

ЭЭ Лектрические танции

12



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1950

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

12

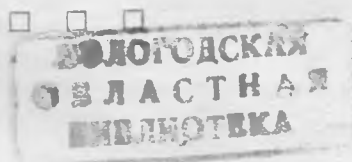
ДЕКАБРЬ
1950

Орган Министерства электростанций СССР

21-й ГОД ИЗДАНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

Передовая — От плана ГОЭЛРО к величайшим победам электрификации СССР . . .	3	А. С. Калинин и М. А. Случаев — Вибрация паровых турбин из-за коробления роторов во время работы	46
А. Д. Дубинчик — 25-летие Шатурской государственной районной электростанции им. В. И. Ленина	6	В. Л. Ляхов — Царговые разборные леса для ремонта обмуровки топок	47
В. А. Кириллин и Л. И. Румянцев — Экспериментальное определение удельных объемов водяного пара при $92 \div 524$ атм и $430 \div 600^\circ$ С	8	А. В. Мольнер — Механизация рассева фильтрующего материала	49
Я. М. Островский и В. Н. Березнеговская — Некоторые итоги освоения котлов высокого давления ТКЗ на электростанциях Мосэнерго	15	А. Г. Москалев — Из опыта эксплуатации автоматов разгрузки энергосистемы по частоте	49
В. С. Соколов — Ультразвуковой прибор для измерения толщины стенок труб . . .	21	В. Н. Гуревич — Изменение характеристики холостого хода возбудителя Е-51	50
Г. А. Киреев — Упрощение схемы "частотного" пуска турбогенератора	25	М. Д. Глейзер — Расчет габаритов при обрыве проводов	51
И. М. Сирота — Защита генераторов от замыканий на землю с шивными трансформаторами тока нулевой последовательности	27	ХРОНИКА	
В. И. Бойко, Е. С. Габа и В. С. Макогон — Скоростное внедрение автоматического повторного включения на линиях 110—220 кв	32	В Техническом управлении Министерства О дополнении п. 6 "Инструкции о мерах безопасности при производстве профилактических испытаний в устройствах высокого напряжения с подачей высокого напряжения от постороннего источника тока"	52
В. А. Козлов — О замкнутых сетях на промышленных предприятиях	35	О сокращении количества отдельных трансформаторов тока 110 ÷ 220 кв	52
Б. Л. Айзенберг — Ответ инж. В. А. Козлову	36	О заземлении фазы, по которой осуществляется высокочастотная передача	52
ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ		Новые технические условия на трубы для котлов и трубопроводов высокого давления — С. П. Гончаров	52
* — Приспособление для испытания блоков	38	Научно-исследовательские работы ЦНИЭЛ — С. М. Гортинский	54
Л. Д. Гинзбург-Шик — Способ подачи оборуования в котельную при одновременном сооружении фундаментов котлов . .	38	ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВО ЗА РУБЕЖОМ	
Н. В. Соснин и С. С. Якобсон — Термообработка сварных стыков трубопроводов	40	Экранные трубы котлов с продольными ответвлениями, обраб. И. И. Квири	57
А. И. Шиканян — Контроль качества труб магнитно-эмульсионным способом	41	Исследование явления короны на экспериментальной линии электропередачи 500 кв во Франции, обраб. Ю. А. Якуб . . .	57
Б. И. Киркор — Крупноблочный монтаж металлических конструкций	41	Содержание журнала "Электрические станции" за 1950 г.	58
ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ			
И. Я. Ершов и С. С. Рябиков — Опыт повышения к. п. д. теплоэлектроцентрали . .	44		



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**А. А. Боровой, П. Г. Грудинский, И. И. Гурвич, Б. И. Дуб, К. Д. Лавренко,
С. Г. Мхитарян, Н. Н. Романов, Б. М. Соколов, И. А. Сыромятников
С. Ц. Шаерман.**

Редактор К. Д. Лавренко

**Адрес редакции: Москва, Ветошный пер., ГУМ, III корпус, I эт., пом. 164.
Телефоны: редакции К 5-21-22; редактора Б 3-18-46 и комм. К 1-02-80, доб. 1-40.**

ОТ ПЛАНА ГОЭЛРО К ВЕЛИЧАЙШИМ ПОБЕДАМ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

30 лет назад, в декабре 1920 г., VIII Всероссийский съезд Советов утвердил первый государственный план развития народного хозяйства страны на основе электрификации — план ГОЭЛРО.

Величайшие гении человечества — Ленин и Сталин — создатели первого в мире социалистического государства, ясно видели, что без электрификации немыслимо экономическое преобразование отсталой России, что без создания мощного энергохозяйства невозможно перевести на новую техническую базу современное крупное производство.

Ленин указывал:

«Единственной материальной основой социализма может быть крупная машинная промышленность, способная реорганизовать и земледелие. Но этим общим положением нельзя ограничиться. Его необходимо конкретизировать. Соответствующая уровню новейшей техники и способная реорганизовать земледелие крупная промышленность есть электрификация всей страны».

И еще:

«Только тогда, когда страна будет электрифицирована, когда под промышленность, сельское хозяйство и транспорт будет подведена техническая база современной крупной промышленности, только тогда мы победим окончательно».

Огромную заботу от электрификации страны Ленин проявлял задолго до составления плана ГОЭЛРО.

Вскоре после Великой Октябрьской социалистической революции В. И. Ленин дает указание о строительстве опытной Шатурской электростанции на торфяном топливе. Через пять месяцев — весной 1918 г. — Ленин ставит перед Академией наук неотложную задачу скорейшего составления плана реорганизации промышленности и экономического подъема России на основе электрификации страны; в этом плане в числе других вопросов должно быть предусмотрено «Обращение особого внимания на электрификацию промышленности и транспорта и применение электричества к земледелию. Использование непереклассных сортов топлива (торф, уголь худших сортов) для получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего».

Эти важнейшие положения нашли также отражение в знаменитых тезисах Ленина об очеред-

ных задачах советской власти и легли в основу деятельности всех советских органов в тот период. В ряде районов страны и особенно в Москве, Петрограде и на Урале были созданы комитеты по электрификации, развернувшие исследования и подготовительные работы для проектирования и сооружения крупных районных электростанций.

При Высшем совете народного хозяйства (ВСНХ) было создано Управление электротехнических сооружений. По указанию Ленина при этом Управлении осенью 1918 г. был образован Центральный электротехнический совет для решения всех технических вопросов в области нового электростроительства. Были начаты также и практические работы по строительству Волховской и Свирской гидроэлектростанций, расширению подмосковной грЭС «Электрпередача» и сооружению Каширской грЭС.

В неблагоприятных условиях военного времени и хозяйственной разрухи начались работы по сооружению первенцев электрификации.

Таково было предверие плана ГОЭЛРО.

Весной 1920 г., после разгрома Красной Армией основных сил иностранной интервенции и Белогвардейской контрреволюции, по указанию Ленина создается широкая общегосударственная Комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО), к работе которой было привлечено около 200 крупнейших специалистов страны.

План ГОЭЛРО намечал сооружение в стране 30 районных электростанций общей мощностью в 1500 тыс. кВт, в том числе 20 тепловых и 10 гидроэлектростанций. Кроме того, предусматривались реконструкция отдельных дореволюционных электростанций и увеличение их мощности на 250 тыс. кВт. Общая программа строительства по плану ГОЭЛРО была составлена для получения 1750 тыс. кВт новой мощности со сроком ввода за 10—15 лет. По плану ГОЭЛРО намечено было повысить в стране выработку электроэнергии на 8,8 млрд. кВтч и довести ее до 10 млрд. кВтч.

Для своего времени эти задания плана ГОЭЛРО были поистине грандиозными. Нужно учесть, что в дореволюционной России в 1913 г. мощность всех электростанций страны составляла только 1098 тыс. кВт, а выработка электроэнергии — около 2 млрд. кВтч.

Товарищ Сталин высоко оценил план ГОЭЛРО, указывая, что это «Мастерский набросок действительно единого и действительно государственного хозяйственного плана...

марксистская попытка подведения под советскую надстройку хозяйственно-отсталой России действительно реальной и единственно возможной при нынешних условиях технико-производственной базы».

С энтузиазмом боролись миллионы трудящихся нашей страны, вопреки блокаде, заговорам и кровавым походам полчищ международного империализма, за великое дело хозяйственного возрождения обновленной России для создания материальной основы нового общества. Стало всенародно популярным мудрое ленинское изречение: «Коммунизм — это есть советская власть плюс электрификация всей страны».

Говоря о задачах электрификации, товарищ Сталин указывал: «...под электрификацией страны Ленин понимает не изолированное построение отдельных электростанций, а постепенный «перевод хозяйства страны, в том числе и земледелия (курсив мой. И. Ст.), на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства», связанного так или иначе, прямо или косвенно, с делом электрификации».

Под руководством товарища Сталина план ГОЭЛРО был перевыполнен в минимальный из намеченных сроков — за 10 лет, а к концу 1935 г. — максимальному сроку — введенная в действие новая мощность электростанций уже почти в 3 раза превысила задание плана ГОЭЛРО.

Выработка электроэнергии на всех электростанциях страны возросла более чем в 13 раз по сравнению с 1913 г. Это в 2,5 раза превысило выработку, намеченную планом ГОЭЛРО.

Уже к 1935 г. СССР прочно выдвинулся на одно из первых мест в мире по выработке электроэнергии, оставив позади не только опережавшие прежде Россию маленькие Швецию и Швейцарию, но даже такие крупные капиталистические страны, как Франция, Англия, Япония и др.

Но план ГОЭЛРО был перевыполнен не только в количественном отношении. На основе социалистического планирования и применения достижений науки и техники было осуществлено наиболее рациональное построение энергетического хозяйства нашей страны. Это обеспечило дальнейшее развