему бьефу) корпус четырехэтажный. Все этажи связываются центрально расположенной лестницей. Со стороны станции к лестнице примыкают: в первом этаже сверху—главный пост управления (щиты и пульты), во втором сверху—помещение для разводки контрольных кабелей, в третьем—бронированное устройство 2,5 kV и, наконец, в четвертом сверху, т. е. самом нижнем, аккумуляторная батарея, химическая лаборатория и питательный пункт № 5. По другую сторону лестницы расположены: в первом этаже сверху—диспетчерский пункт и служебные комнаты, во втором—телефонная станция и установка для телефонирования по проводам линии передачи токами высокой частоты (поставляется фирмой Telefunken), в третьем—насосная для системы охлаждения реакторов и помещение для ремонта и поверки измерительных приборов, и в четвертом сверху—агрегаты аккумуляторных батарей и помещение электромонтеров.

К помещению телефонной станции, во втором этаже сверху, примыкает масляное хозяйство главной подстанции. Оно отделено от телефонной станции капитальной стеной и имеет независимый выход наружу—на откос глухой плотины. Рядом с масляным хозяйством на глухой плотине стоят масляные баки подстанции емкостью по 40 m³.

Кроме упомянутой основной лестницы имеется другая служебная лестница в конце здания со стороны станции. Она связывает второй, третий и четвертый этажи, причем во втором этаже сверху с этой лестницы устроен проход в коридор глухой плотины, который служит для сообщения персонала корпуса управления со зданием станции. Рядом с этим коридором имеется другой коридор для контрольных кабелей, идущих в корпус управления от станции. Контрольные кабели главной подстанции подводятся к корпусу управления по двум тоннелям, расположенным вдоль подстанции, и затем по коридору в глухой плотине.

Заземление станции и главной подстанции

Здание станции стоит на скале, поэтому заземляющее устройство станции состоит из контура, уложенного на нижнем бьефе в воде и анкерованного к скале. В заземляющую систему включены также решетки турбин, связанные с основным контуром на нижнем бьефе поперечными магистралями.

Заземляющее устройство главной подстанции осуществляется в виде заложенной в насыпной грунт железной оцинкованной ленты 40 × 5 mm, связывающей 200 электродов в виде железных оцинкованных труб длиной 2÷3 m. Для улучшения распределения потенциала на поверхности земли и снижения напряжения прикосновения до значения, предписываемого нормами IX ВЭС (150 V), предусматриваются два поперечных ряда труб и связывающие продольные и поперечные магистрали из железной оцинкованной ленты 40 × 4 mm.

Для устранения опасных разностей потенциалов в пределах станции и подстанции заземляющие устройства их связываются специальными соединительными магистралями из медной полосы. Укладка этих магистралей обеспечивает необходимый отсос тока повреждения. Защитные тросы перекидки через аванкамеру используются как вспомогательные соединительные магистрали.

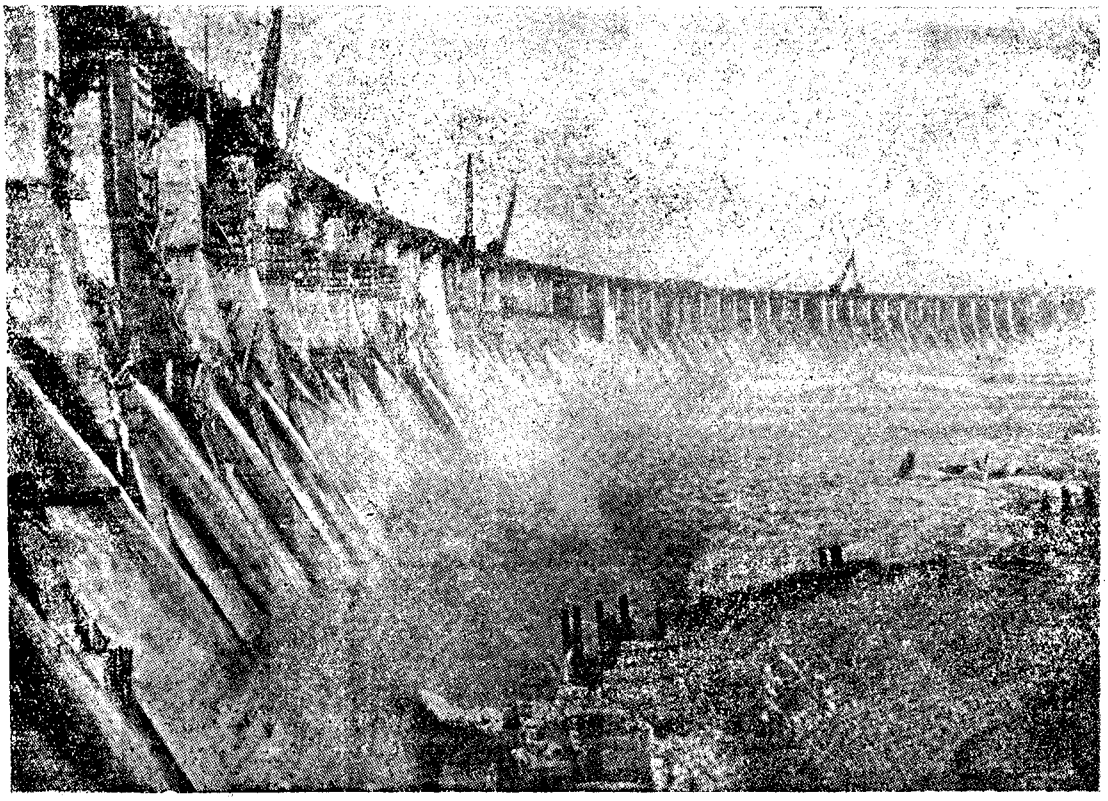


Рис. 8. Днепровская плотина со стороны станции.

Токи короткого замыкания

Наибольшего значения токи короткого замыкания достигают на третьей секции шин главной подстанции, от которой отходят линии передачи в Донбасс, Днепропетровск-Каменское и Никополь-Кривой Рог. Здесь эффективное значение силы тока первой полуволны симметричной составляющей трехфазного короткого замыкания достигает значения, соответствующего мощности короткого замыкания в 2 400 MVA (при исчислении по американским нормам); на других секциях имеем около 1 700 MVA. Для характеристики значения реакторов, через посредство которых осуществляется параллельная работа всех трех секций высоковольтных шин главной под-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

станции, следует указать, что заказанные 161-kV масляные выключатели с разрывной мощностью в 2 500 MVA допускают параллельное включение только пяти главных агрегатов станции.

Релейная защита главных генераторов и трансформаторов

Каждый генератор имеет диференциальную и земляную защиту; нулевая точка генератора заземляется через омическое сопротивление в 80 Ω, вследствие чего наибольшее значение тока заземления не превосходит 100 A Каждый трансформатор имеет диференциальную и максимальную защиту, кроме того, на баках трансформатора предусмотрены патрубки для присоединения реле Бухгольца; последние заказаны непосредственно фирме Бухгольц, так как GEC отрицательно относится к этим реле.

Генератор снабжен, кроме того, температурным реле. Диференциальные защиты генератора и главного трансформатора имеют уравновешенные диференциальные реле, что предохраняет от ложных выключений при сквозных токах и позволяет выбрать более чувствительную установку реле.

Защиты диференциальная, земляная и реле Бухгольца, действуя на включающую катушку масляного выключателя на стороне 161-kV трасформатора, одновременно приводят в действие размагничивающее устройство генератора.

управления: площадь около 415 m², высота 6 m. Установле ная мощность около 12 kW. Удельная мощность око 29 W/m².

Для освещения главной подстанции открытого типа прин вариант комбинированного освещения, полученного от прим нения обыкновенных светильников (типа шара), как основн освещение, и прожекторов, как подсобное освещение. Так комбинирование дало вполне благоприятное техническое ра решение вопроса рационального и хорошего освещения о крытой подстанции такого типа и размера, как подстанц Дгэс. Размеры подстанции: площадь около 25 000 m², высо металлических конструкций—18,5 m. Высота рабочих часте 5,45 ÷ 13,75 m. Установленная мощность около 73 kW. Удел ная мощность около 3 W/m².

Для освещения мостов, дорог и наружных пространст принят светильник типа „Шако" (с некоторыми изменениями как лучше всего отвечающий в данное время из имеющихс в СССР светильников поставленным требованиям и дающи вполне удовлетворительные результаты.

Для освещения прочих внутренних помещений приняті светильники полуотраженного освещения, плафоны и шары

Освещение безопасности, независимое от основного, пи тается нормально от переменного тока (трансформатор и в случае аварии последнего автоматически переключаетс на питание постоянным током от аккумуляторной батаре

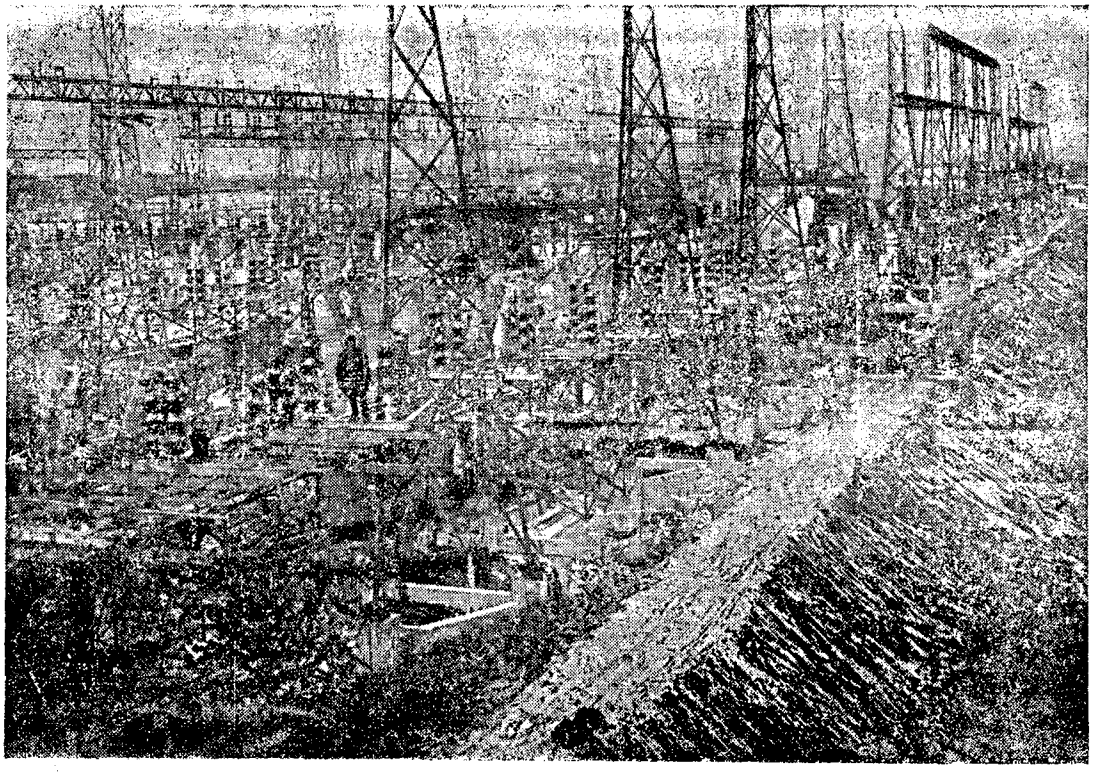


Рис. 9. Монтаж главной подстанции Дгэс.

Освещение

При проектировании освещения внутренних помещений, наружных пространств и дорог всех сооружений Дгэс были приняты в основу нормы освещенностей, рекомендованные II Всесоюзной светотехнической конференцией, с повышением их в некоторых случаях до американских.

Так, для машинного зала принята освещенность 75 Lx, для пульта управления 100 Lx, для главной подстации 15 Lx, для главных проездов, дорог и мостов 4 Lx и т. д. Способы освещения и светильники приняты в соответствии с назначением помещений и их архитектурой.

Для машинного зала выбран способ отраженного освещения как наиболее эффектный и дающий хорошее и равномерное освещение зала. Размеры машинного зала: площадь около 5 400 m², высота около 18,0 m. Установленная мощность светильников около 270 kW. Удельная мощность около 50 W/m².

Для поста управления принят способ освещения так называемыми электрическими окнами, т. е. сплошными полосами, устроенными в потолке помещения. Размеры помещения поста

Общая установленная мощность освещения Дгэс равна около 600 kW [1].

Схема высоковольтной сети Дгэс (рис. 6)

От каждой из двух секций главной подстанции, предназначенных для питания заводов Днепрокомбината, отходят по две цепи, замыкающиеся на площадке Днепрокомбината в кольцо длиной 19,2 km. К этим кольцам на площадке Днепрокомбината присоединяются три высоковольтные подстанции: подстанция Алюминиевого комбината *А*, подстанция Металлургического завода *М* и подстанция завода Ферросплавов *Ф*. Подстанции имеют две системы шин, но каждая из последних может быть присоединена только к одному кольцу. Число устанавливаемых на каждой подстанции трансформаторов четное (по четыре), причем половина трансформаторов каждой подстанции работает от одного кольца, другая от дру-

[1] Подробный доклад на тему „Освещение Днепровской государственной электрической станции" был сделан от Днепростроя на III Всесоюзной светотехнической конференции, в Харькове, 23 апреля 1931 г. проф. П. М. Тиходеевым и инж. В. Н. Нечаевым.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

гого кольца. В случае надобности все трансформаторы могут быть включены на одно кольцо, но схема присоединения (через сблокированные между собой разъединители) такова, что исключается возможность параллельного соединения обеих систем шин подстанции.

От третьей секции 161-kV шин главной подстанции отходят следующие цепи линий передач: две цепи длиной по 223 km в Рыково (Донбасс), где имеется подстанция с компенсаторами на 100 MVA; две цепи длиной по 65 km до так называемой Узловой подстанции в Днепропетровске с продолжением длиной в 41 km до подстанции при Грэс завода им. т. Дзержинского в Каменском; одна цепь длиной 62 km до подстанции в Никополе с продолжением длиной в 80 km

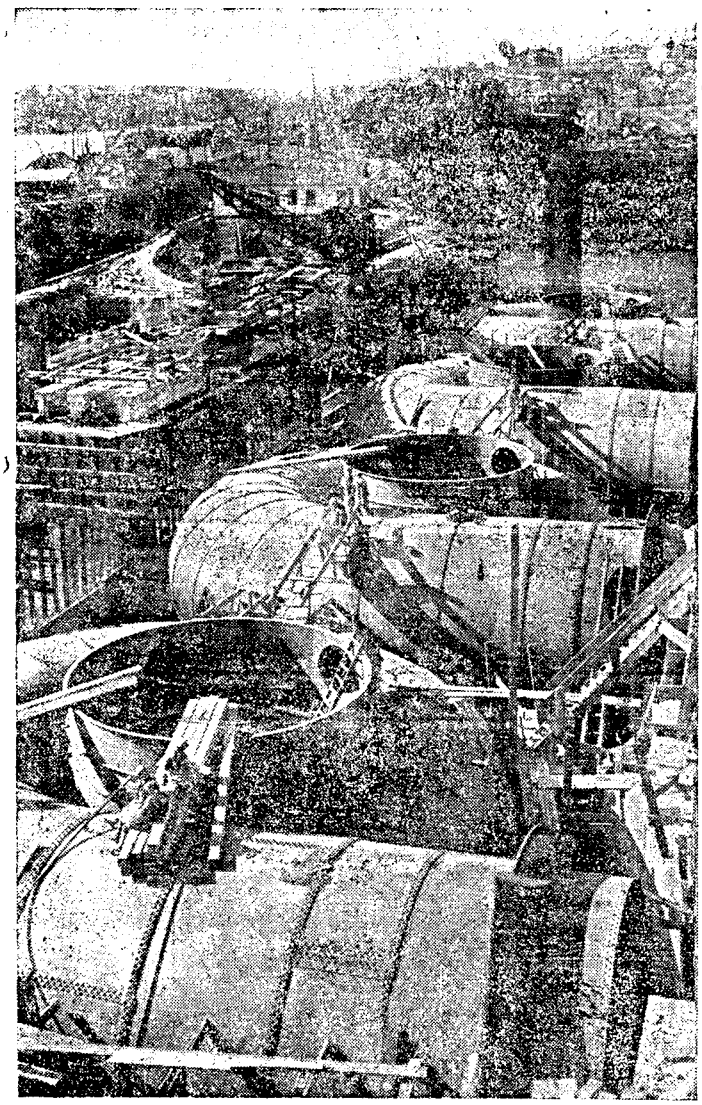


Рис. 10. Монтаж спиральных камер главных турбин Дгэс.

до подстанции при тепловой станции в Кривом Роге. Нужно указать еще, что от высоковольтных шин Узловой подстанции в Днепропетровске отходят две цепи, образующие Днепропетровское кольцо, дважды пересекающее реку Днепр; к этому кольцу приключены две подстанции—одна, сооружаемая при заводе им. т. Петровского, другая при заводе им. К. Либкнехта.

Если намечаемая в Новой Александрии тепловая станция на буром угле получит свое осуществление, то линии передачи Дгэс-Днепропетровск-Каменское и Дгэс-Никополь-Кривой Рог замкнутся в так называемое Западное кольцо Приднепровья. Расстояние от новой Александрии до Каменского 98 km, до Кривого Рога 60 km, таким образом, общая длина Западного кольца будет 406 km. Если новая Александрия не будет осуществлена, и вместо этого получит дальнейшее развитие станция в Каменском, то замыкание Западного кольца произойдет посредством линии Каменское-Кривой Рог.

Понижающие подстанции, присоединяемые к сети 154 kV

Число и мощность трансформаторов на понижающих подстанциях, пускаемых в эксплоатацию в текущем 1932 г., указаны в нижеследующих табличках:

Подстанции Днепрокомбината	Мощности трансформаторов первой очереди
1) при Алюминиевом заводе (*А*) . .	4 × 30 = 120 MVA
2) при Металлургическом заводе (*М*)	4 × 30 = 120 „
3) при заводе Ферросплавов (*Ф*) .	4 × 45 = 180 „
	Всего 420 MVA

Подстанции *А* и *М* трансформируют с 154 kV на 6,3 kV, подстанция *Ф*—с 154 kV на 35 kV.

Подстанции в Днепропетровске	
4) узловая подстанция (*У*)	2 × 40 = 80 MVA
5) при заводе им. Петровского (*П*) .	2 × 30 = 60 „
6) при заводе им. К. Либкнехта (*К.Л.*)	2 × 30 = 60 „
	Всего 200 MVA

Транформаторы на Узловой подстанции трехобмоточные с трансформацией с 154 kV на 10,5 kV для питания компенсаторов и на 35 kV для питания городской подстанции. Мощности обмоток соответственно 40, 30 и 20 MVA. Трансформаторы на подстанции при заводе им. К. Либкнехта также трехобмоточные, напряжения 154, 35 и 6,3 kV; мощности обмоток 30, 20 и 20 MVA. Обмотка на 6,3 kV предназначена для питания завода им. К. Либкнехта и ближайшего района; обмотка 35 kV питает подстанцию при заводе им. К. Маркса и более отдаленные пункты. Подстанция при заводе им Петровского трансформирует напряжение с 154 kV на 6,3 kV.

Подстанции в Каменском:	
7) при тепловой станции завода им. т. Дзержинского (*К*)	3 × 30 = 90 MVA
8) при правом крыле завода им. т. Дзержинского (*Д*)	3 × 30 = 90 „
	Всего 180 MVA

Трансформаторы двухобмоточные. Подстанция *К* работает, главным образом, как повышающая. Низшее напряжение обмоток на обеих подстанциях 6,3 kV. Общая мощность трансформаторов, устанавливаемых на перечисленных 8 подстанциях, составляет 800 MVA.

В следующем 1933 г. должны быть пущены в ход подстанции в Никополе, Кривом Роге (1 или 2) и в Рыкове (Донбасс). Общая мощность трансформаторов, намеченных к установке в 1933 г., равна 430 MVA Таким образом суммарная установленная мощность понижающих подстанций составит в 1933 г. 1 230 MVA.

Оборудование подстанций, пускаемых в работу в 1932 г., заказано заграничным европейским фирмам: SSW, AEC, BBC—Mannheim, BBC—Milano, Metro-Vickers, Ansaldo, Ifl.

Высшее напряжение понижающих подстанций, так же как и главной подстанции, принято равным 161 kV.

Подстанции на 35 kV, сооружаемые Днепростроем

Кроме 11 вышеприведенных подстанций с 154 kV Днепрострой сооружает три подстанции с 35 kV, а именно: 1) городскую (*Г*)—в г. Днепропетровске, 2) при заводе им. К. Маркса (*КМ*) на левом берегу Днепра в Днепропетровске, 3) в г. Запорожье (*З*).

Все подстанции однотипные, открытые, каждая с 2 трехфазными трансформаторами с 35 на 6,3 kV. Мощность каждого трансформатора 15 MVA.

Городская подстанция в Днепропетровске питается воздушной двухцепной линией от узловой подстанции; подстанция при заводе им. К. Маркса питается аналогично от подстанции на 154 kV при заводе им. К. Либкнехта, а подстанция в Запорожье—от подстанции *Ф* Днепрокомбината.

Оборудование подстанций *Г* и *КМ* заказано тем же заграничным европейским фирмам, а для подстанции *З*—Всесоюзному электротехническому об'единению.

Конструктивное выполнение линий передачи

Двухцепные линии передачи Дгэс-Днепропетровск-Каменское и Дгэс-Рыково осуществляется на трехстоечных опорах; каждая стойка несет два провода и один трос. Опоры всех

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

остальных линий—одноцепные, сконструированы по типу опор, принятых для линии передачи Свирь-Ленинград; каждая из этих опор несет три провода и два троса [1]. Все провода и тросы 154-kV линий — стальалюминиевые. Из нескольких намечавшихся ранее сечений проводов при окончательном уточнении расчетов оказалось возможным остановиться на двух сечениях: СА-120 и СА-150 по союзному стандарту. Сечение СА-120 применено на линиях Западного кольца, а сечение СА-150 взято для Днепропетровского кольца, колец новых заводов и линии Дгэс-Рыково. Сталь-алюминиевые тросы специальной конструкции, выбранной таким образом, чтобы их стрелы провеса получались не более стрел провеса проводов. На линии Дгэс-Никополь-Кривой Рог и Дгэс-Рыково трос имеет сечение 46,5 mm² в медном эквиваленте; на прочих линиях трос сечением в 75,1 mm² в медном эквиваленте. Провода и тросы поставляются ВЭО.

Гирлянды подвесных и натяжных изоляторов как для линий, так и для подстанций заказаны немецким фирмам Harmsdorf и Rosenthal.

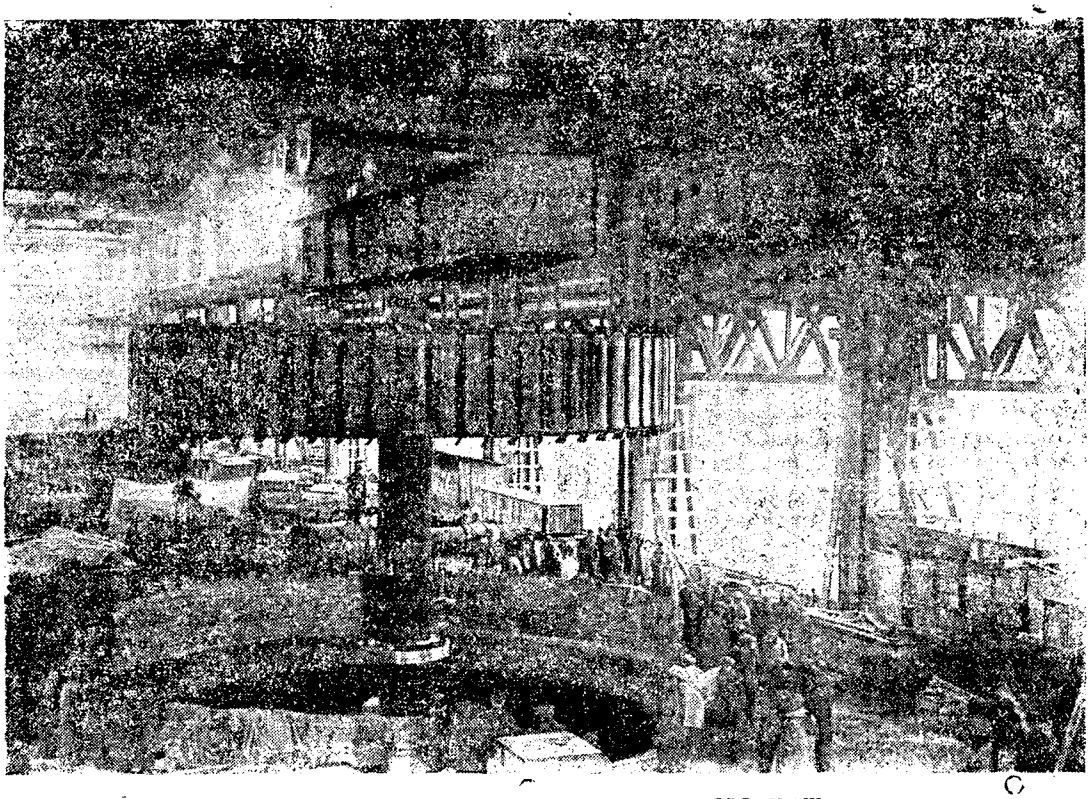


Рис. 11. Монтаж ротора главного генератора GEC, 62 kW

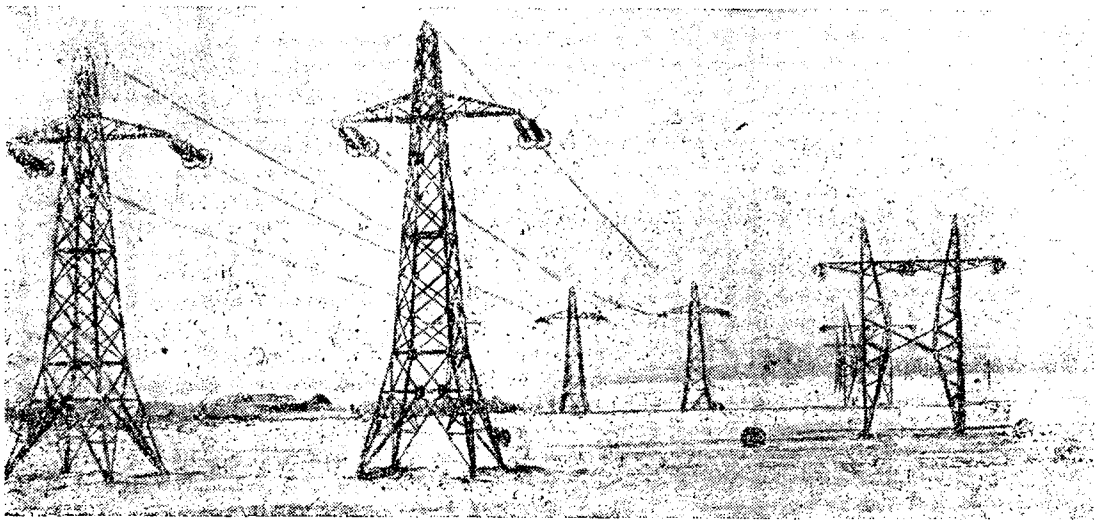


Рис. 12. Опоры линии передачи Дгэс

Каждая гирлянда состоит из 10 элементов; строительная высота элемента 170 mm; диаметр тарелки 280 mm. Гирлянды снабжены защитными рогами вверху и кольцом внизу. Общая длина гирлянды с арматурой 2 120 mm. Приближение к опоре при отклоненной гирлянде в наихудшем случае получается не менее 1 500 mm. Сухое разрядное напряжение гирлянды с защитными кольцами согласно условиям заказа 540 kV.

Подвеска проводов к гирляндам с целью избежать вредных последствий от вибрации провода осуществляется посредством качающегося зажима фирмы Гофман.

Расположение тросов на опорах выбрано по соображениям защиты проводов от прямых ударов молнии. Что же касается сечения тросов, то таковое определилось из условий заземления опор. Согласно нормам допустимое напряжение прикосновения принималось в пределах от 150 до 500 V в зависимости от населенности мест, по которым проходят линии.

[1] Более подробные данные об этих опорах см. в статье проф. Н. П. Виноградова, Опоры для линий электропередачи напряжением 400 kV и выше. „Электричество", № 16, 1931, стр. 904.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Заземление опор выполняется посредством железных оцинкованных труб диаметром 1 дюйм и связывающих их железных оцинкованных полос размерами 40 × 4 mm. Заземляются все опоры как анкерные, так и промежуточные. Число труб для заземления каждой опоры было выбрано по специально

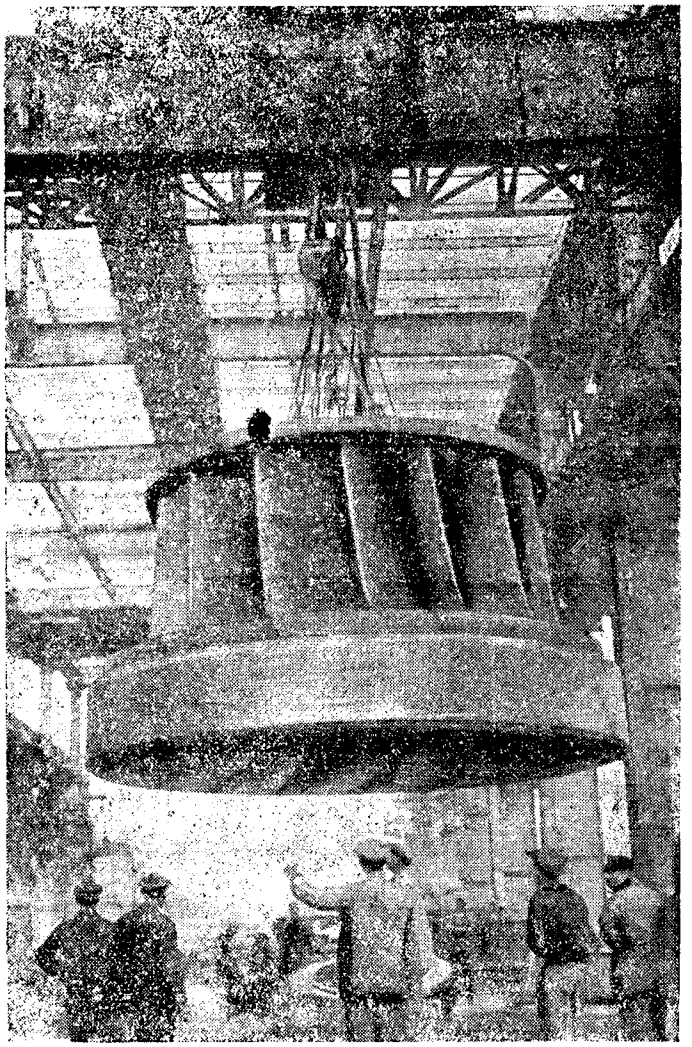


Рис. 13. Монтаж главной турбины Newport-News.

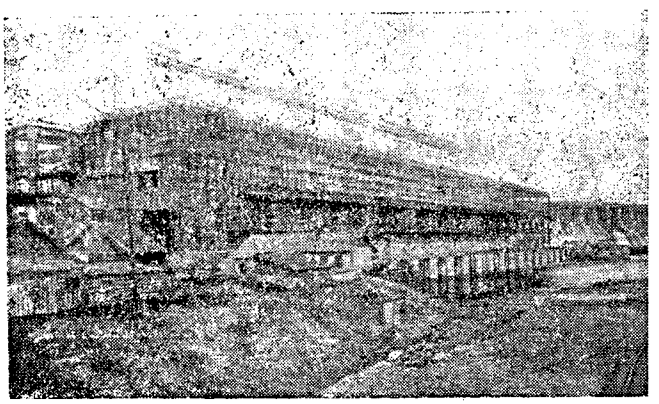


Рис. 14. Днепровская государственная электрическая станция.

построенным графикам в зависимости от величины сопротивления грунта и того напряжения прикосновения, которое допустимо для данного места по нормам IX ВЭС.

При расчетах принято во внимание отсасывающее действие хорошо проводящих тросов. Для опор двух параллельных цепей заземления делаются общими. В среднем заземляющий контур состоит из 8 труб длиной 2,5÷3 m и полосы длиной 70 m, укладываемой на глубину 500 mm ниже поверхности земли. Для особо трудных условий применены специальные контуры.

Релейная защита линий 154 kV

Предусмотрена междуфазная и земляная защита. Для коротких участков линий передачи указанные функции возложены на диференциальную защиту, а именно: на линиях Днепрокомбината и Днепропетровского кольца устанавливается защита „транслей" фирмы Metro-Vickers, а на участке между подстанцией *Д* при правом крыле завода им. т. Дзержинского и подстанцией *К* при Каменской тепловой станции — диференциальная защита GEC. Диференциальная защита перестраховывается максимальным реле.

На участках линий Дгэс-Узловая и Узловая-подстанция *Д* при заводе им. т. Дзержинского междуфазная защита осуществляется посредством балансной и дистанционной защиты, а земляная—помощью балансных и земляных реле.

Переходы линий передачи через Днепр

В Кичкасе, непосредственно после выхода из главной подстанции, новозаводские и донбассовские линии поворачивают

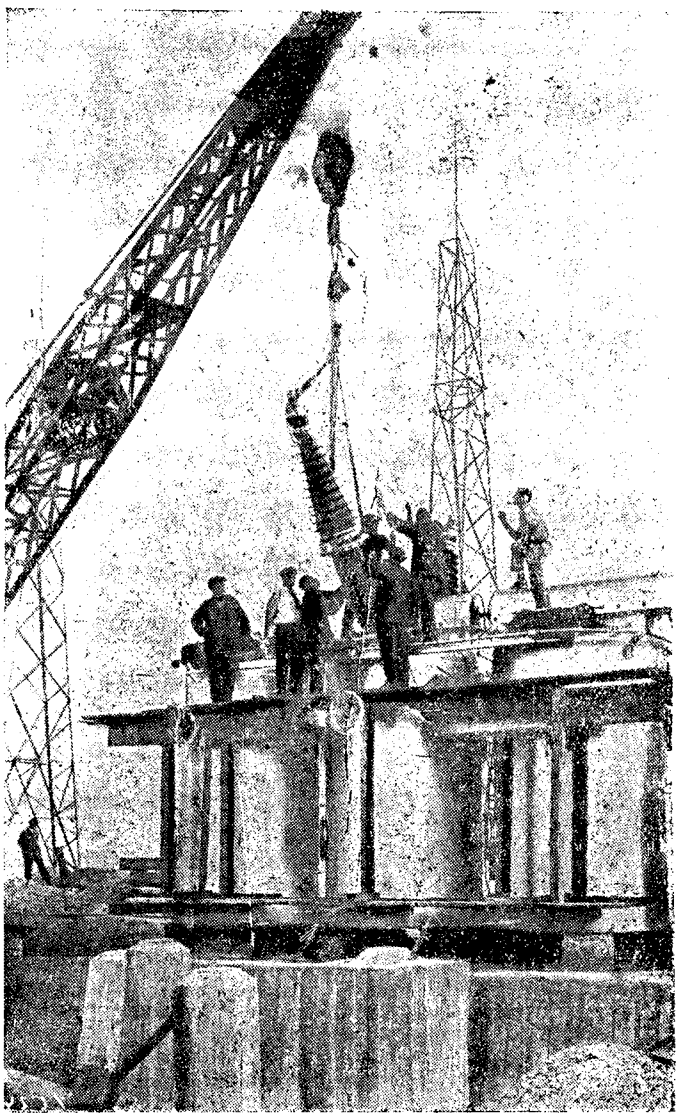


Рис. 15. Монтаж масляного выключателя 161 kV.

в сторону реки и пересекают оба ее протока, омывающие остров Хортицу, Старый и Новый Днепр. Пролет перехода через Старый Днепр 527 m, через Новый Днепр 900 m. Переход через Новый Днепр выполнен на поддерживающих двухцепных мачтах; высота мачты 74,5 m. Тяжение проводов и тросов перехода принимается специальными анкерными мачтами.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Переход через Старый Днепр осуществляется на анкерных опорах обычной конструкции, высота опор 31,1 m.

Переходы в Днепропетровске осуществляются на одноцепных поддерживающих мачтах высотою 52 m. Переход будет выполнен двумя пролетами с установкой промежуточной мачты на бычке в середине реки. Пролеты получаются порядка 600 m. Тяжение проводов и тросов принимается специальными анкерными опорами.

Ожидаемые режимы работы Дгэс

Наиболее существенными являются два крайних режима: режим половодья и режим маловодья. В половодье Дгэс может развивать полную мощность 558 MW, а в период маловодья (по среднему из маловодных годов) 180 MW. Так как основным потребителем Дгэс является Днепрокомбинат, требующий 255 MW (включая потребность Запорожья), то в периоды маловодья линии, работающие реверсивно, должны доставлять Днепрокомбинату 75 MW. Принимая во внимание потребность в мощности Никополя, снабжаемого по соответствующей линии от Дгэс, можно наибольшую потребную реверсивную мощность принять равной 100 MW. Эта мощность может быть доставлена либо по Днепропетровской линии, либо по Донбассовской, вследствие чего каждая из этих линий рассчитана на реверсивную подачу 100 MW.

В период половодья Днепрокомбинат будет потреблять дополнительно к своей постоянной мощности 125 MW. Таким образом суммарная потребная мощность Днепрокомбината в период половодья составит 380 MW. Вследствие этого Дгэс сможет в периоды половодья отпускать по отходящим от нее линиям 180 MW.

Распределение этой избыточной мощности между Донбассом, Днепропетровском и Никополем с Кривым Рогом будет зависеть от ряда обстоятельств, трудно учитываемых в настоящее время.

Так как Днепропетровск требует в пределе 100 MW, то линия Дгэс-Днепропетровск рассчитана на эту мощность. Линия на Донбасс рассчитана на подачу 150 MW. В направлении Никополя максимально будет передаваться 60 MW [1].

Что касается участка Западного кольца между Каменским и Днепропетровском, то он рассчитан на передачу от Каменской паровой станции в направлении Днепропетровска 200 MW, из них 100 MW для Днепрокомбината через Узловую подстанцию и главную подстанцию Дгэс.

Указанные режимы работы линий передачи системы Дгэс и были приняты во внимание при проектировании данной системы. Так как в различные периоды года Днепропетровское кольцо будет получать энергию через Узловую подстанцию либо от Каменской тепловой станции, либо от Дгэс, то наиболее целесообразным оказалось поддерживать постоянным напряжение на высоковольтных шинах Узловой подстанции. Для регулирования последнего на Узловой подстанции устанавливаются упомянутые 2 компенсатора по 30 MVA.

СТАВИМ НА ОБСУЖДЕНИЕ

Редакция обращается к научно-исследовательским институтам, энерговтузам, работникам электропромышленности и электрохозяйства с просьбой прислать свои конкретные замечания и предложения по вопросам стандартизации электротехнических обозначений. В особенности ценны будут результаты коллективной проработки этих вопросов (в научно-исследовательских институтах и других организациях).

Также важна и проработка вопросов унификации методов и обозначений основной системы показателей электроэнергетики и электровооруженности народного хозяйства, по которым просьба прислать свои предложения и замечания.

Эти вопросы имеют актуальное значение как для научно-исследовательской и педагогической работы, так и для целей непосредственного технического планирования и проектирования.

О стандартах электротехнических обозначений

В. Ф. Миткевич и П. А. Калантаров

Ленинград

В № 22 журнала „Электричество" за 1931 г. опубликованы проекты стандартов „Основные обозначения, относящиеся к электромагнитному полю" (*72*) и „Обозначения, относящиеся к области переменных электрических токов" (*73*), разработанные КЭС ВИМС, и проекты стандартов под теми же наименованиями, предлагаемые комиссией ВКС. Одновременно с этим помещено предложение высказаться по упомянутым проектам.

Приняв в свое время непосредственное участие в работе КЭС ВИМС по подготовке представленных им проектов стандартов № 72 и 73, мы считаем необходимым высказать следующие замечания:

1. Мы считаем необходимым подчеркнуть, что в работе комиссии ВКС по составлению представленных ею проектов стандартов мы никакого участия не принимали, и комиссия ВКС никаких попыток привлечения нас к этой работе не делала.

2. Комиссия ВКС не имела в своем распоряжении материалов, касающихся порядка расположения и выбора стандартизуемых величин, а также выбора терминов, принятых в проектах № *72* и № 73 КЭС ВИМС.

3. Проекты стандартов № *72* и 73, предложенных КЭС ВИМС, напечатаны в № 22 журнала „Электричество" с нижеследующими опечатками:

Напечатано:	Следует читать:
T — температура, считаемая от 0° R.	T — температура, считаемая от 0° K.
Когда символы T и t оказываются неудобными, температура, считаемая от 0° R,	Когда символы T и t оказываются неудобными, температура, считаемая от 0° K,
M_m — электрический момент.	M_e — электрический момент.
ρ_m — об'емная плотность электричества.	ρ_m — об'емная плотность магнетизма.
ρ_e — магнитная индукция.	ρ_e — об'емная плотность электричества.
E — э. д. с.	B — магнитная индукция.
	E — электродвижущая сила.
L — комплексное выражение полного сопротивления.	z — комплексное выражение полного сопротивления.
b_L — емкостная проводимость.	b_L — индуктивная проводимость.
b_C — реактивная проводимость.	b_C — емкостная проводимость.
P — кажущаяся мощность.	b — кажущаяся мощность.

4. В заголовках к проектам комиссии ВКС указано, что они приняты на основании проектов КЭС ВИМС. Мы считаем, что проекты комиссии ВКС, несмотря на заимствование ряда

[1] В связи с утверждением строительства Криворожского металлургического и Никопольского трубопрокатного заводов задание на линию передачи Дгэс-Никополь-Кривой Рог в настоящее время пересматривается Энергоцентром.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

терминов и обозначений из проектов КЭС ВИМС, резко отличаются от последних не только по своему внешнему виду, но и по своему содержанию, по идеям, положенным в основу составления их.

5. Соглашаясь с некоторыми мелкими поправками [„полный период колебания" и „частота колебаний" вместо „период" и „частота", „h квант действия (постоянная Планка)" вместо „h — постоянная Планка", „I — напряженность намагничивания" вместо „J — напряженность намагничения"], мы не можем согласиться с теми коренными изменениями проектов КЭС ВИМС, которые предложены комиссией ВКС.

6. Общие обозначения проекта стандарта № 72 составлены КЭС ВИМС так, чтобы все основные величины, необходимые электрикам—теоретикам и практикам, были сосредоточены в одном стандарте. Став на иной путь, т. е. отказываясь от повторения некоторых величин, предусмотренных другими стандартами, мы затруднили бы работу электриков и рисковали бы установить разнобой в обозначениях этих величин. Кроме того, во имя последовательности надлежало бы тогда изъять из стандарта по переменным токам ряд величин, включенных в него даже комиссией ВКС. Заметим, между прочим, что нас в высокой степени удивило отсутствие в проекте комиссии ВКС обозначения для энергии.

7. По части терминологии, за исключением указанных выше мелких поправок, мы остаемся при мнении, выраженном в проектах КЭС ВИМС, и можем согласиться лишь на изменение термина „диэлектрическая постоянная". Взамен этого термина мы предлагаем термин „диэлектрическая проницаемость"—термин, находящийся в полном соответствии с аналогичным термином „магнитная проницаемость". Мотивы, по которым предлагается термин „диэлектрический коэфициент", остались для нас неясными, так как слово „коэфициент" в другом месте проекта комиссии ВКС подверглось гонению (см. „индуктивность", а не „коэфициент самоиндукции").

В частности совершенно неприемлемыми с нашей точки зрения являются термины „магнитный заряд"—термин, насколько нам известно, никем, нигде и никогда не применявшийся; „магнитное напряжение"—термин, вводимый, повидимому, по аналогии с „электрическим напряжением"—термином, к сожалению, слишком глубоко внедрившимся, а по существу часто влекущим за собой не только излишнюю путаницу, но и неправильное физическое понимание; „кажущееся сопротивление"—в то время как z является далеко не „кажущимся", а весьма реально ощутимым фактором, который мы воспринимаем как действительное сопротивление; „полная мощность", в то время как EI при коэфициенте мощности, не равном единице, никакого физического, реального смысла не имеет.

Нельзя также пройти мимо предпочтения, оказываемого в проекте комиссии ВКС словам с иностранными корнями. Так например, „эффективный" и „коэфициет полезного действия" поставлены как основные термины, а „действующий" и „отдача" только как допустимые. Начав с предпочтения иностранных корней, нетрудно перейти к внедрению иностранных, не свойственных русскому языку окончаний, и тогда уже рекомендовать „импеданцы", „реактанцы", „амперaж", „омаж"—термины, к сожалению, еще применяемые в русской технической литературе.

8. Следующие обозначения, на наш взгляд, не могут быть допущены: $Э$—для обозначения напряженности электрического поля, ибо известно, что буква $Э$ встречается лишь в русском алфавите и возможно, что даже в нем скоро перестанет существовать; V—потенциал, так как, во-первых, недопустимо, чтобы разность потенциалов и потенциал обозначались разными символами, и, во-вторых, при измерении электрического потенциала в вольтах неприемлемо писать, например, $V = 1\,000$ V; Δ и δ для плотности тока применялись лишь в курсах, имеющих узкое практическое значение, и написание первой группы уравнений Максвелла в виде curl $H = 4\lambda\Delta$ или $4\lambda\delta$ наверно привело бы к недоразумениям; индекс c для средних значений не следует допускать, так как все обозначения и индексы не только должны быть буквами латинского и греческого алфавитов, но и не должны быть связываемы с русскими словами; P_r—для реактивной и P_z—для кажущейся мощностей поведут к недоразумениям и путанице, так как один индекс отвечает полному сопротивлению в соответствии с выражением $P_z = I^2z$, а символ P_r может быть понят как обозначение активной мощности I^2r; точно так же совершенно неприемлем индекс r для обозначения реактивных составляющих э. д. с. и силы тока, так как символ r принят для обозначения активного сопротивления. Странным является предложение применять для обозначения разности фаз э. д. с. и силы тока и напряжения и силы тока разные символы ψ и φ; однако, как из того, что обычное обозначение φ применено для разности фаз между напряжением и силой тока, а также из того, что „напряжение" в проекте стандарта комиссии ВКС поставлено впереди э. д. с., не представляет труда усмотреть, что комиссия ВКС проводит взгляды формально схоластической школы Эмде-Роговского, представители которой не уяснили еще, что напряжение является частью э. д. с. (в пределе—равной последней) и по своему существу ничем от э. д. с. не отличается.

9. Имея еще ряд существенных замечаний, мы остаемся при мнении, что основой для стандартов обозначений, относящихся к электромагнитному полю и к области переменных электрических токов, должны послужить проекты КЭС ВИМС, а не проекты комиссии ВКС.

За широкое общественное обсуждение стандартов обозначений

Ответ тт. В. С. Кулебакина и Я. Н. Шпильрейна

Проекты стандартов по принципиальным вопросам нельзя проводить кабинетно-анкетным порядком, минуя широкую советскую инженерно-техническую общественность.

Письмо тт. Миткевича и Калантарова показывает, как правы мы были, когда добивались предварительного напечатания проектов стандартов обозначений. Только общественное обсуждение принципиальных вопросов стандартизации дает возможность найти приемлемое и правильное для данного этапа решение.

В своем проекте Комиссия по стандартизации научно-технической терминологии и обозначений при Всесоюзном комитете по стандартизации стремилась об'единить существующие термины и обозначения, исключая явно неправильные и сохраняя в качестве допустимых даже такие распространенные термины, с которыми Комиссия не согласна, если только эти термины не являются вредными.

Так например, в Ленинграде весьма принято говорить вместо „кажущееся сопротивление" переменному току „полное сопротивление". Указание на то, что „это есть не кажущийся, а весьма реально ощутимый фактор", мы считаем неудовлетворительным. Действительно, этот множитель играет роль сопротивления, связывая, как в законе Ома, эффективные значения тока и напряжения (т. е. расчетные величины). Этот множитель, однако, перестает играть роль сопротивления, когда мы хотим вычислить потребляемую мощность. Кроме того, термин „полное сопротивление" часто приходится применять при рассмотрении сопротивления всей цепи.

Равным образом мы считаем неправильным называть эффективные значения действующими: „действует" и мгновенное значение и среднее значение. Непонятно, почему средняя квадратичная должна иметь монополию „действия".

Возражение о том, что следует избегать иностранных слов вроде „эффективный", тоже неубедительно. Это международно принятое слово не более иностранное, чем „электричество" или „момент".

Проект ВИМС предлагает стандартизовать выражения „полный ток" и „действующий", не считаясь с существованием других обозначений. Товарищи Миткевич и Калантаров идут даже столь далеко, что считают неприемлемым другое решение. Комиссия ВКС не сочла возможным итти столь далеко и все же предлагает допустить выражения „полное сопротивление" и „действующее значение" ввиду их распространенности преимущественно среди ленинградских инженеров, хотя Комиссия ВКС считает эти выражения неправильными.

Рассмотрим теперь отдельные замечания из письма тт. Миткевича и Калантарова.

Вопрос о повторении основных величин в специальных стандартах не будет решаться применительно только к электротехнике,—это вопрос общий. Заметим только, что все равно всех величин, интересующих электротехников, в один стандарт не уместить. В письме тт. Миткевича и Калантарова имеется символ „curl", который они заменили бы символом „rot", если бы поинтересовались стандартами векторных обозначений.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Авторы письма согласны, что предложенное ими выражение „диэлектрическая постоянная" не годится. Мы предложили уже применяемое в Союзе выражение „диэлектрический коэфициент". Термин „диэлектрическая проницаемость" лучше, но пока не применяется. Мы согласны ввести его, как параллельный термин.

Соглашаясь на из'ятие „магнитного заряда", мы не согласны с возражениями против „магнитного напряжения"—реальной величины, измеряемой, например, поясом Роговского.

Несомненно, слово „напряжение" весьма неудачное. Будем стремиться в свое время переименовать оба напряжения, электрическое и магнитное, а пока для ясного понимания электрических и магнитных явлений весьма ценно сохранить общее определение напряжения: „линейный интеграл напряженности как в электрическом поле, так и в магнитном поле".

„Полная мощность", как произведение эффективных значений тока и напряжения, равна максимальному значению мощности, рассматриваемой как функция коэфициента мощности. Это вполне реальная величина, поэтому мы считаем допустимым принять термин „полная мощность" параллельно основному термину „кажущаяся мощность".

Мы не видим, почему бы и за границей не воспользоваться символом *Э* для напряженности электрического поля, независимо от судьбы русского алфавита. Получится четкое разделение, и одной буквой будет больше.

Когда символ *V* неудобен, проект стандарта предлагает φ. Полезно различать потенциал и напряжение, ибо до сих пор многие не уяснили себе, что не всякое напряжение есть разность потенциалов.

Символ *J* для обозначения плотности тока не пригоден, особенно, когда приходится одновременно вычислять с мгновенными и эффективными значениями комплексной плотности тока.

Если применяемые во Франции буквы Δ и δ вызывают возражение, то следует указать другую букву, но не *j*.

Мотивировка предложения ввести греческие буквы ρ и α для обозначения реактивных и активных величин для нас неубедительна. Буквы *r* и *a* уже давно и успешно применяются и не только в Союзе.

Основные символы для внешнего и внутреннего сдвига фаз (φ и ψ) весьма приняты в электротехнике. Мы согласны, что при переменном токе, вообще говоря, электродвижущей силы не существует, а существует только наведенное напряжение, равное по закону индукции магнитному спаду (замкнутые электрические силовые линии), но на практике принято изображать вихревое поле электрических машин так, как если бы оно было потенциальным, и различать вихревые э. д. с. и напряжения.

В заключение считаем необходимым отметить следующее:

1. ВИМС прислал на рассмотрение нашей комиссии все материалы. Надо сожалеть, если некоторые материалы все же нам не были доставлены.

2. При окончательном решении комиссия ВКС обязательно пригласит тт. Миткевича и Калантарова—авторов первого проекта,—но это будет сделано после печатного обсуждения, чтобы избежать траты времени на лишнюю поездку из Ленинграда.

3. Мы не настаиваем на том, чтобы был опубликован проект, основанный на проекте ВИМС, раз авторы против этого протестуют.

4. Принадлежность к школе Эмде-Роговского делает честь любому электротехнику. Работы этой школы и всего AEF (Ausschuss für Einheiten und Formelgrössen) германского общества электротехников отнюдь не схоластичны, наоборот, эта школа имеет большие заслуги по внесению ясности в основные понятия электротехники и в частности в борьбе с полумистическим овеществлением силовых линий. В этом отношении весьма поучительной является дискуссия, проведенная Роговским и Бенишке на страницах „Archiv für Elektrotechnik" (1916 г.), когда спор шел о возможности существования замкнутых электрических силовых линий. В Германии этот вопрос можно считать выясненным, у нас еще об этом спорят. Желательно этот принципиальный вопрос подвергнуть специальному обсуждению на страницах журнала „Электричество". К сожалению, кроме авторов проекта КЭС, никто не прислал своих соображений по поводу проекта стандарта. Мы обращаемся поэтому еще раз к читателям журнала „Электричество" с просьбой принять участие в этом важном деле.

Мы согласны с тт. Миткевичем и Калантаровым, что недопустимо употреблять выражение „вольтаж", „амперaж", „омаж" и т. п., но этим не исчерпывается перечень неудачных терминов в электротехнике. Неудачно название „постоянный ток" (лучше „прямой ток"), плохо говорить „сила тока" (лучше „ток"), неудачно слово „напряжение" и т. д. С другой стороны, выражения „импеданц", „реактанц", несмотря на их неблагозвучие, чрезвычайно распространены в нашей литературе. Замена этих выражений гораздо труднее, чем из'ятие скверных выражений „вольтаж", „амперaж", „листаж". Дело не в окончании (см. арбитраж, пассаж и т. д.), а в том, что не следует физическую величину именовать по названию ее единицы измерения.

Желательно, чтобы читатели внесли свои предложения относительно исправления электротехнического языка.

Обсуждайте тематический план электротехнических изданий!

От научно-технического совета электропромышленности.

Быстрые темпы социалистической реконструкции нашего народного хозяйства вызывают небывалый, все возрастающий спрос на высококачественную техническую книгу и выдвигают необходимость четкого планирования в деле издания советской технической литературы.

Сейчас начата серьезная и сложная работа по проработке тематического плана электротехнических изданий на 1933 г.

Вести проработку этого плана в кабинетах издательства—это значит заранее обречь его на диспропорцию с интересами промышленности, с интересами электрификации всего народного хозяйства.

Реальным, практически необходимым этот план станет лишь тогда, когда будет продиктован устами самих потребителей, широких масс рабочих и инженерно-технических работников электрохозяйства Союза.

Приводимый ниже перечень тем, выдвинутых Научно-техническим советом электропромышленности, должен быть проработан всей рабочей и технической общественностью, его необходимо конкретизировать, максимально дополнить, указать желательные об'емы, программы и метод изложения перечисленных тем. Необходимо, и это одно из основных условий выполнения плана, рекомендовать авторов для исполнения этих тем.

Лишь совокупность этих мероприятий обеспечит реальность и высокое качество плана 1933 г. соответственно задачам социалистического электрохозяйства и потребностям подготовки и повышения квалификации его кадров.

Перечень тем, выдвигаемых к встречному плану Энергоиздата на 1933 г.

По разделу „Общий курс"

а) Переиздать книгу проф. Круга „Основы электротехники" I и II томы.

б) Издать задачники по электротехнике.

в) Выпустить историю электротехники.

По разделу „Электрические машины".

а) Расчеты и конструкции турбогенераторов.

б) Подробное руководство по монтажу турбогенераторов.

в) Расчеты и конструкции гидрогенераторов.

[1] См. рецензию т. З. Цейтлина на книгу проф. Круга „Основы электротехники", „Электричество" № 10. *Ред.*

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

г) Расчеты и конструкции трехфазных генераторов для дизелей.
д) Синхронные конденсаторы и компенсирующие устройства.
е) Изоляция машин.
ж) Расчет, конструкция и производство ртутных выпрямителей.
з) Расчет, конструкция и производство потенциал-регуляторов.
и) Электрические тяговые двигатели.
к) Машины для вспомогательного тягового электрооборудования.
л) Тяговая аппаратура.
м) Расчет основных параметров электрооборудования для электровозов и тепловозов.
н) Методы расчета деталей механической части электровозов и вагонов с учетом динамического воздействия на них при движении.
о) Трамвайные подстанции с ртутными выпрямителями.
п) Преобразователи тока тяговых подстанций больших мощностей.

Признать желательным выпустить вторым изданием распроданное первое издание книги инж. Захарченко, „Электрическая тяга".

По разделу „Передача электрической энергии"

а) Расчет (электрический и механический) и конструкция линий передач.
б) Параллельная работа и ее устойчивость.
в) Диспетчерская служба на линиях передачи.
г) Методы защиты линий передачи от токов короткого замыкания и заземлений.
д) Перенапряжение и защита от него.
е) Техника высоких напряжений и учение об электрическом поле.
ж) Изоляторы линий передачи.
з) Государственные магистрали, управление ими и методы сочетания отдельных их звеньев. Диспетчерская служба.
и) Заземление линий передач.
к) Постановка исследовательских и испытательных работ по линиям передачи.
л) Учет работы линий передачи и статистики.
м) Монтаж кабельных и воздушных линий.

По разделу „Электротехнические материалы и аппараты"

а) Электротехнические материалы.
б) Электротехнический фарфор.
в) Лаки, смолы и компаунды и их применение в электротехнике.
г) Дерево как электротехнический материал.
д) Бумага как электротехнический материал.
е) Изоляционные масла.
ж) Электротехническая аппаратура высокого напряжения.
з) Пускорегулирующая аппаратура.
и) Силовые выключатели.
к) Реле.
л) Защита электрических установок посредством реле.
м) Современные испытательные устройства, методы испытаний и нормы их.
н) Проектирование новых электромашиностроительных и аппаратостроительных заводов (с экономическим и техническим обоснованием).
о) Тяговая аппаратура.
п) Промышленная аппаратура.
р) Автоматические установки и их аппаратура.
с) Измерительные трансформаторы.
т) Реакторы и предохранители.
ф) Аппаратура управления генераторами.

По разделу „Применение электрической энергии"

а) Методика и техника промышленных испытаний:
1) электродвигателя как привода произведенной мощности, влияющего на режим работы машины;
2) электродвигателя как элемента общего электрооборудования и потребителя энергии;
3) как метода наблюдения за состоянием всех элементов электрического оборудования.
б) Обзор современных электродвигателей (синхронного, асинхронного, коллекторного, постоянного тока и т. д.), формы их исполнения соответственно области применения, виды соединения с производственными машинами и общие основные указания по их выбору.
в) Регулирование числа оборотов электродвигателей.
г) Синхронные электродвигатели.
д) Преобразователи, их виды, типы, свойства и область применения.
е) Применение электричества и виды электрического привода в разных отраслях промышленности: металлургической, металлообрабатывающей, химической, бумажной, каменноугольной и других.
ж) Электричество в химии.
з) Защита электродвитателей.
и) Вопросы улучшения cos φ: методы расчета, выбор системы и способы улучшения.
к) Система питательных и распределительных фабрично-заводских кабельных сетей и способы их защиты.
л) Вопросы зануления и заземления в низковольтных цепях.
м) Общее руководство и инструкция по монтажу кабельных линий, электродвигателей, трансформаторов, распределительных устройств и т. д.
н) Монтажный справочник для пользования в процессе работы.
о) Ремонт электрических машин (электроремонтные мастерские).

По разделу „Экономика энергетического хозяйства"

а) Технико-экономический обзор электропромышленности САСШ.
б) То же Германии.
в) Популярно-научные брошюры с фактическим и статистическим материалом об электропромышленности и электрификации, о выполнении плана пятилетки и т. д.
г) Монография об отдельных заводах электропромышленности.
д) Основные параметры электрических механизмов для обоснования проектирования новых заводов электропромышленности.
е) Электрификация промышленности по отдельным отраслям

По разделу „Кабельное дело"

а) Физические процессы производства высоковольтных кабелей.
б) Расчет тепловых процессов в силовых кабелях.
в) Электрический расчет высоковольтных кабелей.
г) Обработка проводниковых металлов в кабельном деле.
д) Электрические измерения в кабельной практике.
е) Кабельная гарнитура, расчет и монтаж.
ж) Прокладка кабельных линий и основы ее эксплоатации.
з) Голые провода для высоковольтных линий, их производство, монтаж и эксплоатация.
и) Телефонный кабель, его производство и монтаж.
к) Резиновая изоляция проводов и кабелей, ее производство, характеристики и области применения.
л) Производство обмоточных проводов.
м) Общий курс высоковольтных кабелей.
н) Общий курс телефонных кабелей (теория и производство).

2) Обеспечить перевод книг по изолирующим материалам, напр.: Stager „Elektrotechnische Isoliermaterialen".

3) Считать целесообразным выпуск сборника авторизованных переводных статей и оригинальных статей по отдельным вопросам кабельного дела, как-то: „Силовые кабели с бумажной пропитанной изоляцией, их производство и методы прокладки", „Материалы кабельного производства".

4) Популярные и узко специальные брошюры по кабельному делу на темы общего, производственного и информационного характера (реконструкция отдельных заводов, постройка новых и т. д.).

По разделу „Электросварка"

а) Автоматы и полуавтоматы для дуговой сварки.
б) Машины для сварки сопротивлением.
в) Новейшие достижения в области электросварки.
г) Основые проектирования электросварочных цехов.
д) Курс дуговой сварки.
е) Машины, аппараты и автоматы для электросварки (для электротехнических втузов и техникумов).
ж) Применение электросварки в промышленности.
з) Популярная рабочая литература по электросварке.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

По разделу „Массовая литература"

а) Первая серия „Массовой литературы" в иллюстрированном издании должна охватывать все основные типы электрических машин и аппаратов (напр., что такое турбогенератор и его назначение), комплектные электрические устройства (напр., что такое паровая электрическая станция и ее назначение, что такое метрополитен).

В этой серии должны быть даны физические понятия и основы электротехники.

б) Вторая серия массовых книжек должна быть повествовательно-описательного характера с иллюстрациями. Книжки должны быть связаны с определенным об'ектом, напр. „Днепровская электростанция" или „Паровая станция на нефти, на торфу" и т. д.

Эта серия должна охватить закрытые и открытые подстанции и основные типы промышленных предприятий, домны, шахты, металлургические, металлообрабатывающие, сахарные и прочие заводы и фабрики под углом зрения применения в них электрической энергии.

в) Третья серия предназначается для квалифицированного рабочего и должна охватить основные классы машин и аппаратуры с указанием подразделения по мощностям и напряжениям.

Здесь должны быть даны инструкции по монтажу, ремонту и эксплоатации.

г) Четвертая серия книжек охватывает отраслевой цикл вопросов, напр.: что должен знать об электрических машинах и аппаратах управления и о применении электричества в шахтах шахтер, текстильщик и т. д.

д) Пятая серия должна охватить справочники для монтажных рабочих-электротехников, работающих по эксплоатации, электромонтеров в шахтах, заводах и фабриках.

е) Шестая серия должна быть посвящена популяризации правил и норм электрических машин, а также правил эксплоатации напр., в условиях газовых шахт и пр.

ж) Серия книжек, популяризующих применение электричества в домашнем быту.

з) Серия книг по применению электричества в сельском хозяйстве.

и) Производственные инструкции по отдельным производствам электрических машин и аппаратов.

По разделу „Электрические станции"

а) Общий сжатый курс электрических станций.
б) Проекты типовых станций.
в) Автоматические электрические станции.
г) Теплоцентрали.
д) Отдельные издания по электрическим станциям: тепловые дизельные, паровые, гидравлические и др.

По разделу „Электрические печи"

1) а) Общий курс промышленных электропечей.
б) Расчет и конструкции нагревательных электропечей.
в) „ „ „ индукционных „
г) „ „ „ дуговых „
д) Электрические печи для ферросплавов и карбида кальция
е) Проектирование и монтаж электропечных установок.
ж) Рудные процессы в электропечах.
з) Электрооборудование электропечей.
2) Рекомендуемая переводная литература по электропечам
а) Сборник новейших статей по высокочастотным печам
б) „ „ „ „ электропечам Союза германских металлургов.
в) Промышленный электронагрев Стенселя.
г) Производство карбида кальция Таусcига.
д) Практика фасонного литья в электросталелитейных, Керпели.
е) Электротермия Пиррани.
ж) Термообработка стали в электропечах ДЖИИ.

Отзывы по рекомендуемым Научно-техническим советом электропромышленности темам, а также все соображения о дополнениях и изменениях, списки рекомендуемых авторов присылать по адресу: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик 749, Редбаза ВЭО.

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА

Методы защиты контактной сети электрических железных дорог постоянного тока от токов короткого замыкания

Н. Ф. Сергеев
Ленинград

I. Однопутные линии

Защита контактной сети участков с односторонним питанием не представляет каких-либо трудностей, так как последние обычно имеют небольшое протяжение. Для этой цели необходимо лишь подобрать соответствующую установку быстродействующего выключателя (значение тока, при котором выключается последний), находящегося на фидере подстанции, по величинам тока короткого замыкания при коротком на конце участка и расчетной нагрузке фидера. Несколько сложнее обстоит дело при двухстороннем питании участка.

В самом деле, пусть имеется участок, питаемый с двух сторон, сечение которого q mm². Тогда, в случае короткого вблизи одной из подстанций, быстродействующий выключатель на отходящем фидере выключится, так как ток короткого замыкания для него будет иметь большую величину. Для фидерного быстродействующего выключателя удаленной подстанции, особенно при большом расстоянии между последними, ток короткого замыкания может быть очень мал, и этот автомат не выключится, оставив тем самым участок под продолжительным действием этого тока.

Для устранения такого явления существуют два метода.

Первый метод. Он заключается в подборе такого сечения контактного провода, чтобы значение тока короткого замыкания $I_к$, при котором должен выключиться фидерный быстродействующий автомат, было больше расчетной нагрузки фидера $I_{расч}$, т. е. практически необходимо выдержать соотношение

$$I_к \geqslant \alpha I_{расч}, \qquad (1)$$

где $\alpha = 1{,}05 \div 1{,}10$ — коэфициент, учитывающий точность градуировки шкалы быстродействующего выключателя.

Значение тока $I_к$ определим из рассмотрения внешней характеристики подстанции (рис. 1), считая ее прямолинейной в области интересующих нас нагрузок.

Имеем:

$$E_н = E_к + (E_н - E_к) = I_к R + (E_н - E_к). \qquad (2)$$

Из подобия треугольников $aa'b$ и $a'c'b'$

$$E_н - E_к = \frac{I_к - I_н}{I_н}(E_o - E_н) = \frac{I_к - I_н}{I_н} E_н \frac{k}{100}. \qquad (3)$$

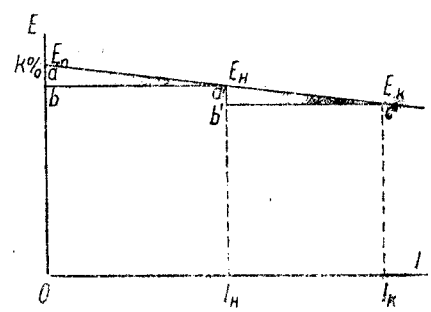


Рис. 1

Подставляя полученное значение $(E_н - E_к)$ из уравнения (3) в уравнение (2), получаем:

$$E_н = I_к R + \frac{I_к - I_н}{I_н} E_н \frac{k}{100}. \qquad (4)$$

Преобразовывая, будем иметь:

$$E_н = I_к R + \frac{I_к}{I_н} E_н \frac{k}{100} - E_н \frac{k}{100};$$

$$E_н\left(1 + \frac{k}{100}\right) = I_к\left(R + \frac{E_н}{I_н}\frac{k}{100}\right).$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

$$I_к = \frac{I_н E_н \left(1+\frac{k}{100}\right)}{I_н R + E_н \frac{k}{100}} = \frac{P_н \left(1+\frac{k}{100}\right) 10^3}{I_н R + E_н \frac{k}{100}}, \qquad (5)$$

где $I_н$ — рабочая нагрузка подстанций (A);
$E_н$ — напряжение, измеренное на шинах подстанции при рабочей нагрузке ее, (V);
$P_н$ — рабочая мощность подстанции (kW);
R — внешнее сопротивление, на которое замыкается подстанция, (Ω);
k — коэфициент, учитывающий повышение напряжения при переходе от рабочей нагрузки к холостому ходу, в процентах по отношению к напряжению при рабочей нагрузке.

Так как в последнее время в качестве преобразователей для электрических железных дорог постоянного тока применяются ртутные выпрямители, то для подстанций, оборудованных последними, коэфициент k может быть взят равным $8 \div 9\%$ (без учета скачка напряжения, обусловленного наличием отсасывающей катушки Кюблера).

Зная величину тока короткого замыкания $I_к$, определим сечение контактного провода, необходимое для соблюдения условия, выраженного уравнением (1).

Сопротивление, на которое замыкается подстанция, равно:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4, \qquad (6)$$

где R_1 — сопротивление контактного провода на участке от места короткого до подстанции;
R_2 — сопротивление рельсового пути на том же участке;
R_3 — сопротивление питательного фидера;
R_4 — сопротивление обратного (отсасывающего) фидера.

Для упрощения окончательного выражения, определяющего сечение контактного провода, пренебрежем сопротивлением питательного и обратного фильтров, величина сопротивления которых незначительна по сравнению с сопротивлением контактной и рельсовой сети. Это допущение мы вправе сделать, так как в большинстве случаев тяговые подстанции находятся вблизи линии, и длина фидеров незначительна. Поэтому

$$R = R_1 + R_2 = \frac{\rho L}{q} + r_p L, \qquad (7)$$

где ρ — сопротивление 1 km медного контактного провода сечением 1 mm² $\left(\rho = 17{,}84 \frac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{km}}\right)$;
q — сечение контактного провода (mm²);
L — длина участка от места короткого до подстанции (km);
r_p — сопротивление 1 km рельсового пути (двух параллельно соединенных ниток) (Ω/km).

Подставляя в уравнение (5) значение R из уравнения (7), получим:

$$I_к \geqslant \alpha I_{расч} = \frac{P_н \left(1+\frac{k}{100}\right)}{I_н \left(\frac{\rho L}{q} + r_p L\right) + E_н \frac{k}{100}} = \frac{P_н \left(1+\frac{k}{100}\right)}{I_н \frac{\rho L}{q} + I_н r_p L + E_н \frac{k}{100}}.$$

Преобразовываем:

$$\alpha I_{расч} \left(I_н \frac{\rho L}{q} + I_н r_p L + E_н \frac{k}{100}\right) = P_н \left(1+\frac{k}{100}\right),$$

откуда окончательно получаем выражение для q из уравнения:

$$\frac{\rho L}{q} = \frac{17{,}84\, L}{q} \leqslant \frac{P_н \left(1+\frac{k}{100}\right) - I_н r_p L \alpha I_{расч} - E_н \frac{k}{100} \alpha I_{расч}}{\alpha I_{расч} I_н};$$

$$q \geqslant \frac{17{,}84}{\frac{E_н \left(1+\frac{k}{100}\right)}{\alpha I_{расч} L} - \frac{E_н k}{100 I_н L} - r_p}. \qquad (8)$$

Значение $I_н$ можно представить несколько иначе, а именно:

$$I_н = n I_{ном},$$

где n — число параллельно работающих на подстанции агрегатов,
$I_{ном}$ — номинальная рабочая мощность одного агрегата.

Недостаток этого метода защиты заключается в том, что на время аварии выходит из строя весь участок между подстанциями.

Второй метод. Он предусматривает устройство между подстанциями поста секционирования. Последний желательно располагать поблизости от железнодорожных станций, если таковые имеются на протяжении участка, чтобы облегчить его обслуживание.

Пост секционирования состоит из двух быстродействующих выключателей C_1 и C_2, включенных в рассечку контактных проводов и связанных цепью управления с подстанциями. Быстродействующие выключатели при нормальной работе перегона замкнуты и выключаются лишь под действием токов короткого замыкания. Автоматы C_1 и C_2 поляризованы и обладают направленным действием, т. е. автомат C_1 выключается под действием тока одного направления, а автомат C_2—другого

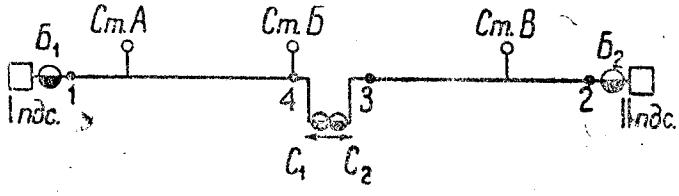


Рис. 2

Предположим, что короткое произошло вблизи I подстанции (точка *1*). Фидерный быстродействующий выключатель $Б_1$ под действием тока, имеющего очень большую величину, выключится. Фидерный быстродействующий выключатель $Б_2$ удаленной подстанции должен быть так отрегулирован, чтобы он не выключился, а выключился бы секционный быстродействующий выключатель C_1. Тем самым должен лишиться питания участок между I подстанцией и постом секционирования. Такое селективное действие быстродействующих автоматов осуществляется за счет увеличения выдержки времени фидерных автоматов $Б_1$ и $Б_2$ по сравнению с секционными C_1 и C_2.

При коротком вблизи поста секционирования (точка *4*) картина распределения токов останется той же самой, изменится лишь величина их: ток, проходящий через выключатель $Б_1$, уменьшится, а ток, проходящий через выключатели $Б_2$ и C_1, увеличится. Установку фидерных быстродействующих выключателей необходимо выбрать по данным токов короткого замыкания и рабочей нагрузке фидеров. Установка же секционных быстродействующих выключателей выбирается по токам, протекающим через последние при коротком вблизи одной из подстанций и по рабочим токам, потребляемым на перегоне; тогда при коротком посреди участка они безусловно выключатся. При коротком в точках *2* и *3*, когда ток короткого замыкания, проходящий через пост секционирования, имеет другое направление, выключается быстродействующий автомат C_2.

Преимущество этого метода защиты по сравнению с предыдущим состоит в том, что на время аварии выходит из строя лишь половина участка между подстанциями.

Стремясь уменьшить длину участка линии, выходящего из строя при авариях, можно увеличить число постов секционирования до двух, трех и более (при большом перегоне и наличии около постов секционирования железнодорожных станций, между которыми может поддерживаться движение).

На каждом из постов устанавливается по два быстродействующих выключателя.

Рассмотрим работу участка с двумя постами секционирования (рис. 3).

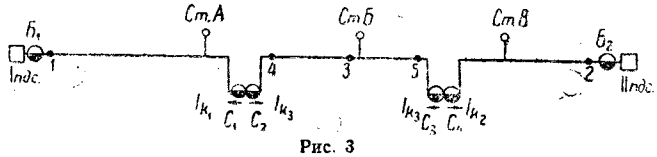


Рис. 3

Желая достигнуть выключения только тех секционных быстродействующих выключателей, которые отделяют поврежденный участок от остальной линии, секционные быстродействующие выключатели должны быть поляризованными. Для этого при коротком вблизи I подстанции (точка *1*) после выключения фидерного быстродействующего выключателя $Б_1$ должен выключиться секционный быстродействующий выключатель C_1 под действием тока $I_к$, притекающего к месту короткого от II подстанции и имеющего направление, указанное стрелкой на рис. 3.

При коротком вблизи II подстанции (точка *2*) после выключения фидерного выключателя $Б_2$ должен выключаться секционный выключатель C_4 под действием тока $I_{к2} = I_{к1}$, при-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

текающего к месту короткого от I подстанции и имеющего направление, обратное направлению тока $I_{к1}$ (рис. 3).

Потребность в двух быстродействующих выключателях на каждом посту наглядно выявляется из рассмотрения короткого в точке *3*, посреди участка между постами секционирования. В самом деле, к месту короткого (условимся, что оно лежит точно в середине участка между подстанциями) притекают от I и II подстанций через быстродействующие выключатели постов секционирования токи $I_{к3}$ по каждой ветви. Секционные выключатели C_1 и C_4, действующие от тока, направленного обратно току $I_{к3}$ (рис. 3), не выключатся, следовательно, должны выключиться секционные автоматы C_2 и C_3. Направление тока, при котором выключаются эти последние, показано на рис. 3. Фидерные быстродействующие выключатели, обладающие большей по сравнению с секционными выдержкой времени, не выключаются.

Таким образом мы видим, что во всех разобранных нами случаях короткого выбывает из строя один лишь поврежденный участок.

Установка секционных выключателей (значение силы тока), при которой они выключаются, может быть выбрана по токам $I_{к1}$ и $I_{к3}$ и по рабочим токам, потребляемым на перегоне.

При коротком в точках *4* и *5*, около постов секционирования, секционные выключатели C_2 и C_3 также отключаются, так как они установлены на силу тока, приблизительно равную $I_{к3}$ (с поправкой, учитывающей рабочие токи, потребляемые на перегоне) и меньшую, чем токи $I_{к4}$ или $I_{к5}$.

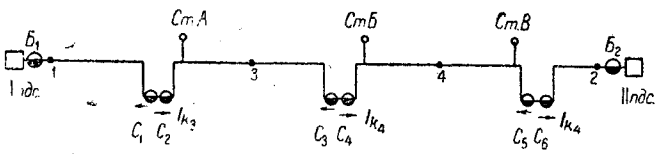


Рис. 4

Применяя вышеизложенный метод, можно осуществить защиту линии тремя и более постами секционирования. Вся разница по сравнению с предыдущим будет заключаться лишь в меньшем расхождении установок отдельных быстродействующих выключателей.

Нужно отметить, что принцип так называемой ступенчатой защиты, т. е. уменьшения установок отдельных быстродействующих выключателей по мере удаления их от подстанции, будет в этом случае соблюден.

Например, при трех постах секционирования (рис. 4), через быстродействующий выключатель C_2 при коротком в точке *3* пройдет ток силою $I_{к3}$, через выключатель C_4 при коротком в точке *4* пройдет ток силою $I_{к4} < I_{к3}$, и через выключатель C_6 при коротком в точке *2* пройдет ток силою $I_{к2} < I_{к4}$.

То же самое имеем для быстродействующих выключателей C_5, C_3 и C_1, но только ток имеет обратное направление. Конечно, можно осуществить вышеизложенные схемы защиты, применяя на постах секционирования по одному быстродействующему выключателю, но тогда его конструкция усложнится по сравнению с обычными, стандартными конструкциями последних, так как он должен действовать независимо от направления тока.

II. Двупутные линии

При рассмотрении схем защиты двупутных линий прежде всего приходится столкнуться с тем обстоятельством, что контактные провода, подвешенные над каждым из смежных путей, обычно соединяются параллельно, чтобы уменьшить падение напряжения до токоприемника поезда. Защита участков с односторонним питанием не представляет каких-либо трудностей и осуществляется за счет соответствующих установок фидерных быстродействующих автоматов на подстанции. Защита же участков с двусторонним питанием видоизменяется в зависимости от раздельной или совместной работы контактных проводов смежных путей.

Так же, как и для однопутных линий, одним из методов защиты является подбор сечения контактной сети с таким расчетом, чтобы значение тока короткого замыкания подчинялось соотношению:

$$I_к \geqslant \alpha I_{расч}.$$

Недостаток такой защиты был отмечен выше.

Остальные методы защиты требуют наличия постов секционирования. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Первый метод. Этот метод предполагает почти раздельную работу контактных проводов, подвешенных над обоими путями, так как на участке между подстанциями имеется только одно поперечное соединение на посту секционирования. Последнее обстоятельство не дает нам права считать контактные провода смежных путей, параллельно включенных по всему участку.

Схема защиты имеет вид, приведенный на рис. 5.

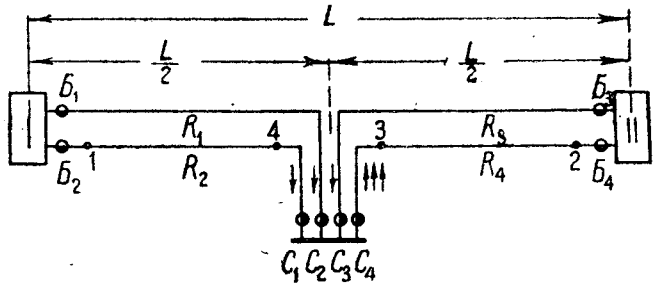


Рис. 5

Посреди участка между подстанциями расположен пост секционирования, состоящий из четырех быстродействующих выключателей C_1, C_2, C_3 и C_4, через которые контактные провода от каждого из путей замыкаются на общие шины.

Прежде чем перейти к рассмотрению принципа действия этой схемы, условимся, что а) пост секционирования расположен точно посреди участка между подстанциями; б) напряжение на шинах подстанций одинаково; в) сопротивление питательных и обратных фидеров мало по сравнению с сопротивлением контактной и рельсовой сети, и им можно поэтому пренебречь.

Рассмотрим следующие случаи.

Короткие вблизи подстанции. Пусть короткое замыкание произошло вблизи II подстанции (точка *2*). Схема, эквивалентная приведенной на рис. 5, имеет вид, представленный на рис. 6.

При коротком прежде всего выключится фидерный быстродействующий выключатель $Б_4$, так как короткое для него будет носить продолжительный характер, а сила тока иметь большую величину. Фидерные быстродействующие выключатели $Б_1$ и $Б_2$ I подстанции и секционные выключатели C_1 и C_2, через каждый из которых пройдет ток силою $\frac{I}{2}$, а также фидерный автомат $Б_3$ II подстанции и секционный автомат C_3, через которые пройдет ток величиною I_1, должны быть так отрегулированы, чтобы под действием этих токов они не выключались. Должен выключиться лишь секционный выключатель C_4, через который к месту короткого пройдет суммарный

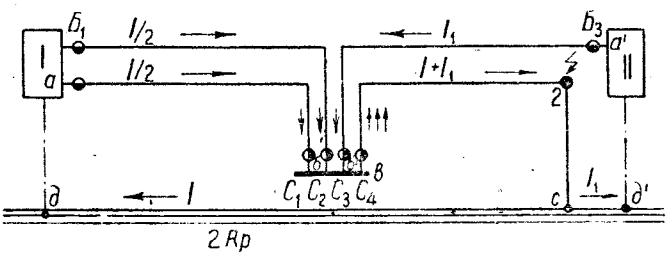


Рис. 6

ток силою $I + I_1$. А так как фидерный автомат $Б_4$ тоже отключен, то поврежденный участок тем самым лишен питания и отделен от исправных участков, движение по которым поддерживается нормальным порядком.

Величина токов I и I_1 определяется по второму закону Кирхгофа в замкнутых контурах *а б в 2 с д а* и *а¹ б¹ в 2 с д¹ а*:

$$E_н = I\left(\frac{1}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}} + R_p\right) + (I_1 + I)\,R_4, \qquad (9)$$

$$E_н = I_1 R_3 + (I + I_1)\,R_4, \qquad (10)$$

где R_1, R_2, R_3 и R_4 — сопротивления контактного провода, подвешенного над каждым путем на участке длиною $\frac{L}{2}$, R_p — сопротивление рельсового пути на участке длиною $\frac{L}{2}$.

Так как пост секционирования находится посредине между подстанциями, то сопротивления отдельных ветвей контактного провода равны между собою, т. е.

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R.$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Тогда, подставляя R в уравнения (9) и (10), получаем:

$$E_н = I\left(\frac{R}{2} + 2R_p\right) + (I + I_1)R,$$

$$E_н = I_1 R + (I + I_1)R.$$

Решая последние уравнения, находим:

$$I = \frac{1}{2(R + R_p)}, \qquad (11)$$

$$I_1 = \frac{E_н(R + 2R_p)}{4R(R + R_p)}. \qquad (12)$$

Короткое у поста секционирования. Эквивалентная схема для этого случая приведена на рис. 7. Из этой схемы видно, что распределение токов по ветвям имеет тот

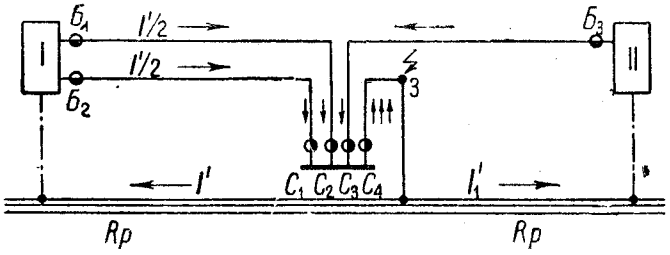


Рис. 7

же характер, что и в предыдущем случае короткого в точке 2; изменились лишь величины токов, которые в данном случае равны:

$$I' = \frac{E_н}{\frac{R}{2} + R_p}, \qquad (13)$$

$$I_1' = \frac{E_н}{R + R_p}. \qquad (14)$$

Локализация поврежденного участка производится тем же самым способом, т. е. выключением фидерного автомата $Б_4$ и секционного C_4.

При коротком в левой ветви (точки 1 и 4) локализация поврежденного участка будет осуществляться автоматами $Б_2$ и C_1. Таким образом пост секционирования защищает линию от коротких замыканий в обеих сторонах участка. Установка фидерных и секционных быстродействующих выключателей выбирается по значениям токов короткого замыкания, рабочим нагрузкам фидеров и рабочим токам, потребляемым на перегоне, с тем чтобы выбранные установки выключателей не оказались меньше последних, следствием чего может явиться выключение автоматов при вполне исправной линии.

Увеличивая число постов секционирования на участке между подстанциями, можно устранить основной недостаток вышеприведенной схемы с одним постом, а именно невозможность считать питание путей параллельным на всем протяжении между подстанциями.

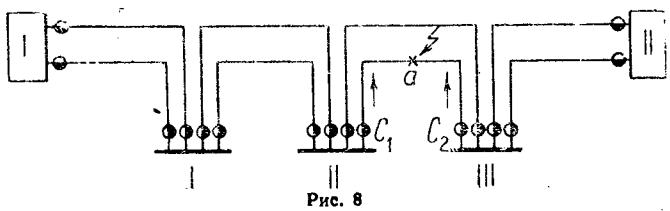


Рис. 8

Защита поврежденных участков производится двумя быстродействующими выключателями смежных постов. При коротком в точке a (рис. 8) выпадают быстродействующие выключатели C_1 и C_2 на постах II и III, и тем самым неисправный участок отсоединяется от остальной сети.

Впервые посты секционирования с быстродействующими выключателями были применены на Illinois Central Railroad.

Второй метод. Схема по второму методу предусматривает параллельную работу смежных путей. Посреди участка между подстанциями расположен пост секционирования с двумя быстродействующими выключателями C_1 и C_2, назначением которых является двухсторонняя защита от коротких замыканий на линии. Кроме того, на промежуточных железнодорожных станциях и блок-постах установлены поперечные раз'единители I—VIII (рис. 9), соединяющие контактные провода смежных путей в параллель. Раз'единители могут быть как с дистанционным, так и с ручным управлением.

Фидерные быстродействующие выключатели при этой схеме обязательно должны обладать большей выдержкой времени, чем секционные выключатели.

Короткое вблизи подстанции. При коротком у подстанции предположим, в точке 1 выпадают фидерные быстродействующие выключатели $Б_1$ и $Б_2$ I подстанции, через которые пройдет ток большой величины, так как сопротивление питательных и обратных фидеров незначительно.

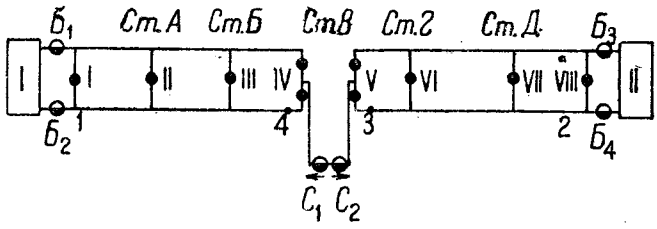


Рис. 9

От II подстанции к месту короткого, если пренебречь сопротивлением питательных и обратных фидеров, потечет ток силою

$$I_к = \frac{E_н}{R + R_p}, \qquad (15)$$

где $E_н$ — напряжение на шинах подстанции,
R — сопротивление контактной сети на участке между подстанциями,
R_p — сопротивление рельсовой сети на том же участке.

Фидерные быстродействующие выключатели $Б_3$ и $Б_4$, обладающие большей выдержкой времени по сравнению с секционными, не выключатся. Выключится лишь секционный автомат C_1, реагирующий на ток, направленный от II подстанции, отключая тем самым весь поврежденный участок между секционным постом и I подстанцией.

Дежурный монтер на I подстанции, воздействуя на реле, управляющие поперечными раз'единителями I—IV (в случае дистанционного управления ими), производит выключение последних, либо сообщает на промежуточные станции о необходимости произвести выключение этих раз'единителей (в случае ручного управления). Контактные провода смежных путей раз'единяются тем самым между собою и исправный путь отделяется от неисправного. После этого повторным включением фидерных автоматов $Б_1$ и $Б_2$ можно установить, на каком именно пути произошло повреждение.

Короткое у поста секционирования (точка 4). Короткое носит тот же характер, что и только что разобранное, меняются лишь силы токов. Защита осуществляется выключением того же быстродействующего выключателя C_1.

При коротком в точках 2 и 3 защита осуществляется быстродействующим выключателем C_2, выключающимся под действием тока, притекающего к месту короткого от I подстанции и имеющего обратное направление по отношению к выключающему току автомата C_1.

Третий метод. Схема по третьему методу является более совершенным техническим видоизменением предыдущей (рис. 10). Пост секционирования с двумя быстродействующими выключателями C_1 и C_2 расположен посреди участка между подстанциями. На промежуточных железнодорожных станциях и блок-постах, кроме того, установлены автоматические поперечные раз'единители I—VIII.

Рассмотрим устройство и принцип их действия несколько подробнее.

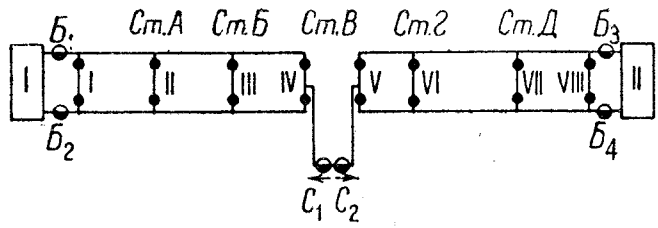


Рис. 10

Каждый из автоматических раз'единителей состоит из двух раз'единителей (рис. 11), снабженных обмотками возбуждения $в$ и $в_1$, которые питаются от контактного провода. Нормально, при наличии напряжения в контактной сети, обмотки возбуждения, находясь под напряжением, втягивают сердечники

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

a и a_1, благодаря чему ножи $б$ и $б_1$ замкнуты, и контактные провода смежных путей соединены параллельно.

При коротком замыкании в контактной сети напряжение падает, и ножи под действием пружин $г$ и $г_1$ отключаются, раз'единяя контактные провода смежных путей.

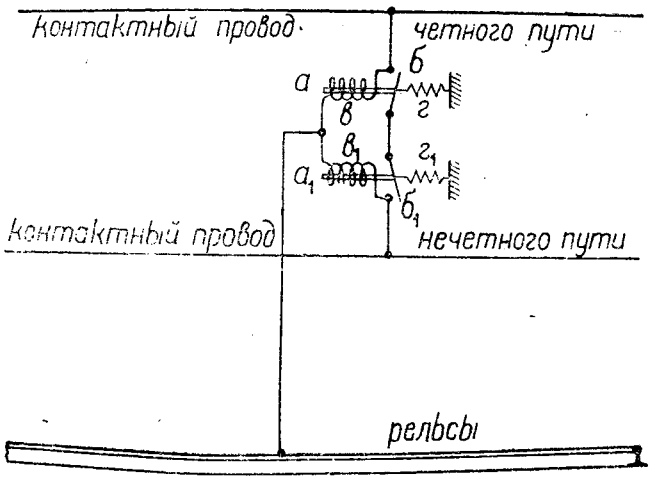


Рис. 11

Принцип действия схемы в целом идентичен с только что разобранным для предыдущей схемы. Отличительной чертой ее является полнейший автоматизм отключения поврежденного пути от остальных. Действительно, после того как участок между подстанцией и постом секционирования лишен питания, поперечные раз'единители, обмотки возбуждения которых находятся без напряжения, автоматически выключаются, раз'единяя контактные провода смежных путей.

Дальнейшее нахождение поврежденного пути производится с помощью повторного включения фидерных автоматов.

Два быстродействующих выключателя на посту секционирования устанавливаются для двухсторонней защиты участка. Число постов может быть увеличено как для второй, так и для третьей схемы защиты, причем установка отдельных быстродействующих выключателей будет ступенчатой. Необходимо также отметить, что вместо двух автоматов на каждом посту, как уже было сказано выше, можно иметь один, реагирующий на токи короткого замыкания обоих направлений. Подобная схема защиты применена на линии Guloz-Modan французской железной дороги Paris-Lion-Méditerrane.

Сравнивая вышеуказанные схемы защиты контактной сети двупутных линий, приходится отметить, что наиболее целесообразной схемой следует признать последнюю. В самом деле, хотя в отношении автоматизма выключения поврежденного пути первая схема имеет некоторые преимущества, зато она уступает последней в том отношении, что она не дает права считать работу смежных путей параллельной. А это увеличивает количество меди для контактной сети. Сравнивая ее со второй схемой, видим, что последняя значительно уступает первой, так как нахождение поврежденного пути при второй схеме, даже при дистанционном управлении поперечными раз'единителями, длится значительно дольше, чем при третьей. Для наиболее четкой работы системы потребуется в то же время применение поперечных раз'единителей с дистанционным управлением. Последнее необходимо будет связать проводами управления с подстанциями, а это обстоятельство может повлечь за собою ряд эксплоатационных неудобств (аварии и неисправности в цепях управления).

В заключение приведем пример практического выбора фидерных и секционных быстродействующих выключателей, применительно ко второй и третьей схемам защиты.

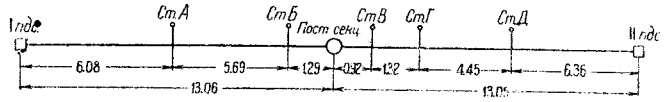


Рис. 12

Пример. Участок между двумя подстанциями длиною 26,11 km имеет сечение контактной сети 2 100 + 4 120 mm². Определим установки быстродействующих выключателей на фидерах и посту секционирования с таким расчетом, чтобы последние защищали нашу сеть при коротких замыканиях в любой из ее точек.

Расстояние между подстанциями, постом секционирования и промежуточными железнодорожными станциями приведено на рис. 12. Значения расчетных нагрузок фидеров и токов короткого замыкания, проходящих через фидерные и секционные быстродействующие выключатели при коротком в различных точках сети, приведены в табл. 1. Там же приведены выбранные установки быстродействующих выключателей.

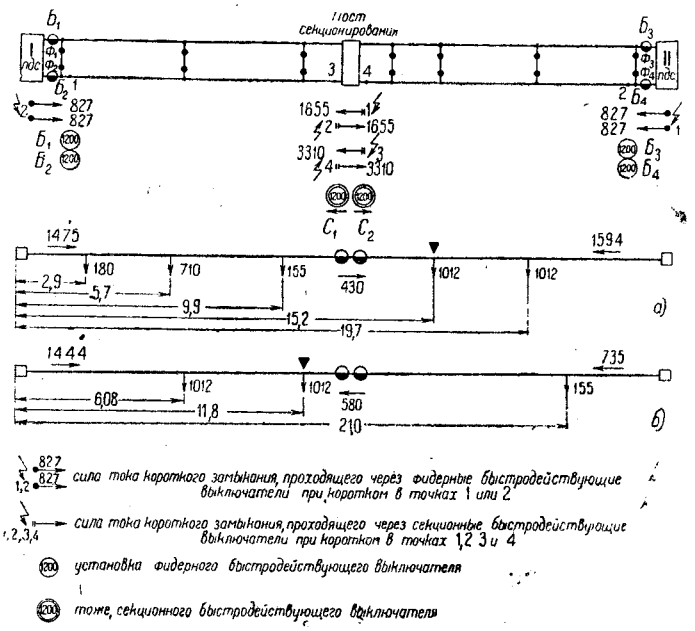


Рис. 13

Проверим выбор быстродействующих выключателей, приведенный в табл. 1, для чего изобразим наглядную картину протекания токов при коротких замыканиях в различных точках перегона; на том же рисунке приведем распределение нагрузок на перегоне, взяв поезда обоих направлений.

Последнее обстоятельство очень важно для проверки установок секционных быстродействующих выключателей, так как через них будет проходить суммарный ток обоих направлений (рис. 13).

Таблица 1

Рабочие нагрузки в А						Короткое вблизи подстанции (точка 1 или 2)						Короткое вблизи поста секционирования (точка 3 или 4)						Выбранная установка фидерных и секционных быстродействующих выключателей					
Фидеров				Секционных быстродействующих выключателей		сила тока в амперах						сила тока в амперах											
						проходящая по фидерам				проходящая через секционные быстродействующие выключатели		проходящая по фидерам				проходящая через секционные быстродействующие выключатели							
$Ф_1$	$Ф_2$	$Ф_3$	$Ф_4$	C_1 ←	C_2 →	$Ф_1$	$Ф_2$	$Ф_3$	$Ф_4$	C_1 ←	C_2 →	$Ф_1$	$Ф_2$	$Ф_3$	$Ф_4$	C_1 ↵	C_2 ⇉	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	$Б_4$	C_1 ⇇	C_2 ⇉
765	1 015	992	1 124	430	580	827	827	827	827	1 655	1 655	1 655	1 655	1 655	1 655	3 310	3 310	1 200	1 200	1 200	1 200	1 500	1 500

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Короткое в точке *1*. Быстродействующие выключатели на фидерах $Ф_1$ и $Ф_2$ отключат I подстанцию от поврежденного участка. От II подстанции к месту короткого потечет ток силою 1 655 А (по 827 А на фидер). Быстродействующие выключатели на фидерах $Ф_3$ и $Ф_4$, будучи отрегулированы на силу тока 1 200 А каждый, не отключат II подстанцию, зато секционный выключатель C_2, отрегулированный на силу тока 1 500 А, отключит поврежденный участок между постом секционирования и I подстанцией от II подстанции. После разъединения контактных проводов смежных путей повторное включение фидерных автоматов $Б_1$ и $Б_2$ покажет, какой путь неисправен.

Короткое в точке *3*. К месту короткого через секционный выключатель C_2 от II подстанции пройдет ток в 3 310 А. Фидерные выключатели $Б_3$ и $Б_4$, обладая большей выдержкой времени по сравнению с секционным, не выключатся, а выключится лишь последний, отрегулированный на силу тока 1 500 А. Фидерные выключатели $Б_1$ и $Б_2$ поврежденного участка, для которого короткое будет носить продолжительный характер, выключатся и изолируют тем самым поврежденный участок.

Короткие в точках *2* и *4* дадут совершенно аналогичную, но только обратную картину. В этом случае на посту секционирования будет выключаться автомат C_1. Обращаясь к рис. 13*а* и 13*б*, видим, что при наиболее тяжелом распределении поездов на перегоне рабочие токи, проходящие через секционные быстродействующие выключатели C_1 и C_2, силою 590 А в одном и 430 А в другом направлении, не вызовут выключения последних.

Приведенный пример наглядно показывает, что фидерные и секционные быстродействующие выключатели максимально защищают контактную сеть во всех разобранных нами случаях короткого замыкания в ней.

Библиография

„Revue générale des chemins de fer", 1930, № 6, стр. 544—548.

M. Japiot, La traction électrique aux États Unis de 1920 à 1926, Paris 1927, стр. 84—85.

Универсальная диаграмма тяговых сериес-двигателей [1]

П. К. Денисов
Самара

В условиях быстрого роста социалистического хозяйства и усложнения задач технического планирования и проектирования большую роль следует отвести методике обобщения и практической постановке всякого рода технических задач.

Это и послужило мотивом к предлагаемому методу обобщения задач в области тяговых электродвигателей.

Основанием обобщения послужили так называемые „универсальные" характеристики тяговых сериес-двигателей и известная формула выражения мощности мотора в любой момент состояния его работы:

$$N_x = N_{час} \cdot \frac{\eta_x}{\eta_r} \cdot K = \frac{f \cdot Q \cdot v}{n \cdot 270},$$

где N_x—мощность одного двигателя на ободе ведущих колес в любой момент его работы, выраженная в лошадиных силах;

$N_{час}$—часовая мощность его на ободе, тоже в лошадиных силах;

η_x—к. п. д. мотора с зубчатой передачей, соответствующий мощности N;

η_r—то же при $N_{час}$;

K—коэфициент загрузки мотора, соответствующий мощности N_x и выраженный в долях единицы (от 0,3 до 1,6);

f—удельная сила тяги на ободе колес в килограммах на тонну веса состава;

Q—вес состава в тоннах;

v—скорость движения, соответствующая мощности N_x в km/h;

n—число работающих электродвигателей;

270—переводной коэфициент для выражения N_x в лошадиных силах.

Относительно „универсальной" характеристики необходимо отметить следующее. Большая закономерность в ходе кривой Гопкинсона (кривая намагничивания) для сериесных двигателей различных, но все же близких друг к другу, мощностей дает возможность заменить любую действительную характеристику сериес-двигателя одной общей универсальной и без больших погрешностей решать всякого рода тяговые задачи. Это свойство универсальной характеристики весьма ценно для нас потому, что оно позволяет с достаточной точностью для эскизных проектов определить необходимые технические данные, не прибегая к материалам иностранных фирм и базируясь лишь на развитии нашей промышленности.

В универсальной характеристике кривые скорости (v) тягового усилия (f) в функции от тока (I) выражены в процентных отношениях к значениям их при часовом режиме двигателя.

По данным Richey (Electric Railway Handbook) и реферату Cary Hutchinson'a (Pender—Handbook for Electrical Engineers) устанавливается основная таблица универсальной характеристики:

Таблица 1

I%	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
v%	176	148	132,8	122,5	115,0	109	104	100	96,5	93,5	91	88,5	86
F%	14,8	25,1	36,4	48,4	60,6	73,9	86,8	100	112,5	125,5	138	151	164
η%	75,7	81,0	84,0	86,0	87,1	87,5	87,2	87,0	85,9	85,0	84,1	83,1	81,8

Любую характеристику тягового сериесного двигателя можно привести к универсальной путем изменения масштабов v и f.

Задачи исследования работы тяговых двигателей при движении поезда весом Q тонн на любом элементе профиля i ‰ могут быть обобщены в таблице 2.

В этой таблице известные параметры обозначены „!" и неизвестные „?". Первая задача есть основная и наиболее важная из всех остальных, так как в результате она дает удельную часовую мощность электродвигателей поезда и является главной экономической задачей при проектировании электротяги.

Установление мощности электродвигателей поезда с учетом множества разнообразных экономических факторов составляет

[1] Статья представляет заслуживающий большого внимания опыт построения универсальной диаграммы тяговых двигателей. Выводы автора относятся, однако, лишь к двигателям мощностей от 25 до 140 л. с.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

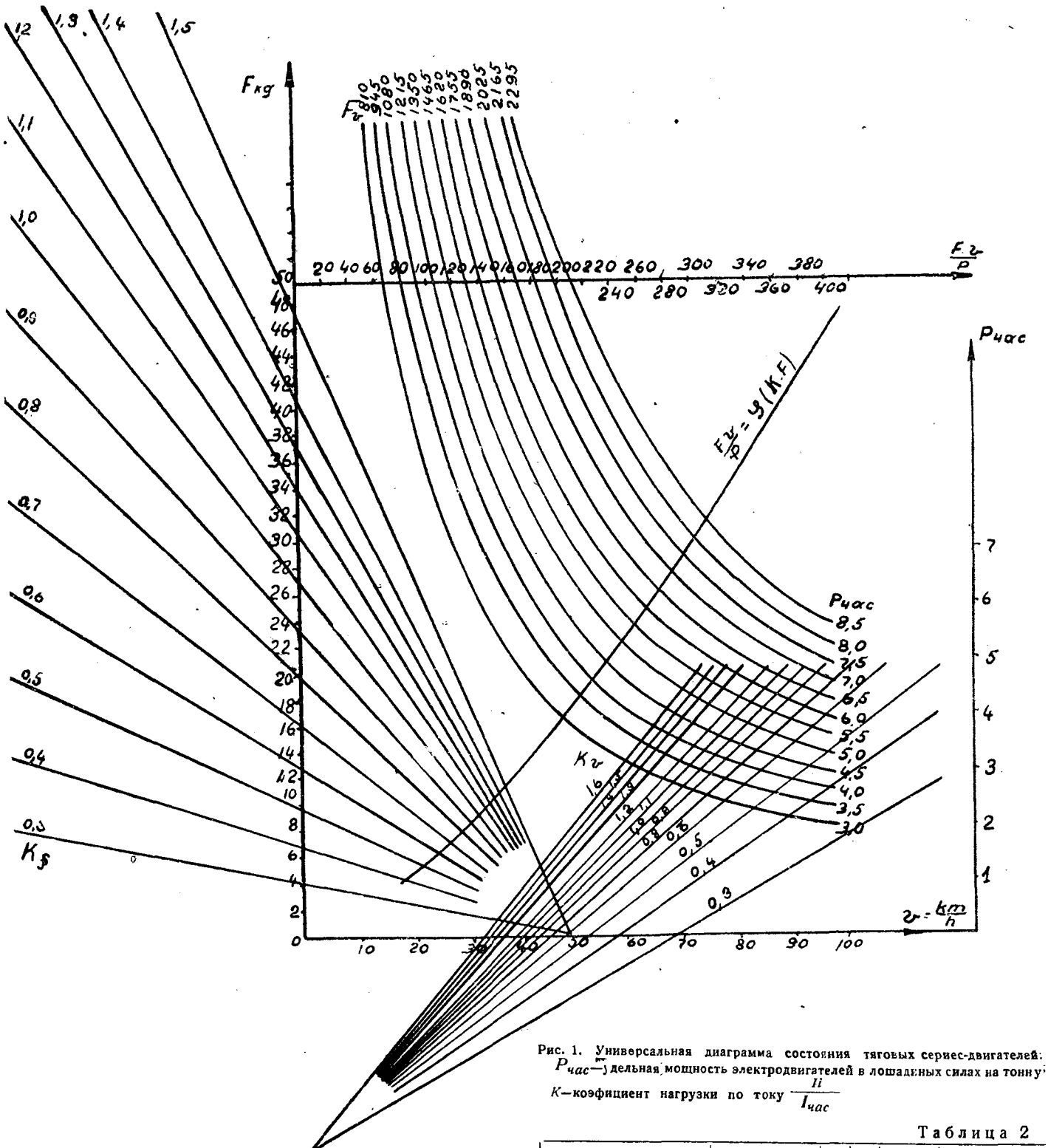


Рис. 1. Универсальная диаграмма состояния тяговых сериес-двигателей: $P_{час}$ — удельная мощность электродвигателей в лошадиных силах на тонну; K — коэфициент нагрузки по току $\frac{I_i}{I_{час}}$

довольно сложную технико-экономическую задачу. Поэтому при решении ее необходимо точно знать результаты влияния изменения различных факторов на каждый из этих элементов. Это возможно при аналитически точном решении трех последних слагаемых при любых изменениях того или иного параметра. Такое решение легко получить, если пользоваться предлагаемой ниже диаграммой (рис. 1).

Описание диаграммы

Из приведенного выше выражения для мощности электродвигателя можно получить следующее весьма знаменательное преобразование:

$$x \cdot v = N_r \cdot \frac{\eta_x}{\eta_r} \cdot K \frac{n \cdot 270}{Q};$$

но так как $\frac{n \cdot N_r}{Q} = P_r$ — удельная часовая мощность и

Таблица 2

Наименование параметров	Задача / обозначение	1	2	3	4	Примечание
Удельное усилие или ускорение .	X или $\frac{dv}{dt}$	!	!	!	?	Задание f_x при скорости v_x равносильно заданию $\frac{dv}{dt}$ при пуске, так как они связаны уравнением: $x = \frac{1}{\zeta}\frac{dv}{dt} + w + i$
Скорость данного состояния . . .	v_x	!	!	?	!	
Коэфиц. загрузки по току	K	!	?	!	!	
Удельная часовая мощность	$P_{час}$	?	!	!	!	

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

$\eta_r = 0{,}87$ (по универсальной характеристике), то:

$$xv = P_r \cdot \frac{270}{0{,}87} \cdot \eta_x K.$$

На основании этого последнего выражения в системе координат x и v на диаграмме нанесена группа гипербол $fv = \text{const}$, соответствующих разным практическим значениям P_r (в пределах от 3 до 8 л. с. 1 t с интервалом 0,5) при значении $K = 1$, т. е. при часовой мощности, когда величина $\eta = 0{,}87$ и $f \cdot v = 270\ P_r K$.

Эти кривые показывают, с одной стороны, величину произведения для данной мощности при часовом режиме, а с другой—величину удельной мощности часового режима.

Для того чтобы каждая точка в системе координат f и v могла быть в одинаковой степени пригодна для любого практического значения K и P_r, необходимо иметь бесконечно большое число координатных осей (шкал) для f и v, по которым можно было бы связать f и v с величиной I или с $K = \frac{I_x}{I_r}$ в соответствии с универсальной характеристикой. С этой целью из произвольной[1] точки на оси v (вправо от 0) проведен пучок лучей, пересекающих данную ось f в точках, соответствующих разным значениям f при том или ином значении K. Каждый луч первого и второго пункта относится к определенному значению K, а потому для любой точки в системе f и v можно провести (параллельно заданным) такие оси f' и v', по которым данная точка будет принадлежать к одному какому-либо значению K.

существующим осям f и v. Эти новые оси $o'f'$ и $o'v'$ пересекут все остальные лучи первого и второго пучков, и тогда для любого значения K можно найти свою точку, связанную с заданной точкой общей характеристикой и общей мощностью (рис. 2, *a*).

На основании этого последнего свойства диаграммы можно быстро получить рабочую характеристику двигателей поезда $f = \varphi(v)$, необходимую для тяговых расчетов.

Однако все вышеописанное построение диаграммы достаточно лишь для решения 1-й задачи (см. табл. 2), все же остальные 2-я, 3-я и 4-я требуют нанесения на диаграмму кривой выведенной выше зависимости $f \cdot v = P_r \frac{270}{0{,}87} \cdot \eta_x \cdot K$ для разных значений K и соответствующих им η_x.

Практически оказалось весьма удобно нанести кривую $\frac{fv}{P}$ в функции от K и так, что значения $\frac{fv}{P}$ соответствуют точкам пересечения лучей K второго пучка с осью P_f. Иначе говоря, задавшись величиной K_1, находят точку пересечения луча K_1 со шкалой f и проводят из этой точки перпендикуляр к шкале f до пересечения с кривой $\frac{fv}{P}$. Точка пересечения в известном масштабе дает искомое $\frac{fv}{P}$.

Масштаб кривой $\frac{fv}{P}$ установлен из тех соображений, чтобы

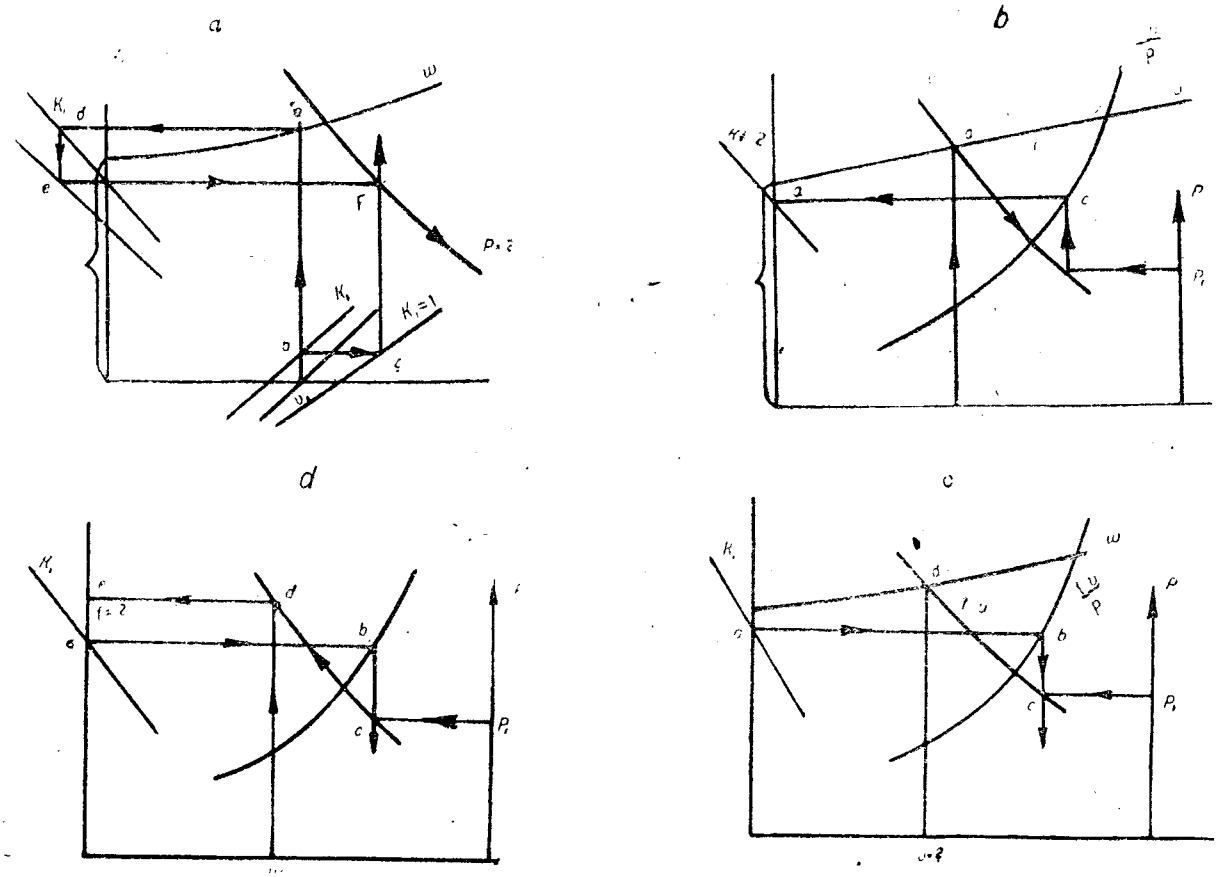


Рис. 2 (*a*, *b*, *c*, *a*).

Основная формула при решении задач:

$$\overline{f} \cdot \overline{v} = \overline{\frac{f \cdot v}{P}} \cdot P,$$

$$f = \frac{1}{\xi} \frac{dv}{dt} \cdot w + i$$

Порядок решения отмечен стрелками и буквами

Пример. Для того чтобы данная точка в системе координат f и v принадлежала значению $K = K_1$, необходимо провести из этой точки перпендикуляры к существующим осям f и v и найти пересечение этих перпендикуляров с лучами K-K_1 первого и второго пучка. Затем через точки пересечения нужно провести оси, соответственно параллельные су-

для любого положения точки в системе f и v можно было легко найти величины K и P_r. Связь масштабов системы шкал f и v, с одной стороны, и $\frac{fv}{P}$ и P_r, с другой, вытекает из равенства: $\overline{f} \cdot \overline{v} = \overline{\frac{fv}{P}} \cdot \overline{P}$. Это равенство в то же время является символическим для решения поставленных выше задач.

[1] Означенные точки на осях выбираются так, чтобы в пределах практических значений границ можно было бы удобно пользоваться диаграммой и чтобы диаграмма не получилась слишком большой.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Для лучшего усвоения диаграммы обратимся к конкретным примерам.

Предварительно в первых трех задачах необходимо на диаграмму нанести кривую удельного сопротивления движения данного поезда (вычисляется по формулам). Дальнейшее применение диаграммы таково:

Пример 1. По данным: 1) ускорению пуска $\frac{dv}{dt}$ 0,35 m/sec², 2) скорости выхода на автоматическую характеристику $v_x = 40$ km/h и 3) коэфициенту перегрузки при пуске $K = 1{,}2$ найти удельную часовую мощность поезда (рис. 2, *a*).

Решение: 1) вычисляем $\frac{1}{\xi}\frac{dv}{dt}$ и проводим на диаграмме кривую удельного сопротивления движению поезда на высоте $f = \frac{1}{\xi}\frac{dv}{dt} + w + i$, где i—под'ем в промилли, w—сопротивление движению на площадке в kg/t (по кривым); 2) из точки $v = 40$ km/h на оси v проводим перпендикуляр к оси ov до пересечения его с проведенной выше кривой w_1 в точке a и находим пересечение этого же перпендикуляра с лучом $K = 1{,}2$. Из точки *в* этого пересечения проводим горизонталь до пересечения с лучом $K = 1$ (точка *c*) и из последней точки *c* проводим линию, параллельную оси *of* $(\overline{cf})$; 3) далее из точки *a* проводим горизонталь до пересечения с лучом $K = 1{,}2$ (из второго пучка) в точке *d*. Через точку *d* проводим вертикаль *de* до пересечения с лучом $K = 1$. Через эту точку *e* проводим горизонталь до пересечения с вертикалью $\overline{cF}$ в точке *F*.

Кривая *fv*, проходящая через точку *F*, показывает искомую величину P_r. Если на диаграмме кривая не проходит через точку *F*, то можно проинтерполировать положение кривой или, зная точку *F*, найти значения *f* и *v* и произведение их разделить на 270, в результате чего получим $P_r = 5{,}5$ л. с. на 1 *t*.

Пример 2. По данным $\frac{dv}{dt} = 0{,}35$, $v_x = 40$, $P_r = 5{,}5$ определить величину загрузки по току ($K = ?$) при пуске (рис. 3).

Решение: 1) Вычисляем $\frac{1}{\xi}\frac{dv}{dt}$ и проводим кривую w_1 на диаграмме параллельно самой себе на высоте $f = \frac{1}{\xi}\frac{dv}{dt} + w + i_r$.

2) Через точку $v = 40$ проводим перпендикуляр к оси *ov* до пересечения с проведенной кривой w_1, (точка *A*) и через эту последнюю точку *a* проводим гиперболу *fv* (вернее, находим гиперболу, которая проходит через эту точку).

3) Далее по шкале $P_{час}$ берем P—5,5 и на этом уровне проводим горизонталь до пересечения с указанной гиперболой в точке *в*. Из точки *в* проводим вертикаль до пересечения с кривой $\frac{fv}{P}$ в точке *c*. Точку *c* проектируем на ось *f* и находим луч, проходящий через точку проекции *d*. Этот луч и указывает искомое K—1,2.

Пример 3. По данным: $\frac{dv}{dt} = 0{,}35$, K—1,2, P—5,5 найти скорость выхода на автоматическую характеристику $v_x = ?$ (рис. 2, *c*).

Решение: 1) Как и в первых примерах, проводим кривую w_1 на высоте $f = \frac{1}{\xi}\frac{dv}{dt} + w + i$. Через точку пересечения луча $K = 1{,}2$, с осью *of* (точка *a*) проводим горизонталь до кривой $\frac{\varphi v}{P}$ (точка *в*); 2) через точку *в* проводим вертикаль $\overline{вc}$ и на высоте $P = 5{,}5$, взятой по шкале $P_{час}$, проводим горизонталь до пересечения с вертикалью $\overline{вc}$ в точке *c*. Находим гиперболу *fv*, проходящую через точку *c*; 3) находим точку *d* пересечения этой гиперболы с кривой w_1, проведенной ранее на высоте $f = \frac{1}{\xi}\frac{dv}{dt} + w + i$; абсцисса этой точки пересечения показывает по шкале *ov* искомую величину $v = 40$ km/h.

Пример 4. По данным $v_x = 40$, $K = 1{,}2$, $P = 5{,}5$ найти величину удельного тягового усилия при пуске $f = ?$ или ускорение пуска $\frac{dv}{dt} = ?$ (рис. 2, *d*).

Решение: 1) Из точки пересечения луча $K - 1{,}2$ с осью *of* (точка *a*) проводим горизонталь до пересечения с кривой $\frac{fv}{P}$ в точке *в*. Из точки *в* проводим вертикаль $\overline{вc}$.

2) На уровне $P = 5{,}5$, взятом по шкале $P_{час}$, проводим горизонталь до пересечения с вертикалью $\overline{вc}$ в точке *c* и находим гиперболу *fv*, проходящую через эту точку.

3) Далее проводим вертикаль через точку $v = 40$ на шкале *ov* до пересечения с найденной гиперболой в точке *d*. Эту последнюю точку проектируем на ось *of* и находим искомую величину *f* в точке проекции.

Величина ускорения может быть вычислена при известном *f*, как $\frac{dv}{dt} = \xi\,(f - w_{40} - i) = 0{,}35$ m/sec².

Как видно из всего изложенного, диаграмма позволяет просто и удобно, с достаточной точностью, на основании выражения: $\overline{f} \cdot \overline{v} = \frac{fv}{P} : P$ отыскать одну из этих величин, когда другие три заданы по шкалам диаграммы.

Аналитическое решение этих задач будет в некоторых случаях довольно сложно и, кроме того, не лишено иногда ошибок в вычислениях.

При решении же по диаграмме вычисление того или другого неизвестного легко провести с изменениями известных параметров и из ряда значений установить наиболее выгоднейшую комбинацию их; причем это выполняется значительно быстрее, чем обычным аналитическим путем и без каких бы то ни было аналитических ошибок.

При изменении параметров из диаграмм можно видеть, какие изменения их совершенно неприемлемы, а также легко установить те границы параметров, в пределах которых следует искать наивыгоднейшее решение.

Наконец, по известной, строго установленной точке состояния в работе двигателя (пуск, движение на предельном под'еме или на площадке) можно быстро определить все точки его тяговой характеристики и получить представление о его работе при разных элементах профиля пути.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ПРОБЛЕМЫ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О расчете сверхтоков в сложных электрических сетях

В. М. Хрущов

Украинский институт промэнергетики

В предыдущей статье „Новый метод расчета сверхтоков" („Электричество", № 13, 1931) автор показал, что расчет сверхтоков чрезвычайно упрощается, если построить спрямленную внешнюю характеристику, так как при таких условиях приходится оперировать с постоянным реактанцем альтернатора и с некоторой постоянной фиктивной его электродвижущей силой. Там же было отмечено то большое влияние, которое оказывает предварительная нагрузка генератора на результаты определения величины сверхтоков.

Здесь мы разберем вопрос о применении метода спрямленной характеристики к расчету сверхтоков в сложных электрических сетях.

Применяемые обычно для расчетов сверхтоков методы, как, например, базирующийся на постепенном преобразовании треугольников в звезды или базирующийся на принципе Shetz-line, достаточно громоздки в применении к сложным сетям. Когда же идет речь о расчете их с учетом сопротивления нагрузки, то трудности расчета в таких условиях становятся исключительно большими. Это побудило автора попытаться применить к расчету сверхтоков его метод, опубликованный в журнале „Электричество" в 1917 г. и затем в несколько измененном виде в „Elektrotechnische Zeitschrift" в 1927 г. Результаты этой попытки оказались удачными и предлагаются поэтому здесь вниманию читателя. Разработка вопроса велась в Институте промэнергетики, где инженером Чепулионисом была проделана очень большая вычислительная работа для наилучшего освещения вопроса со всех сторон.

Рассмотрим районную сеть с четырьмя станциями *I*, *II*, *III* и *IV* и четырьмя подстанциями *a*, *b*, *c*, *d* (рис. 1). Пусть на шинах подстанции *a* произошло короткое замыкание. К месту аварии в этих условиях потечет, очевидно, ток по трем путям, причем вероятными путями, по которым будет питать пункт замыкания станции *IV*, явятся *IV c a*, станция *I* по *I b a* и станция *II* и *III* по *II d III a*. Разумеется, если станция *IV* является более мощной, чем станция *I*, то вполне возможно, что часть тока станции *IV* пройдет по пути *cba*, однако, эта часть будет тем меньше, чем больше сопротивление ответвления *cba* по сравнению с *ca*.

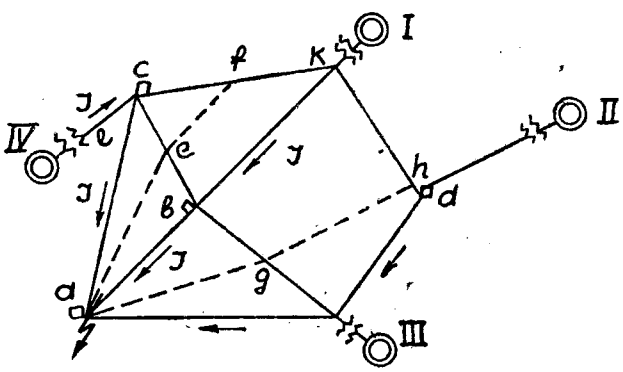


Рис. 1

Таким образом и в этом случае, как и в местной сети, можно выделить определенные районы для каждой станции или групп их; на рис. 1 границы этих районов помечены пунктирными линиями.

Разрежем мысленно провода сети в тех точках, в которых они пересекаются пунктирными линиями (точки *e*, *f*, *g*, *h*). Таким путем мы получаем участки сети в виде открытых проводов, каждый с одним или несколькими генерирующими пунктами в зависимости от конфигурации сети и места короткого замыкания. Для такого рода простых участков мы, пользуясь методом спрямленной внешней характеристики, сможем легко найти величины токов, которые будет вливать в место короткого замыкания данный участок даже при учете полезных сопротивлений нагрузок станций. После этого нам останется сомкнуть разрезанные провода, определив уравнительные токи, возникающие при смыкании; наложив последние на основное распределение токов, мы получим окончательное решение нашей задачи как в смысле определения тока короткого замыкания в месте аварии, так и в смысле распределения его по отдельным участкам сети.

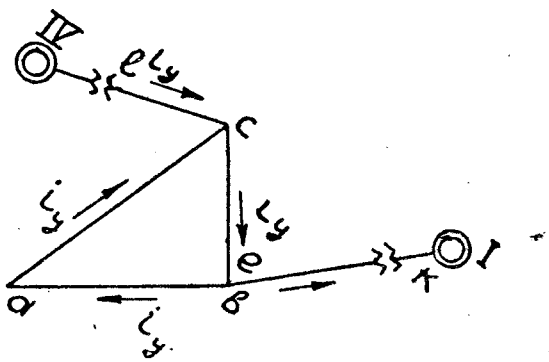


Рис. 2

Прежде чем переходить к изложению особенностей применения метода спрямленной характеристики, к определению тока в выделенных участках сети и особенностей определения уравнительных токов в таких сетях, мы должны будем выяснить нормальную точность решения нашей задачи, т. е. установить, с какой точностью нужно нам знать величину тока короткого замыкания. В прошлой статье было указано, что Ollendorff считает вполне достаточным определение тока короткого замыкания с ошибкой в 10%. Такая низкая точность в определении величины сверхтока об'ясняется специфическими особенностями этой задачи. Даже тогда, когда идет речь о расчете сверхтока в существующей системе, если она имеет более или менее сложную конфигурацию, знать характеристики и постоянные всех элементов системы не представляется возможным и даже здесь приходится пользоваться какими-то средними величинами постоянных. Обычно же расчет токов короткого замыкания производится или для расширяющейся установки или проектируемой, машины и трансформаторы которой еще не построены.

В этих случаях расчет на основе каких-то средних величин есть единственный возможный выход из положения. Однако, несмотря на это, автор полагает, что принять за нормальную точность определения величин токов короткого замыкания в отдельных участках сети в 10% было бы неправильно в силу того, что одно только случайное отклонение действительной характеристики альтернатеров от стандартной, по которой ведется расчет, может в исключительных случаях дать погрешность в 10%. Случайное наложение на эту погрешность еще ошибки в 10% от неточно определенного тока короткого замыкания даст уже весьма существенную ошибку в 20%; разумеется, такое сочетание возможно только в исключительных случаях и только на отдельных участках, но все же пренебрегать уравнительным током в том или ином проводе при смыкании разрезанных участков можно лишь тогда, когда они составляют менее 5% от основного сверхтока.

Переходим теперь к рассмотрению особенностей определения уравнительных сверхтоков в сложных сетях.

Допустим, что основные сверхтоки по магистралям *IV c a*, *I b a*, *II d*, *III a* уже найдены и мы желаем сомкнуть участок *b c*. Вдоль линии *IV c a* и линии *I b a* (рис. 2) будет наблюдаться постепенное уменьшение потенциала до нуля в точке *a*, и между точками *c* и *b* будет действовать некоторая разность потенциалов V_{bc}, которую, разумеется, легко определить. Эта разность потенциалов при смыкании разреза *e* на участке *b c* вызовет уравнительный сверхток $i_{y_{cb}}$ вдоль участка *cb*. Пусть потенциал точки *c* будет выше потенциала точки *b*, тогда направление сверхтока на участке *cb* будет от *c* к *b*. Этот уравнительный сверхток распределится, очевидно, и по участ-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

кам IVc, ac, Ib и ab. На участке IVc уравнительный сверхток $i_{y_{IVc}}$ будет, очевидно, увеличивать основной; в силу этого потенциал точки c опустится, а это повлечет за собой уменьшение основного сверхтока на участке ac, т. е. на участке ac возникнет отрицательный уравнительный сверхток по направлению от a к c. Аналогичным образом, на участке Ib уравнительный сверхток будет отрицательным, и тем самым будет уменьшать основной сверхток; в силу этого потенциал в точке b увеличится и возникнет положительный сверхток на участке ab. Пусть ΔV_c обозначает изменение потенциала в точке c от протекания уравнительного сверхтока по участку IVc, пусть, далее, реактанцы участков IVc и ac будут x_{IVc} и x_{ac}; тогда

$$\Delta V_c = i_{y_{IVc}} \cdot x_{IVc} = i_{y_{ac}} \cdot x_{ac},$$

откуда

$$\frac{i_{y_{ac}}}{i_{y_{IVc}}} = \frac{x_{IVc}}{x_{ac}}.$$

Мы, следовательно, можем рассматривать по отношению к уравнительным сверхтокам участки IVc и ac как параллельно включенные. Аналогичные соотношения мы получим и по отношению к участкам Ib и ab. При таких условиях мы можем, очевидно, нашу сеть разделить в точке a и представить ее в схеме рис. 3.

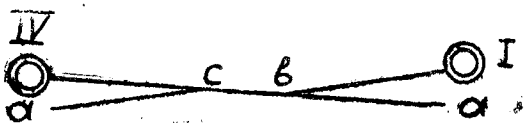


Рис. 3

Таким путем уже весьма облегчается определение уравнительного сверхтока на участке bc и на всех остальных. Определив результирующий реактанц участков

$$\overset{IV}{a}\!\rangle c \text{ и } \overset{I}{a}\!\rangle b,$$

мы получим выражение для уравнительного сверхтока:

$$i_{y_{bc}} = \frac{V_c - V_b}{\dfrac{x_{IVc}\,x_{ac}}{x_{IVc} + x_{ac}} + x_{bc} + \dfrac{x_{Ib}\,x_{ab}}{x_{Ib} + x_{ab}}}. \qquad (1)$$

Следует здесь уже отметить, что реактанцы ветвей IVc и Ib относительно очень велики, так как они складываются каждый из реактанца альтернатора, реактанца повысительного трансформатора и реактанца участка линии до точек c и b; наоборот, реактанцы ветвей ac и ab невелики, так как они представляют собой лишь реактанцы участков линии. В силу этого выражение (1) во многих случаях может быть представлено в форме:

$$i_{y_{bc}} = \frac{V_c - V_b}{x_{ac} + x_{bc} + x_{ab}}. \qquad (1a)$$

Конечно, когда короткое замыкание произошло за подстанцией, то последнее выражение применять нельзя, так как реактанцы обеих ветвей в этом случае представляют соизмеримые величины.

После того как уравнительный сверхток линии bc найден, можно перейти к смыканию следующего разреза, например, f, а для этого надо предварительно определить то напряжение, которое получится в точке c после смыкания разреза e в точке примыкания сети к повысительному трансформатору станции I. Первое напряжение выразится:

$$V'_c = V_c - i_{y_{ac}}\,x_{ac},$$

второе:

$$V_I = V_b + (I_{Iba} - i_{y_{Ib}}) \cdot x_{Ib},$$

где x_{Ib}—реактанц участка сети от узла b до подстанции станции I. При определении величины уравнительного тока в линии cI надлежало бы привести рассматриваемый участок сети к схеме, подобной фиг. 3, учтя и сомкнутый уже участок cb; но это усложнило бы очень наши расчеты, и потому мы снова мысленно восстанавливаем разрез в точке e. Рассматривая участки IVc и ac, а также Ik и ak как параллельно включенные (рис. 4), мы получим выражение уравнительного сверхтока, подобное или (1) или (1а). Ошибка, которая получится от недоучета влияния участка cb, в громадном большинстве случаев очень невелика и не может сколько-нибудь заметно отразиться на результате вычислений. Контролем влияния этого участка может служить изменение разности потенциалов между точками c и b от нового уравнительного сверхтока. В отдельных случаях, когда изменение это более или менее значительно, дело может быть хорошо поправлено новым смыканием в точке e. Аналогичным образом могут быть определены уравнительные токи и в прочих точках разреза проводов сети.

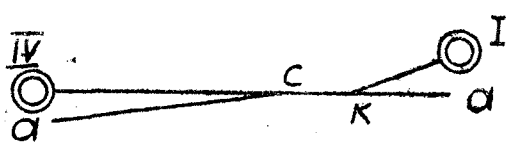


Рис. 4

Однако производить смыкание всех разрезов сети едва ли имеется необходимость; несомненно, на отдельных участках уравнительные сверхтоки могут быть настолько невелики, что их можно свободно не вычислять.

Необходимо, следовательно, выявить признаки, позволяющие наперед решить вопрос о том, нужно ли вычислять уравнительный сверхток или нет. Рассмотрим еще раз участок сети, представленный на рис. 2; основной сверхток на участке ab можно представить выражением:

$$I_{ab} = \frac{V_b}{x_{ab}}.$$

Если воспользоваться выражением (1), представив его для краткости в форме

$$i_{y_{bc}} = \frac{V_c - V_b}{\Sigma_y x},$$

где $\Sigma_y x$ обозначает сумму реактанцев на пути уравнительного сверхтока, то мы сможем получить отношение:

$$\frac{i_{y_{bc}}}{I_{ab}} = \frac{V_c - V_b}{V_b} \cdot \frac{x_{ab}}{\Sigma_y x}. \qquad (2)$$

Из этого выражения мы можем вывести заключение, что уравнительный сверхток будет составлять менее 5% от основного тогда, когда

$$\frac{V_c - V_b}{V_b} \cdot \frac{x_a}{\Sigma_y x} < 0{,}05. \qquad (3)$$

Выражение (3) дает возможность, не прибегая к расчету, быстро решить вопрос о наличии или отсутствии необходимости вычислить уравнительный сверхток на данном участке.

Так как падения напряжения в проводах сети всегда относительно невелики, то очевидно, что уравнительные сверхтоки на участках сети, близких к месту аварии, могут иметь значительные величины. Отношение $\frac{\Sigma_y x}{x_b}$ в громадном большинстве случаев лежит в пределах $2 \div 3$; если принять за среднюю величину этого отношения 2,5, то для того, чтобы i_y было менее 0,05 I, отношение $\frac{V_c - V_b}{V_b}$ должно быть менее 0,125.

Пример. Дано $I_{ac} = 2\,200$ A, $I_{ab} = 2\,000$ A, $x_{ac} = 20\,\Omega$, $x_{ab} = 18\,\Omega$, $x_{bc} = 12\,\Omega$. По этим данным получаем $V_c = 2\,200 \cdot 20 = 44\,000$ V_o $V_b = 2\,000 \cdot 18 = 36\,000$ V, а потому

$$\frac{i_{y_{bc}}}{I_{ab}} = \frac{8\,000}{36\,000} \cdot \frac{18}{50} = 0{,}093.$$

Мы получим, таким образом, что уравнительный сверхток составляет 9,3% от основного, а потому пренебрегать им нельзя. Если бы основной сверхток на линии ac был не 2 200 A, а 2 000 A, то отношение $\frac{i_{y_{bc}}}{Ia_b}$ было бы равно 0,046, и тогда уравнительный сверхток можно было бы откинуть.

Вернемся еще раз к узлу c нашей сети (рис. 1); в этом узле сходятся две разрезанные линии bc и kc; в том случае, когда напряжение в точке k больше, чем в точке c, а напряжение в точке c, в свою очередь, больше, чем в точке b, при смыкании разрезов в точках f и e мы получим уравнительные сверхтоки: по линии kc к узлу c, а по линии cb от узла c, в линии ca в этом случае будет течь уравнительный сверхток, равный разности первых двух. Если уравнительные сверхтоки участков bc и kc близки по величине один к другому, то уравнительный сверхток по линии ca будет очень мал: в этом случае последовательное смыкание разрезов c и f может привести к неудачным результатам, так как уравни-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

тельный ток, получающийся при смыкании разреза f, снова поднимет напряжение узла c, сниженное первым уравнительным током.

В этом случае удобнее задаться наперед напряжением узла c на базе среднего арифметического из напряжений V_k и V_b, взяв отклонение от последнего в ту или другую сторону в зависимости от величин реактанцев x_{kc} и x_{bc}. Вычислив, пользуясь выбранным значением V_c, уравнительные токи по отдельным линиям, сходящимся в узле c, нужно будет посмотреть лишь насколько сумма всех этих токов отличается от нуля. В случае, если невязка значительна, надлежит соответствующим образом несколько изменить выбранное значение V_c и снова пересчитать уравнительные токи.

Мы видели, что уравнительные сверхтоки (в противоположность уравнительным токам в местных сетях) на смыкаемых участках сети, близких к месту короткого замыкания, могут получать бо́льшие величины, до 10% и выше. Однако эти сверхтоки могут оказывать заметное влияние на токораспределение лишь на отдельных участках внутри сети, на величину же тока короткого замыкания в месте аварии сколько-нибудь серьезного влияния они оказать не могут.

Для доказательства этого положения рассмотрим рис. 5, представляющий схему замещения части сети рис. 2 с двумя магистральными линиями и одной поперечной. В этой схеме замещения x_1 представляет реактанцы генератора, трансформатора и участка линии bc, x_2—реактанцы генератора, трансформатора и участка линии kb, реактанцы же x_3, x_4 и x_5 представляют реактанцы лишь участков линий ab, cb и ac. Токи, текущие на этой части сети, мы представим в виде основных токов I_1 и I_2 и дополнительного i, проходящего через ветвь x_4. Для определения трех неизвестных токов I_1, I_2 и i мы имеем три уравнения:

$$I_1(x_1+x_3)+i\,x_3=E, \tag{4a}$$

$$I_2(x_2+x_5)+i\,x_2=E, \tag{4b}$$

$$(I_2+i)\,x_2+i\,x_4+(I_1+i)\,x_3=E. \tag{4c}$$

Выразим ток i как некоторую долю тока I_1

$$i+\alpha I_2; \tag{5}$$

тогда из уравнения (4a) мы получаем

$$I_1=\frac{E}{x_1+x_3(1+\alpha)}. \tag{6}$$

Подставляя выражения (5) и (6) в уравнение (4b), получим:

$$I_2=\frac{E}{x_2+x_5}\left[1-\frac{\alpha x_2}{x_1+x_3(1+\alpha)}\right]. \tag{7}$$

Наконец, заменяя I_1, i и I_2 в уравнении (4c) полученными выражениями, можем написать:

$$\frac{E}{x_2+x_5}\left[1-\frac{\alpha x_2}{x_1+x_2(1+\alpha)}\right]+$$
$$+\frac{E\,[x_3+\alpha(x_2+x_3+x_4)]}{x_1+x_3(1+\alpha)}=E.$$

Отсюда:

$$\frac{x_2}{x_2+x_5}\left\{x_1+x_3(1+\alpha)-\alpha x_2\right\}+x_3+\alpha(x_2+x_3+x_4)=$$
$$=x_1+x_3(1+\alpha),$$

или

$$x_2\,[x_1+x_3(1+\alpha)-\alpha x_2]+\alpha(x_2+x_4)(x_2+x_5)=x_1(x_2+x_5);$$
$$x_2x_3+\alpha x_2x_3+\alpha(x_2x_5+x_4x_2+x_4x_5)=x_1x_5.$$

Следовательно,

$$\alpha=\frac{x_1x_5-x_2x_5}{x_2x_3+x_2x_5+x_2x_4+x_4x_5}. \tag{8}$$

Это выражение дает возможность определить α, когда заданы реактанцы x_1, x_2, x_3, x_4 и x_5.

Ток, который будет посылать в рассматриваемую цепь источник тока, можно представить выражением:

$$I=I_1+I_2+i=E\left\{\frac{1+\alpha}{x_1+x_3(1+\alpha)}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{x_2+x_5}\left[1-\frac{\alpha x_2}{x_1+x_3(1+\alpha)}\right]\right\}=$$
$$=\frac{E}{(x_2+x_5)\,[x_1+x_3(1+\alpha)]}\cdot\left\{x_2+x_5+\right.$$
$$\left.\alpha x_2+\alpha x_5+x_1+x_3(1+\alpha)-\alpha x_2\right\}=$$
$$=E\,\frac{x_1+x_2+(x_3+x_5)(1+\alpha)}{(x_2+x_5)(x_1+x_3(1+\alpha)}. \tag{9}$$

Поставим теперь себе задачу определить величину ошибки которую мы сделаем, если вместо значения тока I, определяющегося выражением (9), мы возьмем значение его, предположив отсутствие ветви c реактанцем x_4, т. е. при $\alpha=0$; в последнем случае выражение (9) обращается в обычное выражение тока при параллельном включении реактанцев x_2+x_5 и x_1+x_3.

Искомую ошибку мы получим, если из выражения (9) при $\alpha>0$ мы вычтем значение выражения (9) при $\alpha=0$.

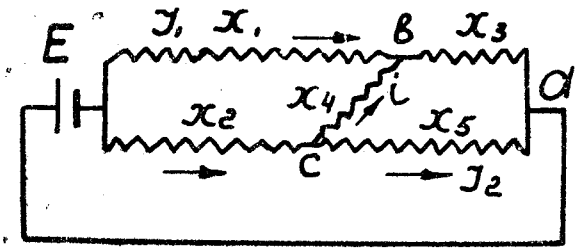


Рис. 5

Относительная ошибка может быть, следовательно, представлена выражением:

$$\delta=\frac{I_\alpha-I}{I}=\frac{[x_1+x_2+(x_3+x_5)(1+\alpha)]\,(x_1+x_3)}{[x_1+x_3(1+\alpha)]\,(x_1+x_2+x_3+x_5)}-1, \tag{10}$$

где I_α — ток всей цепи при $\alpha>0$, а I — ток в этой цепи при $\alpha=0$.

Для того чтобы получить представление о возможной величине относительной ошибки в сложных районных сетях, мы должны будем принять некоторые допущения, а именно: 1) считаясь с тем, что реактанцы x_3, x_4, x_5 обычно в сети представляют величины одного порядка, мы примем $x_3=x_4=x_5$, 2) так как реактанцы x_1 и x_2, представляющие собою суммы реактанцев генератора, трансформатора и участка сети, в несколько раз больше реактанцев x_3, x_4, x_5, то мы примем $x_2=10\,x_3$, 3) хотя уравнительные сверхтоки, как мы видели выше, имеют и относительно бо́льшие значения, но все же только в исключительных случаях они могут превышать $15\div18\%$, мы примем поэтому для α максимальное вероятное его значение в 0,2.

Задавшись, однако, величиной α, мы уже не можем произвольно выбрать величину реактанца x_1; последняя должна быть определена из выражения (8). Подставив в него принятые нами соотношения, будем иметь:

$$0{,}2=\frac{x_1-10\,x_3}{10\,x_3+10\,x_3+10\,x_3+x_3},$$

откуда

$$x_1=16{,}2\,x_3.$$

Теперь мы имеем возможность выразить ток I_α:

$$I_\alpha=\frac{E}{x_3}\cdot\frac{[16{,}2+10+2(1+0{,}2)]}{11\,(16{,}2+1{,}2)}=\frac{28{,}6}{11\cdot17{,}4}\cdot\frac{E}{x_3}.$$

При $\alpha=0$ этот ток будет выражаться:

$$I=\frac{28{,}2}{11\cdot17{,}2}\cdot\frac{E}{x_3}.$$

Как видно из этих выражений, токи, посылаемые в рассматриваемую цепь источником тока при наличии уравнительного тока и при отсутствии его, отличаются весьма немного один от другого, Относительная ошибка, которую мы сделаем, если примем I вместо I_α, определится:

$$\delta=\frac{(16{,}2+10+2\cdot1{,}2)\,(16{,}2+1)}{(16{,}2+1{,}2)\,(16{,}2+10+2)}-1=0{,}008.$$

Если принять $x_2=5\,x_3$, что будет отвечать случаю наличия вблизи места аварии мощной станции, то x_1 будет равно $8{,}2\,x_3$, и ошибка, которую мы сделаем, заменив I_α через I, будет равна

$$\delta=\frac{(8{,}2+5+2\cdot1{,}2)\,(8{,}2+1)}{(8{,}2+1{,}2)\,(8{,}2+5+2)}-1=0{,}004.$$

Если даже принять $\alpha=0{,}4$, сохраняя для x_2 последнее соотношение, то x_1 будет равно $11{,}4\,x_3$ и $\delta=0{,}01$.

Таким образом в том случае, когда необходимо определить лишь ток короткого замыкания в месте аварии, можно совершенно не производить смыканий разрезанных поперечных линий сети; достаточно лишь определить токи в магистральных линиях и их просуммировать.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

В том случае, когда авария произошла за подстанцией, то удобнее всего выбрать такой путь решения задачи: перенести пункт короткого замыкания в точку сети перед подстанцией, определить для нее ток короткого замыкания описанным выше путем; по этому току определить реактанцы всей сети в совокупности и, прибавив к этому реактанц трансформаторов подстанции, вычислить ток короткого замыкания уже для

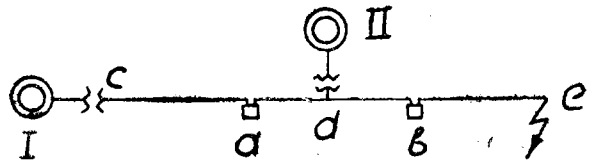


Рис. 6

пункта аварии, лежащем за подстанцией. Подобный путь, однако, применим лишь при отсутствии учета нагрузок; при наличии такового определение токов короткого замыкания несколько усложняется.

Перейдем теперь к определению величины сверхтоков в магистральных линиях, на которые разбивается сеть после разреза ее поперечных линий. Задача эта весьма легко разрешается в том случае, когда линия питается одной станцией и когда не принимается во внимание полезное сопротивление нагрузки. Несколько сложнее обстоит дело, когда к линии примыкают несколько станций и когда к ней присоединены несколько подстанций. Рассмотрим рис. 6, представляющий линию с двумя генераторными станциями *I* и *II* и двумя подстанциями *a* и *b*; в этой линии произошло короткое замыкание в точке *e*. На рис. 7 представлена схема замещения рассматриваемой линии: на участке *Ia* включены последовательно реактанцы: генератора $x_{г1}$, трансформатора $x_{тр1}$ станции *I* и участка линии x_{ac}; в ответвлении от пункта *a* включены реактанц $x_{н1}$ и ваттное сопротивление $R_{н1}$ нагрузки трансформаторной подстанции *a*; между точками *a* и *d* включен реактанц участка линии x_{ad}; к пункту *d* подключены реактанцы $x_{г2}$ и $x_{тр2}$ станции *II*; между точками *d* и *b*—реактанц участка линии x_{ab}; в ответвлении от точки *b* включены реактанц $x_{н2}$ и ваттное сопротивление $R_{н2}$ нагрузки трансформаторной подстанции *b*; между точками *b* и *e* реактанц участка линии *be*. Ток I_{be}, протекающий по участку *be*, вызывает падение напряжения $I_{be} \cdot x_b$, так как точка *e* заземлена, то напряжение в узле *b* равно $I_{be} x_{be}$, и ток, который потечет в ответвления *bf*, выразится:

$$I_b = \frac{I_{be} \cdot x_{be}}{z_{н2}},$$

где $z_{н2}$—импеданц ветви *bf*. Ток на участке линии *bd* равен

$$\overline{I}_{bd} = \overline{I}_{be} + \overline{I}_{bf} = I_{be}\left(1 + \frac{x_{be}}{z_{bf}}\right),$$

напряжение в узле *d*

$$V_d = I_{be} \cdot x_{be} + I_{be}\left(1 + \frac{x_{be}}{z_{bf}}\right) x_{bd} = I_{be}\, x_{bd}\left(1 + \frac{x_{be}}{x_{bd}} + \frac{x_{be}}{z_{bf}}\right).$$

Ток, который будет посылать в место короткого замыкания станция *II*, выразится:

$$I_{II} = \frac{E - I_{be} \cdot x_{bd}\left(1 + \frac{x_{be}}{x_{bd}} + \frac{x_{be}}{z_{bf}}\right)}{x_{г2} + x_{тр2}}.$$

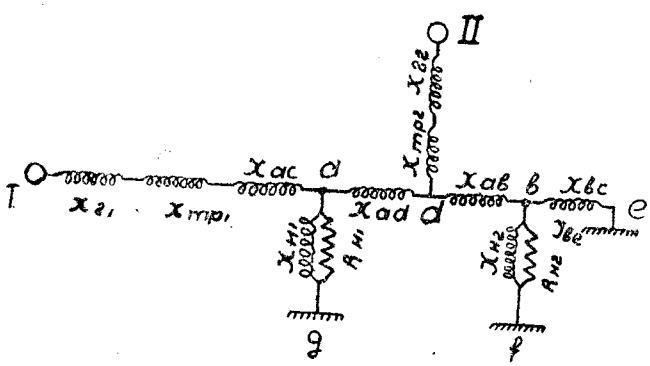


Рис. 7

Ток, который будет течь на участке *ad*:

$$I_{ad} = I_{be}\left(1 + \frac{x_{be}}{z_{bf}}\right) - \frac{E - I_{be}\, x_{bd}\left(1 + \frac{x_{be}}{x_{bd}} + \frac{x_{be}}{z_{bf}}\right)}{x_{г2} + x_{тр2}}.$$

Определив далее аналогичным путем напряжение в узле ток ответвления *ag* и ток станции *I*, мы сможем вырази наконец, напряжение в пункте *I* как функцию тока I_{be}. П равнивая последние э. д. с. *E*, мы получаем уравнение, которого можно определить I_{be}, а следовательно, и все п чие величины.

В изложенном только что методе определения сверхто в магистральных линиях токи отдельных участков долж складываться геометрически в силу того, что нагрузка об дает как ваттной, так и безваттной проводимостью. Это в сит в расчет некоторые затруднения, которые совсем находят себе оправдания в увеличении точности решен в сущности говоря, при значительном снижении напряжен которое будет наблюдаться у потребителя во время коротк замыкания, ни ваттная, ни безваттная проводимости приеми ков не остаются неизменными. Поэтому нет особенного см сла представлять ветвь, имитирующую нагрузку, как импеда более удобным является принять ее как чистый реактанц,

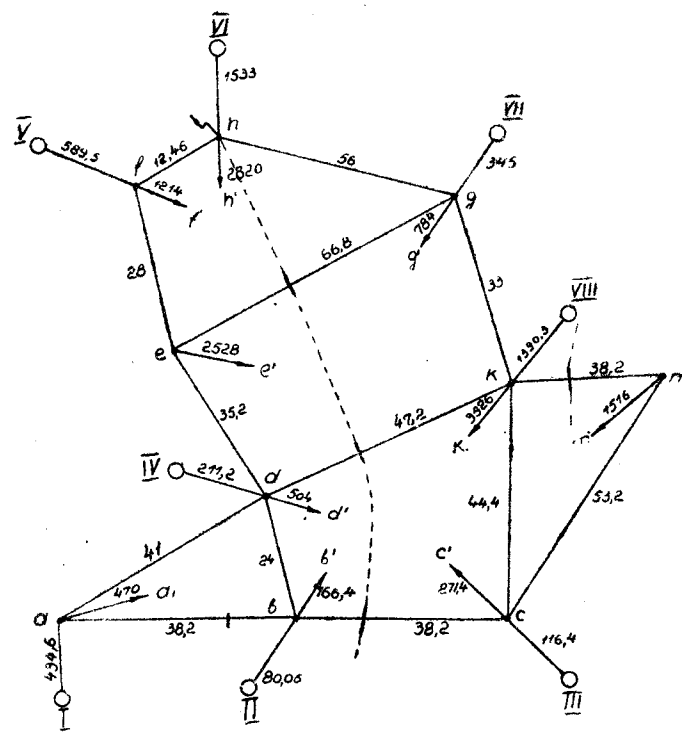


Рис. 8

не той величины, которая отвечает реактанцу нагрузки при полном напряжении, а несколько ниже, для того чтобы учесть влияние остающегося вне внимания ваттного сопротивления.

На основании некоторых числовых подсчетов мы пришли к заключению, что нормальный реактанц нагрузки нужно помножить на коэфициент 0,8. При таком условии под z_{bf} в приведенных выше выражениях надлежит понимать реактанц, составляющий 80% от нормального реактанца нагрузки, и потому все суммирования должны производиться алгебраически.

Когда замыкание произошло за подстанцией, то к точке короткого замыкания могут подходить две и более ветви, которые, в свою очередь могут разветвляться; в таких условиях приходится определять основное распределение токов решением системы уравнений.

Пример. В сети, представленной на рис. 8 с восемью станциями *I*, *II*, *III*, *IV*, *V*, *VI*, *VII*, *VIII* и десятью подстанциями *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *k*, *m*, требуется определить токи двухполюсного короткого замыкания подстанции *h* как при замыкании на первичной стороне, так и на вторичной.

Цифры, помеченные на рис. 8, обозначают: поставленные вдоль участков линий—реактанцы этих участков, у станций—реактанцы генераторов и трансформаторов в сумме, у подстанций—реактанцы нагрузок, включая реактанцы трансформаторов.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Как пример определения реактанцев, мы рассмотрим подстанцию m и станцию II. На подстанции m установлены две группы однофазных трансформаторов, каждый мощностью 4 165 kVA, напряжение короткого замыкания которых равно 10%; номинальное напряжение этих трансформаторов 115 kV. Реактанц двух параллельно работающих групп трансформаторов равен

$$x_{mp} = \frac{0{,}1 \cdot 115^2 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 4\,165} = 52{,}9\ \Omega.$$

Импеданц нагрузки подстанции

$$z = \frac{115^2 \cdot 10^3}{15\,000} = 529\ \Omega,$$

где 15 000 представляет нагрузку подстанции. Реактанц нагрузки подстанции, согласно сказанному выше, будет равен

$$x_{нг} = 0{,}8\,\frac{529}{0{,}6} = 705\ \Omega.$$

Суммируя два последних реактанца, получаем

$$x_m \simeq 758\ \Omega.$$

Мощность генераторов станции II равна 220 000 kVA, из которых через подстанцию b проходит 212 000 kVA, приведенная фиктивная э. д. с. для двухполюсного замыкания[1]

$$E_2 = 1{,}71 \cdot 115\,000 = 196\,600\ \text{V}.$$

Реактанц генераторов станции в параллельном включении:

$$x_г = \frac{E_2}{I_k} = \frac{1{,}71 \cdot V_н}{\frac{1{,}71}{0{,}63} \cdot I_н} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0{,}63\ V_н^2}{\text{kW}} = 1\,092\,\frac{(\text{kV})^2}{\text{kVA}}$$

или

$$x_г = \frac{1\,092 \cdot 115^2}{220\,000} = 65{,}65\ \Omega.$$

Реактанц трансформаторов

$$x_{mp} = \frac{0{,}1 \cdot 115^2 \cdot 10^3}{220\,000} = 7{,}2\ \Omega.$$

Суммарный реактанц для двуполюсного замыкания

$$65{,}65 + 2 \cdot 7{,}2 = 80{,}05\ \Omega.$$

Реактанцы линий передач вычислены обычным путем. На чертеже отложены значения реактанцев путей двухполюсного замыкания.

Разрезая нашу сеть таким образом, чтобы каждая станция питала место аварии по единственному пути с наименьшим реактанцем, мы получим две независимые ветви:

$$III\,c\ VIII\,k\ VII\,g\ h$$

и

$$\left.\begin{matrix} I\,a \\ II\,b \end{matrix}\right\rangle IV\,d\ e\ V\,f\ h.$$

Вычисление токов в этих ветвях ведем по схеме, намеченной выше.

а) Для первой ветви.

Напряжение в точке g

$$V_g = 56\ I_{hg},$$

ток станции VII:

$$I_{VII\,g} = \frac{196{,}6 \cdot 10^3 - V_g}{345} = 570 - 0{,}1625\ I_{hg},$$

ток нагрузки подстанции g:

$$I_{gg}' = \frac{V_g}{784} = 0{,}0714\ I_{hg};$$

ток в линии kg

$$I_{kg} = I_{gh} + 0{,}0714\ I_{hg} - 570 + 0{,}1625\ I_{hg} = 1{,}2339\ I_{gh} - 570.$$

Напряжение на подстанции k:

$$V_k = 56\ I_{hg} + 33\,(1{,}2339\ I_{gh} - 570) = 96{,}7\ I_{hg} - 18\,890.$$

Ток станции VIII:

$$I_{VIII\,k} = \frac{196{,}6 \cdot 10^3 - V_k}{1\,390{,}3} = 155 - 0{,}0697\ I_{hg}.$$

Ток нагрузки подстанции k:

$$I_{kk}' = \frac{V_k}{2\,350} = 0{,}0412\ I_{hg} - 8{,}0.$$

Ток на участке сети ck:

$$I_{ck} = 1{,}2339\ I_{hg} - 570 + 0{,}0412\ I_{gh} - 8{,}0 - 155 + 0{,}0697\ I_{hg} = 1{,}3448\ I_{hg} - 733.$$

Напряжение на подстанции c:

$$V_c = V_k + 44{,}4\ I_{ck} = 156{,}5\ I_{hg} - 51\,350.$$

Ток станции III:

$$I_{III\,c} = \frac{196{,}6 \cdot 10^3 - V_c}{116{,}4} = 2\,129 - 1{,}343\ I_{hg}.$$

Ток нагрузки подстанции c:

$$I_{cc}' = \frac{V_c}{271{,}4} = 0{,}577\ I_{hg} - 189{,}3.$$

Ток нагрузки подстанции m:

$$I_{mc} = \frac{V_c}{53{,}2 + 1\,516} = 0{,}0997\ I_{gh} - 32{,}75.$$

Ток станции III является суммой токов I_{ck}, I_{cc}' и I_{cm} и поэтому может быть представлен выражением:

$$I_{III\,c} = 1{,}3448\ I_{hg} - 733 + 0{,}577\ I_{hg} - 189{,}3 + 0{,}0997\ I_{hg} - 32{,}75.$$

Приравнивая это выражение полученному нами выше, будем иметь:

$$2\,129 - 1{,}343\ I_{hg} = 1{,}3448\ I_{hg} - 733 + 0{,}577\ I_{hg} - 189{,}3 + 0{,}0997\ I_{hg} - 32{,}75.$$

Откуда

$$I_{hg} = \frac{3\,084{,}05}{3{,}3645} = 917\ \text{A}.$$

б) Аналогичным образом определяются токи второй ветви.

$$V_f = 12{,}46\ I_{fh};$$

$$I_{ff}' = \frac{V_f}{1\,214} = 0{,}01026\ I_{fh};$$

$$I_{V\,f} = \frac{196{,}6 \cdot 10^3 - V_f}{589{,}5} = 333{,}5 - 0{,}0211\ I_{fh};$$

$$I_{ef} = I_{fh} + I_{ff}' - I_{V\,f} = 1{,}0314\ I_{fh} - 333{,}5;$$

$$V_e = V_f + 28\ I_{ef} = 12{,}46\ I_{fh} + 28{,}8\ I_{fh} - 9\,340 = 41{,}26\ I_{fh} - 9\,340;$$

$$I_{ee}' = \frac{V_e}{2\,528} = 0{,}01632\ I_{fh} - 3{,}695;$$

$$I_{de} = I_{ee}' + I_{ef} = 1{,}0477\ I_{fh} - 337{,}2;$$

$$V_d = V_e + 35{,}2\ I_{de} = 41{,}26\ I_{fh} - 9\,340 + 36{,}9\ I_{fh} - 11\,870 = 78{,}16\ I_{fh} - 21\,210;$$

$$I_{IV\,d} = \frac{196{,}6 \cdot 10^3 - V_d}{211{,}2} = 932 - 0{,}37\ I_{fh} + 100{,}5 = 1\,032{,}5 - 0{,}37\ I_{fh};$$

$$I'_{dd} = \frac{V_d}{504} = 0{,}155\ I_{fh} - 42{,}1;$$

$$I_{ad} + I_{bd} = I_{de} + I_{dd}' - I_{IV\,d} = 1{,}0477\ I_{fh} - 337{,}2 + 0{,}155\ I_{fh} - 42{,}1 - 1\,032{,}5 + 0{,}37\ I_{fh} = 1{,}565\ I_{fh} - 1\,411{,}3;$$

$$I_{db} = 1{,}565\ I_{fh} - I_{ad} - 1\,411{,}8;$$

$$V_a = V_d + 41\ I_{ad} = 78{,}16\ I_{fh} - 21\,210 + 41\ I_{ad};$$

$$I_{aa}' = \frac{V_a}{470} = 0{,}1663\ I_{fh} - 45{,}2 + 0{,}0873\ I_{ad};$$

$$I_{I\,a} = \frac{196{,}6 \cdot 10^3 - V_a}{434{,}6} = 453 - 0{,}18\ I_{fh} + 48{,}8 - 0{,}0945\ I_{ad} = 501{,}8 - 0{,}18\ I_{fh} - 0{,}0945\ I_{ad};$$

$$I_{I\,a} = I_{ad} + I_{aa}';$$

$$501{,}8 - 0{,}18\ I_{fh} - 0{,}0944\ I_{ad} = I_{ad} + 0{,}1663\ I_{fh} - 45{,}2 + 0{,}0873\ I_{ad};$$

$$547 = 1{,}1817\ I_{ad} + 0{,}3463\ I_{fh}. \qquad (12)$$

Аналогичным образом для станции II.

$$V_b = V_d + 24\ I_{db} = 78{,}16\ I_{fh} - 21\,210 + 24\,(1{,}565\ I_{fh} - I_{ad} - 1\,411{,}8) = 115{,}71\ I_{fh} - 24\ I_{ad} - 55\,110;$$

$$I_{bb}' = \frac{V_b}{166{,}4} = 0{,}696\ I_{fh} - 0{,}1442\ I_{ad} - 331;$$

$$I_{II\,b} = \frac{196{,}6 \cdot 10^3 - V_b}{80{,}05} = 3\,144 - 1{,}447\ I_{fh} + 0{,}3\ I_{ad};$$

$$I_{II\,b} = I_{bb}' + I_{bd};$$

$$3\,144 - 1{,}447\ I_{fh} + 0{,}3\ I_{ad} = 0{,}696\ I_{fh} - 0{,}1442\ I_{ad} - 331 + 1{,}565\ I_{fh} - I_{ad} - 1\,411{,}8;$$

$$4\,886{,}8 = 3{,}708\ I_{fh} - 1{,}4442\ I_{ad}. \qquad (13)$$

Решив систему уравнений (12) и (13), мы получаем

$$I_{fh} = 1\,346\ \text{A} \text{ и } I_{ad} = 69\ \text{A}.$$

[1] См. „Электричество", 1931, стр. 694.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таким образом ток короткого замыкания на шинах в 110 kV подстанции h от сети $I_h = 2\,263$ A.

Если произвести аналогичным образом подсчет тока короткого замыкания на шинах подстанции h от сети при отсутствии учета нагрузок, то получим $I = 2\,845$ A.

Таким образом сверхток в точке h сети при отсутствии учета нагрузок станций будет на 25,7% выше тока, который будет на самом деле.

Вычисляя подобным образом сверхток в пункте h с учетом нагрузок при трехполюсном замыкании, мы получим:

$$I_{gh} = 866 \text{ A},$$
$$I_{fh} = 1\,405{,}4 \text{ A}$$
$$I_k = 2\,271{,}4 \text{ A},$$

т. е. величину большую, чем при двухполюсном замыкании. Без учета нагрузок мы будем иметь $I_k = 3\,037$ A. Разность этих значений составляет 33,7% по отношению к току с учетом нагрузок.

Определим теперь сверхтоки на участках fh и gh. Для этой цели мы произведем смыкание разрезанных линий и определим уравнительные токи, возникающие в нашей сети при этом замыкании.

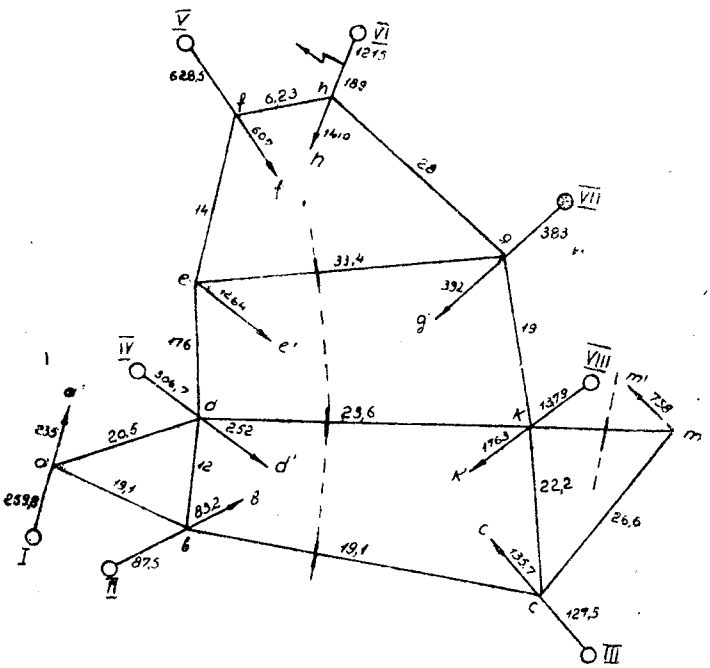


Рис. 9

Сомкнем прежде всего разрез линии eg. Напряжение на шинах подстанции g

$$V_g = 56\, I_{hg} = 56 \cdot 917 = 51\,300 \text{ V},$$

напряжение на шинах подстанции e

$$V_e = 12{,}46\, I_{fh} + 28\, I_{fe} = 12{,}46 \cdot 1\,346 + 28 \cdot 1\,056{,}5 = 46\,340.$$

Разность напряжений между этими пунктами равна

$$V_g - V_e = 4\,960 \text{ V}.$$

Реактанц пути искомого уравнительного тока слагается из реактанца участка eg, реактанца участка gh с приключенными к нему параллельно участками $VII\,g, gg$ и ветви $g\,k\,VIII\,k'c\,c'\,III\,m$, реактанца участка eh с приключенными к нему параллельно ветвями $e\,d\,IV, d', I, a', II\,b'$. Мы, однако, пренебрежем всеми побочными ответвлениями, возьмем только основной путь уравнительного тока $hgeh$, причем реактанц участка gh мы снизим до 40 Ω, а реактанц eh до 30 Ω; при таких условиях уравнительный ток будет равен:

$$i_{y_1} = \frac{4\,960}{40 + 30 + 66{,}8} = 36{,}3 \text{ A}.$$

Если произвести точные вычисления этого тока, то мы получаем значение его равное 38,5 A. Ток этот настолько невелик, что его можно было бы не вычислять.

Применяя выражение (2), мы получим:

$$\frac{i_y}{I} = \frac{4\,960}{46\,340} \cdot \frac{30}{46 + 30 + 66{,}8} = 2{,}35\%.$$

В действительности же, благодаря наличию ветвей Δf и ff' мы имеем еще меньшую величину

$$\frac{i_y}{I} = \frac{38{,}5}{2\,263} = 1{,}7\%.$$

Уравнительный ток на участке fh равен

$$i_{yfh} = \frac{36{,}3 \cdot 30}{28 + 12{,}46} = 26{,}9 \approx 25 \text{ A}.$$

Уравнительный ток на участке gh

$$i_{ygh} = \frac{36{,}3 \cdot 40}{56} = 26 \approx 25 \text{ A}.$$

Перейдем теперь к смыканию линии kd. Линию eg мы представим себе снова разомкнутой.

Внесем поправки в величины напряжений пунктов d и k. Напряжение пункта d до замыкания линии ge было равно

$$V_g = 78{,}16\, I_{fh} - 21\,210 = 78{,}16 \cdot 1\,346 - 21\,210 = 84\,090 \text{ V}.$$

Напряжение пункта k при этих условиях было равно

$$V_k = 96{,}7\, I_{hg} - 18\,800 = 96{,}7 \cdot 917 - 18\,800 = 69\,800 \text{ V}.$$

После того как было произведено смыкание линии ge по линии gh протек ток I_{gh} по направлению от h к g, уменьшающий основной сверхток, так что падение напряжения на участке gh уменьшилось, наоборот, на участке eh уравнительный сверхток имеет то же направление, как и основной, и, следовательно, падение напряжения на этом участке возрастает. В силу этого разность напряжений между пунктами d и k возрастает.

Это увеличение мы определим следующим образом. До смыкания разность напряжения между пунктами e и g была 4 960 V, после смыкания она станет равной

$$36{,}3 \cdot 66{,}8 = 2\,426 \text{ V}.$$

Таким образом увеличение разности напряжений между пунктами d и k будет равно

$$4\,960 - 2\,426 \approx 2\,530 \text{ V}$$

и потому

$$V_{dk} = 84\,090 - 69\,800 + 2\,530 = 16\,920.$$

Так как, однако, на участке kg потечет уравнительный ток (нами не вычисленный) по направлению kg, который напряжение V_k увеличивает, а на участке de уравнительный ток по направлению ed (также нами не вычисленный), который напряжение пункта d уменьшает, то мы вычисленную разность потенциалов несколько изменим и примем равной

$$V_{dk} = 16\,200 \text{ V}.$$

Уравнительный ток, который возникнет в линии dk при смыкании последней, будет определяться этой разностью потенциалов и равнодействующей реактанцев ветвей

$$k \begin{cases} g, g', VII, h \\ VIII, k', c, c', m \end{cases} \quad \text{и} \quad d \begin{cases} e, e', f, V, f'h \\ IV, d', a, I, a', b, b', II. \end{cases}$$

Мы упростим эту несколько сложную схему и примем, что уравнительный ток течет лишь по ветвям

$$\begin{matrix} IIIc \\ hg \end{matrix} \Big\rangle\, k \quad \text{и} \quad \begin{matrix} IIb \\ he \end{matrix} \Big\rangle\, d.$$

Реактанц пути

$$\begin{matrix} IIIc \\ hg \end{matrix} \Big\rangle\, kd \,\Big\langle \begin{matrix} IIb \\ he \end{matrix}$$

выразится:

$$\frac{(116{,}4 + 44{,}4)(56 + 33)}{116{,}4 + 44{,}4 + 56 + 33} + 47{,}2 + \frac{(80{,}05 + 24)(12{,}46 + 28 + 35{,}2)}{80{,}05 + 24 + 12{,}46 + 35{,}2 + 28} =$$
$$= 57{,}3 + 47{,}2 + 39{,}0 = 143{,}5\ \Omega.$$

В действительности благодаря наличию дополнительных ветвей этот реактанц будет несколько ниже; мы примем, что он будет равен

$$30 + 46{,}0 + 47{,}2 = 123\ \Omega.$$

Уравнительный ток по линии kd

$$i_{ykd} = \frac{16\,200}{123} = 132 \text{ A},$$

что составляет от полного тока короткого замыкания

$$100 \cdot \frac{132}{2\,263} = 5{,}8\%.$$

Уравнительный ток в линии dh будет равен

$$132 \cdot \frac{30}{12{,}46 + 28 + 35{,}2} = 52 \text{ A}.$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

В действительности этот ток будет несколько меньше благодаря наличию ветвей, которые мы оставили вне внимания, как, например, ee', Vf и ff'. Поэтому ток этот мы примем равным 47 A.

Уравнительный ток в линии kh будет равен

$$132\ \frac{46{,}0}{33+56} = 75\ \text{A}.$$

Учтя уменьшение этого тока из-за наличия неучтенных ветвей, примем его равным 65 A.

Перейдем теперь к смыканию линии bc. Напряжение в пункте c до смыкания было равно

$$V_c = 156{,}5 \cdot 917 - 51\,350 = 92\,150\ \text{V}.$$

Напряжение в пункте b

$$V_b = 115{,}71 \cdot 1\,346 - 24 \cdot 69 - 55\,110 = 98\,830\ \text{V}.$$

Определим поправки в величинах напряжений V_b и V_c от вычисленных ранее уравнительных токов; для этой цели мы примем во внимание лишь уравнительные токи последнего смыкания. Уравнительный ток по линии IId, считая результирующий реактанц ветвей $II\,b$ и bb' приблизительно равным $\frac{2}{3}\,80\ \Omega$.

$$i_{yIIb} = 132\,\frac{30}{24+\frac{2}{3}\,80}\cdot\frac{\frac{2}{3}\,80}{80} = 34{,}2\ \text{A}.$$

Напряжение в пункте b равно

$$V_b = 98\,830 - 34{,}2 \cdot 80{,}05 = 96\,100\ \text{V}.$$

Уравнительный ток линии $III\,c$, считая результирующий реактанц ветвей $III\,c, cc'$ и cmm' равным

$$\frac{2}{3}\,116{,}4\ \Omega,$$

$$i_{yIIIc} = 132\,\frac{46}{44{,}4+\frac{2}{3}\,116{,}4}\cdot\frac{\frac{2}{3}\,116{,}4}{116{,}4} = 33{,}3\ \text{A}.$$

Напряжение в пункте c

$$V_c = 92\,150 + 33{,}2 \cdot 116{,}4 = 96\,010\ \text{V}.$$

Таким образом необходимости в вычислении уравнительных токов по линии bc не имеется. Если бы в результате поправок на уравнительный ток участка dk или eg мы получили бы значительную разность потенциалов между пунктами b и c, то не представило бы большого труда вычислить уравнительный ток на участках fh и gh, возникающий от смыкания разреза линии bc.

Суммируя полученные нами токи на участке fh, мы будем иметь сверхток последнего участка

$$I_{kfh} = 1\,846 + 25 - 47 = 1\,824\ \text{A}.$$

То же на участке gh:

$$I_{kgh} = 917 - 25 + 65 = 957\ \text{A}.$$

Суммируя эти величины, мы получаем полный ток в точке h на 18 A больше, чем определенный выше.

Перейдем теперь к определению тока короткого замыкания за подстанцией k.

Аналогично предыдущему примеру находим следующую систему уравнений:

для ветви $h\,g\,k\,c\,III$:

$$3\,121{,}7 = 12{,}714\ I_{oh} - 8{,}436\ I_{fh}; \qquad (1)$$

для ветви $h\,f\,e\,d\,II$:

$$4\,889{,}7 = 14{,}144\ I_{oh} + 3{,}72\ I_{fh} - 1{,}444\ I_{ad}, \qquad (2)$$

для ветви $h\,f\,e\,d\,I$:

$$945{,}7 = 2{,}78\ I_{oh} + 0{,}489\ I_{fh} + 1{,}257\ I_{ad}. \qquad (3)$$

Решая эту систему уравнений, получим:

$$I_{oh} = 297{,}5\ \text{A};\ I_{fh} = 192\ \text{A};\ I_{ad} = 19{,}8\ \text{A}.$$

Проведя этот расчет без учета нагрузок, будем иметь ток

$$I_{oh} = 442\ \text{A}.$$

Разница между этими значениями сверхтока линии oh равна 48,5%.

Аналогичным образом можно подсчитать и ток трехполюсного замыкания в той же самой точке; при учете влияния нагрузок он получается равным 342 A; при отсутствии учета нагрузок мы будем иметь 666 A. Разница между этими значениями сверхтока по отношению к меньшей величине составляет 94,7%.

Наконец, рассмотрим еще случай короткого замыкания на шинах с напряжением в 6 kV подстанции 38/6 kV, питаемой от подстанции h. Мощность этой подстанции равна 4 000 kVA питается она через линию передачи длиною 20 km. Суммарный реактанц этой части установки равен 273 Ω. Реактанц остальной части нагрузки на шинах 38 kV подстанции h определился в 5 879 Ω. Сверхток трехполюсного замыкания с учетом нагрузок в этом случае будет $I_k^{(3)} = 151$ A, без учета нагрузок $I_k^{(3)} = 320$ A. Разница между этими значениями по отношению к меньшей величине составляет 112%.

Итак, из всего вышеизложенного мы видим: 1) что в сложных районных сетях ток трехполюсного замыкания может стать больше двухполюсного даже на стороне в 110 kV, за первой же понизительной подстанцией он, как правило, больше двухполюсного; 2) расчет сверхтоков при отсутствии учета нагрузки в сети дает тем более преувеличенное значение его, чем больший реактанц отделяет место короткого замыкания от мощных станций сети; снижение сверхтока благодаря наличию нагрузок на 50%—вполне возможный случай даже в сети с напряжением в 38 kV.

Интересно теперь поставить следующий вопрос: при какой величине внешнего реактанца ток двухполюсного короткого замыкания становится равным току трехполюсного короткого.

На основании выражений спрямленных внешних характеристик, данных в предыдущей статье [1], легко найти значение этого реактанца. Он получается равным $x = 1{,}833$, т. е. ток двухполюсного короткого замыкания будет равен току трехполюсного тогда, когда реактанц внешней части пути короткаго замыкания равен реактанцу генератора при трехполюсном замыкания [2].

БИБЛИОГРАФИЯ

О литературе по выключающим устройствам

Н. И. ЖИВЕЙНОВ, **Новые выключающие устройства в технике высокого напряжения,** ОНТИ, 1932

Одним из узких мест в развитии крупных сетей высокого и сверхвысокого напряжений является выключающая аппаратура. Условия устойчивости при параллельной работе станций и громадные токи короткого замыкания, достигающие в современных сетях десятков и сотен тысяч ампер, предъявляют весьма суровые требования к этой аппаратуре. Современные масляные выключатели уже не в состоянии удовлетворительно справиться с этими возросшими требованиями. Поэтому понятны многочисленные поиски других путей в постройке аппаратов для отключения больших мощностей, которыми характеризуются работы ряда мировых капиталистических фирм за последние годы.

Дейонные выключатели, водяные, паровые, сжатого газа и т. п., являются материальным выражением этих попыток. Громадные задачи, которые стоят перед нашей страной в деле социалистической электрификации, и, в частности, предстоящее строительство, не имеющее примера во всем мире, единой высоковольтной сети в масштабе одной шестой земного шара, заставляют нас сугубо внимательно подойти к этим исканиям и путем тщательного анализа отобрать те из них, которые могут быть использованы в практике нашего социалистического строительства. Здесь, как и в любой отрасли техники, недопустимыми являются как пренебрежение достижениями капиталистической техники, так и слепое, некритическое отношение к ним.

Тов. Живейнову в его брошюре „Новые выключающие устройства в технике высокого напряжения" не удалось, к сожалению, избегнуть некоторых недостатков по этой линии.

[1] „Электричество", № 13, 1931.

[2] Более подробно см. вып. 3 Трудов Электротехнического отдела Украинского института промэнергетики.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Поставив себе цель—дать советскому электротехнику знакомство с последними работами американских и немецких исследователей в области высоковольтной выключающей аппаратуры за последние годы (работы Слепьяна, Бирманса, Кессельринга и др.), автор дал перевод отдельных мест из статей этих исследователей, появившихся в иностранной технической печати, снабдив их кое-какими рассуждениями и примечаниями, теоретическая ценность которых находится под большим сомнением.

Так, автор на первой же странице заявляет, что выключение не масляными выключателями является теоретически более оправданным, чем выключение масляными выключателями. Такое утверждение нельзя не признать слишком скоропалительным. Во-первых, оно еще никем не доказано, а во-вторых, даже в современных масляных выключателях натуральная диэлектрическая прочность используется всего на 7÷10%, т. е. еще в 10÷15 раз можно повышать использование его до полного предела. Что этот путь еще много может дать, показывают хотя бы работы американцев с камерой масляного дутья (Oil Blast Chamber).

Здесь же мы находим такое рассуждение: „Каждая новая идея, приводящая к новой конструкции выключателей, является результатом рассмотрения особенностей физических, электрических и термодинамических процессов, происходящих в выключателе". Едва ли можно так говорить о развитии капиталистической техники, где, как известно, существует весьма основательная диспропорция между далеко ушедшей вперед практикой и теорией и господствует, особенно в аппаратостроении, „ползучий эмпиризм". Само разнообразие путей, которыми буржуазные электротехники пытаются решить проблему выключения больших мощностей, как нельзя лучше подчеркивает это. Насколько еще теория выключателей пребывает в пеленках, можно видеть хотя бы из дискуссии на очередной годичной конференции немецких электротехников во Франкфурте в 1931 г. по докладу Ф. Кессельринга, когда указывалось, что такое общеустановленное понятие, как „разрывная мощность выключателя", ничего не выражает, поскольку значения ее могут колебаться в зависимости от нагрузки в сети от 1 до 10 раз. Поэтому теряет вообще смысл оперирование этой до сего времени главнейшей характеристикой выключателя.

Не менее поверхностно суждение автора о том, что осциллографическое определение тока короткого замыкания может быть с удобством осуществлено и с помощью теоретических исследований явлений короткого замыкания (стр. 2), хотя всякому электротехнику, работавшему в этой области, хорошо известно, что теоретически определение токов короткого замыкания страдает большой неточностью; для сложных сетей такое определение становится даже невозможным и, следовательно, заставляет прибегать к экспериментированию на специальных схемах замещения (расчетных столах).

Неверным является также утверждение автора о том, что для гашения дуги переменного тока, сопротивление последней никакой существенной роли не играет. Любая осциллограмма разрыва дуги показывает, что разрыв дуги наступает только тогда, когда напряжение на дуге (напряжение зажигания) становится выше, чем напряжение сети в этом месте. Сопротивление же дуги не имеет значения лишь в самый момент разрыва дуги, когда ток проходит через нуль и дуга, по сути дела, перестает существовать.

Чувствуется, что автор не овладел материалом и излагает его весьма путано и тяжело. Что, например, автор понимает под следующими строками: „Напряжение между электродами вольтовой дуги состоит, как известно, из скачка напряжения между катодом (Kathodenfall) и дугой, падения напряжения в самой дуге и скачка напряжения между дугой и анодом (Anodenfall). Излученные раскаленным катодом электроны проходят через катодный скачок напряжения и приобретают достаточным ускорением, чтобы ионизировать газовый промежуток, который может находиться под воздействием температуры, иногда более высокой, чем температура катода. В результате ионизации газовая колонна разрывного промежутка приобретает свойства достаточной проводимости. Вместе с тем ионизация обусловливает появление в газовом промежутке свободных положительных ионов, которые препятствуют очень быстрому приращению количества отрицательных зарядов перед катодом. В противном случае перед катодом появилось бы вскоре очень плотное облако электронов, которое создало бы препятствие сквозному продвижению остальных электронов".

На чрезвычайно рискованный путь становится автор, выдвигая взамен существующей свою собственную терминологию. Так, например, вместо общеупотребительного термина „восстанавливающееся напряжение" автор применяет „возвратное напряжение", вместо „пожар масла" автор пишет „масляный пожар", вместо „дейонная решетка"—„дейонная шапка" и т. д.

В одном месте, где описывается водяной выключатель, автор замечает: „Как известно, образующаяся в момент перерыва электрической цепи вольтова дуга освобождает из воды определенное количество гремучего газа". Как известно, при электролизе выделяются из воды водород и кислород, что лишь в известных условиях может привести к образованию гремучего газа. Если принять это во внимание, то и самая критика автором водяного выключателя будет выглядеть несколько иначе.

Мы полагаем, что такая брошюра едва ли даст возможность советскому читателю получить правильное представление о „новых выключающих устройствах в технике высокого напряжения". Было бы значительно лучше (и это уже давно назрело), если бы ОНТИ (Энергоиздат) выпустило просто сборник хорошо отредактированных переводов важнейших статей по разбираемому вопросу (Слепьяна, Бирманса, Кессельринга и др.), чем преподносить их читателю в такой неряшливой переработке, как это сделано в данной брошюре.

И. Палицин
Б. Иоффе

ИЗ КНИГ И ЖУРНАЛОВ

Линии передачи и сети

Новые опыты по конструированию линий с распределенными вдоль нее защитными аппаратами „El. World", 5 декабря 1931, стр. 1002

Точный переход американского понятия подобной линии наглядно характеризует ее особенности: это своего рода „дренажные" приспособления, расположенные вдоль линии и отсасывающие в землю энергию блуждающих волн. Последние при своем движении быстро ликвидируются до безопасной с эксплоатационной точки зрения величины. Кроме этого защитные приспособления имеют назначение защитить гирлянду от разрушительного действия мощных вольтовых дуг и защитить или, во всяком случае, сократить число выпадений линий в процессе ее эксплоатации. Описываемые опыты производятся на линии Arkansas Power & Light Co 110 kV, идущей на деревянных опорах Н-образного типа, и имеют целью удешевить и упростить грозовую защиту линий, отбросив заземленные тросы. Желательно было создать путь для искры разряда помимо гирлянды и ее арматуры, т. е. вниз от точки подвеса провода, кроме того, надо иметь приспособление, разрывающее дугу рабочего напряжения; первые попытки применить для последнего взрывные предохранители оказались достаточно дорогими и эксплоатационно неоправдываемыми. Pittman поэтому предложил заменить их просто уменьшенным искровым промежутком и открытой по концам фибровой

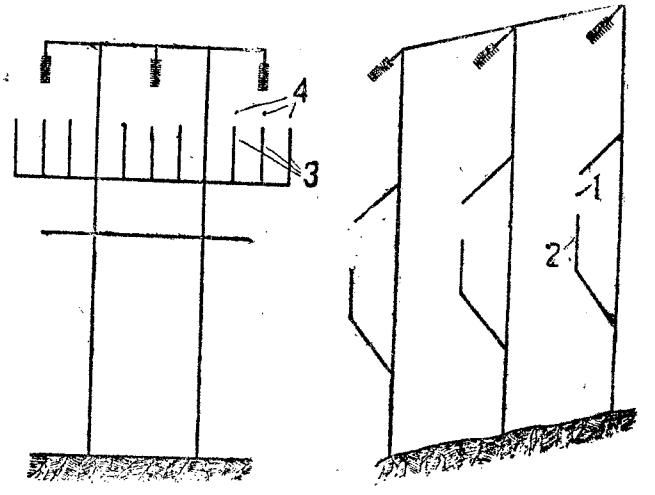


Рис. 1. 1—искровой промежуток; 2—защитная трубка; 3—защитная трубка 4—искровой промежуток

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

трубкой, в которой и имеет место разрыв дуги. Приводимый ниже эскиз конструкции поясняет идею автора (рис. 1).

Автор, однако, недостаточно четко указывает, были ли установлены взрывные предохранители или же предохранители его типа. Очевидно, что на двух участках линий в 39 миль (Camden-Magnolia) и в 25 миль (Magnolia-Oxay) были установлены и те и другие. Отдельные дренажные точки были расположены на расстоянии от $1^1/_2$ до 2 миль одна от другой. Статистические данные, полученные за конец 1930 г. и за 1931 г., дают основания считать работу как взрывных, так и трубчатых предохранителей предложенной конструкции достаточно удовлетворительной. На линии в 32 мили выяснилась в процессе наблюдений необходимость расположить точки установки взрывных предохранителей на $^1/_2$ мили одна от другой, однако, по этому участку данных еще не получено. Во всяком случае, по заявлению автора, результаты опытной эксплоатации этих приборов говорят об их полезности.

К. Стефанов

W. KEHSE. **Изоляция больших трансформаторов высоких напряжений, „ETZ", 1931, № 46, стр. 1417—1418**

В статье проводится сравнение изоляции трансформаторов конструкции европейских и американских фирм. На числовом примере показано, как влияет применение большого количества меди в американских трансформаторах на их стоимость и эксплоатацию.

Мощность трансформаторов в большой мере зависит от величины заполнения железом. Если 3—4 года назад считалась вполне удовлетворительной величина заполнения 70%, то в настоящее время удается благодаря применению листового железа толщиною 0,5 mm, покрытого лаком вместо бумажной проклейки, достигать заполнения до 80% и больше. Эти 10% увеличения заполнения означают примерно 10% снижения веса меди. Круглые катушки трансформаторов не являются идеальными; небольшим изменением их конструкции можно достигнуть еще лучших результатов. Дальнейшая экономия может быть получена за счет уменьшения расстояния в радиальном направлении низковольтной обмотки от высоковольтной, а также уменьшения расстояния от меди до ярма.

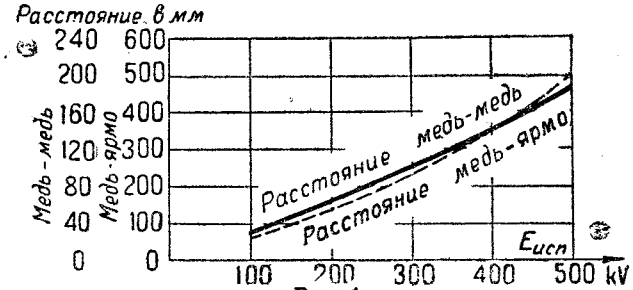


Рис. 1.

Прежде для 110 kV трансформаторов расстояние от высоковольтной обмотки до низковольтной обычно принималось равным 80—90 mm и от меди до ярма 250 mm; в настоящее время эти расстояния принимаются соответственно 70 и 140 mm (рис. 1). Это дает уменьшение длины сердечника на 200 mm. Кроме того, существенно важным является то, что снижается высота трансформатора. Уменьшение расстояний достигается благодаря применению угловых шайб и устройству нескольких тонких цилиндров между обмотками высокого и низкого напряжений. Применение угловых шайб выдвинуто американскими фирмами, строящими трансформаторы. Существенная разница в выполнении трансформаторов европейскими и американскими фирмами заключается в изоляции обмотки. В Америке особенно сильно изолируют только начальные катушки трансформаторов, в Европе обычно усиленно изолируют обмотку на всей длине.

Как видно из нижеприведенной таблицы, для трансформатора на рабочее напряжение 110 kV (или, что то же, на 230 kV испытательного напряжения) американские фирмы применяют следующие величины изоляции: для начальных катушек от 3,08 до 1,4 mm, для остальной обмотки 0,81 mm (толщина изоляции везде дана двухсторонняя). Одна из крупных европейских фирм применяет для подобного трансформатора обмотку с изоляцией в 2,2 mm. Получается существенная разница в месте, нужном для изоляции, в трансформаторах, выполняемых в Америке и Европе.

Например, для трансформатора трехфазного тока мощностью 10 000 kVA при напряжении 110 kV и силе тока 52,5 A получаются следующие данные:

	Америка mm²	Европа mm²
Вычисленное сечение . . .	$\frac{52,5}{2,5} = 21$	$\frac{52,5}{4} = 13$
Принятое сечение меди . .	$3 \cdot 7 = 21$	$2 \cdot 6,5 = 13$
Изолированного проводника	$3,8 \cdot 7,8 \simeq 30$	$4,2 \cdot 8,7 = 36,54$

В Америке обычно допускают плотность тока 2,5 A/mm², а в Европе 4 A/mm². Все же, несмотря на эту разницу, место, занимаемое обмоткой, в обоих случаях почти одинаково.

Из сравнения трансформаторов, выполненных в Америке и в Европе, следует, что американские трансформаторы при больших мощностях имеют в 2 раза больше, а при малых мощностях в 2,5 раза больше меди, чем европейские трансформаторы при приблизительно одинаковых количествах железа. Немецкие фирмы стремятся к возможно большему удешевлению трансформатора. Америка идет по пути повышения степени использования обмотки. Вследствие малых потерь в меди американские фирмы легче справляются с отводом тепла через масло, и при самоохлаждающихся типах трансформаторов их баки имеют гораздо меньшую поверхность охлаждения и, следовательно, стоят дешевле.

В статье дан числовой пример подсчета того, как влияет большое количество меди на стоимость трансформатора и на его эксплоатацию. Взят трансформатор мощностью 10 000 kVA напряжением 110 kV. Европейские конструкции трансформатора имеют приблизительно 12 t железа и 1,8 t меди, американский трансформатор имеет железа около 12 t и меди 3 t. Плотность тока в первом случае принимается 4 A/mm², во втором случае 2,4 A/mm²; потери в меди соответственно 70 и 42 kW, потери в железе в обоих случаях одинаковы; суммарные потери выражаются в 110 kW и 82 kW. Если принять стоимость трансформатора без бака и масла, выражаемой по формуле (вес в килогр.):

2 · (вес железа) + 6,5 · (вес меди) = стоимость в марках,

то для европейской конструкции эта стоимость будет:

$2 \cdot 12\,000 + 6,5 \cdot 1\,800 = 35\,700$ марок (17 850 руб.), для американского трансформатора

$2 \cdot 12\,000 + 6,5 \cdot 3\,000 = 43\,500$ марок (21 750 руб.)

Американский трансформатор имеет потери меньше, чем европейский, на 28 kW. Если принять, что трансформатор будет работать при полной нагрузке 4 380 час. в год и стоимость 1 kW составляет 3 пфеннига (1,5 коп.), то экономия в стоимости энергии составит при американском трансформаторе в год $4\,380 \cdot 28 \cdot 0,03 = 3\,680$ марок (1 840 руб.), в то время как разница в первоначальных затратах в 7 800 марок (3 900 руб.). Следовательно, эта разница в стоимости окупится за два года эксплоатации. За 10 лет эксплоатации трансформатора американской конструкции получится экономия в размере 29 000 марок (14 500 руб.). Поэтому американские трансформаторы должны быть как можно полнее загружены. Если возможно будет загрузить трансформатор полной нагрузкой в течение всего года (8 760 час.), то экономия станет гораздо большей, а именно 7 360 марок (3 680 руб.) в год или за 10 лет 65 800 марок (32 900 руб.)

Автор приходит к выводу, что в случае длительной большой загрузки несомненно, выгодно применить трансформатора с большим количеством меди[1].

К. Пяртман

[1] В наших условиях следует учитывать не только общую денежную стоимость, но и стремиться к минимальному применению сырья, требующего валютных затрат, с учетом общей народнохозяйственной кон'юнктуры и условий загрузки трансформаторов в электросетях.

Редакция считает, что именно с этой точки зрения и следует подходить к решению вопроса,—выгоднее ли при изготовлении трансформаторов затрачивать почти в два раза больше меди, с тем чтобы в дальнейшем иметь экономию в эксплоатационных расходах, или же на данном этапе развития народного хозяйства выгоднее сэкономить медь, допустив несколько большие эксплоатационные расходы в ближайший период времени. *Ред.*

ОНТИ — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Техред *Г. Андреев*

РЕДКОЛЛЕГИЯ: Е. С. Аватков, В. И. Вейц, М. И. Грановская, Я. А. Климовицкий, И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, И. А. Сазонов, М. А. Шателен, Я. И. Шпильрейн ОТВ. РЕДАКТОР Я. А. Климовицкий

Сдано в набор 27/IV. Подписано к печати 21/V. Бумага 62×94. Об'ем 6 лист. Колич. тип. знак. 78 800 в листе.

Уполн. Главлита № Б 17344 9-я тип. Мособлполиграфа, Москва, Ильинка, Юшков, 10. 2016 Тираж 12 600

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

АННОТАЦИИ

Я. КЛИМОВИЦКИЙ. **Внимание вопросам эксплоатации электростанций.** „Эл—во", № 9, 1932, стр. 485.

В статье ставятся наиболее актуальные вопросы эксплоатации электростанций Союза на данном этапе. В связи с потребностями эксплоатации формулируются задачи советского энергомашиностроения, бесперебойного электроснабжения, улучшения качественных показателей (коэфициент использования установленной мощности, себестоимость киловатт-часа, расход топлива, косинус фи), улучшения топливоснабжения, механизации процессов, автоматизации управления, организации исследовательских работ по эксплоатации ремонтного дела на электростанциях и реализации во всем комплексе этих вопросов 6 исторических условий т. Сталина.

С. ГАРДЕНИН. **Основные элементы генплана электрификации Дальневосточного края.** „Эл—во", № 9, 1932, стр. 490.

В статье приводятся данные, положенные в основу составления генерального плана электрификации ДВК с его богатейшими природными богатствами и колоссальными гидроэлектрическими ресурсами. Особенно отмечается специфическая особенность использования водной энергии в связи с катастрофическими наводнениями рек ДВК. В статье приводится много цифровых данных о природных богатствах края, мощности будущих гидроцентралей и использования электроэнергии промышленностью.

П. П. ЛАУПМАН и В. А. ТОЛВИНСКИЙ. **Днепровская государственная электрическая станция.** „Эл—во", № 9, 1932, стр. 496.

Статья тт. Лаупмана и Толвинского дает общие сведения о Днепровской государственной гидроэлектрической станции и ее высоковольтной сети, вступающих в эксплоатацию в текущем году. Ряд статей по отдельным об'ектам Днепровской системы будет напечатан в дальнейших номерах журнала „Электричество" за этот год.

Н. Ф. СЕРГЕЕВ. **Методы защиты контактной сети электрических железных дорог постоянного тока от токов короткого замыкания.** „Эл—во", № 9, 1932, стр. 515.

Автор разбирает и сравнивает методы защиты контактной сети от токов короткого замыкания на электрических железных дорогах постоянного тока при помощи постов секционирования различных типов.

В конце статьи автор приводит числовой пример определения установок быстродействующих выключателей для одного конкретного случая.

П. К. ДЕНИСОВ. **Универсальная диаграмма тяговых сериес-двигателей.** „Эл—во", № 9, 1932, стр. 520.

Автор выводит номограмму пропорционального типа для быстрого предварительного вычисления одной из четырех связанных между собой величин тягового двигателя: часовая мощность, коэфициент загрузки потока, скорость, ускорение или удельное усилие.

В. М. ХРУЩОВ. **О расчете сверхтоков в сложных электрических сетях.** „Эл—во", № 9, 1932, стр. 524.

Статья содержит изложение практического способа подсчета сверхтоков методом спрямленной характеристики и иллюстрирована числовыми примерами. Указанный метод позволяет сравнительно просто решать подобные задачи для очень сложных и разветвленных сетей.

ОНТИ **КНИГОЦЕНТР**

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.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ОНТИ **КНИГОЦЕНТР**

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА НА **1932** ГОД

НА ЖУРНАЛ

СОЦИАЛИСТИЧЕСКАЯ СТРУКЦИЯ и НАУКА"

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

остановлению ЦК ВКП(б) о техпропаганде)

„СО-РЕ-НА" **выходит толстыми книгами 10 раз в год.**

„СО-РЕ-НА" издается органом Научно-исследовательского сектора и сектора технической пропаганды ВСНХ СССР.

„СО-РЕ-НА" рассчитан на научных работников, инженеров, хозяйственников, преподавателей и студентов вузов и втузов

„СО-РЕ-НА" издается при ближайшем участии наиболее крупных ученых, инженеров, хозяйственников и экономистов СССР. В журнале будут также даваться статьи выдающихся иностранных ученых.

„СО-РЕ-НА" помещает статьи руководящего характера, статьи по внедрению диалектического материализма в естественные и технические науки, теоретические статьи по всем общим дисциплинам, статьи по боевым вопросам современной техники, по организации научно-исследовательского и технического труда и т. п.

„СО-РЕ-НА" освещает главные основные проблемы и достижения зарубежной научной и технической мысли.

„СО-РЕ-НА" содержит помимо отдела статей, также отделы: Обзоры и рефераты. „Работа научно-исследовательских институтов СССР". „Библиография русская и иностранная". „Хроника СССР и заграницы", деятельность НИС и техпропа ВСНХ.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год—15 р., на 6 мес.—7 р. 50 к. Отдельный номер—2 р.

НОВЫЙ ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ

„ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ"

(МЕТОДИКА и ПРАКТИКА)

Орган сектора производственно-технической пропаганды ВСНХ СССР

ЖУРНАЛ СТАВИТ СВОЕЙ ЗАДАЧЕЙ:

Дать информационным органам нашей промышленности правильную установку работы, в соответствии с директивами партии о техпропаганде.

Дать инструктивный и методический материал по линии организации работы технических библиотек, групп технической информации и ячеек обмена опытом.

Организовать на страницах журнала обмен опытом в области этой работы.

Поставить на широкое обсуждение спорные вопросы и новые предложения.

Информировать читателя о формах и методах технической пропаганды на заводе.

Освещать новейшие советские и иностранные издания по вопросам техн.-информационной работы. Держать читателя в курсе техинформработы, проводимой в отдельных отраслях промышленности.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН

на работников органов технической информации, групп по обмену опытом и работников технических библиотек. Журнал представляет также интерес и для инж.-техн. работников нашей промышленности.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год . . . . . 15 р.,
на 6 мес. . . . . 7 р. 50 к.
на 3 мес. . . . . 3 р. 75 к.

Цена отдельного номера—1 р. 50 к.

Подписка принимается во всех отделениях и магазинах Книгоцентра ОГИЗа, его уполномоченными и на почте

6327

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru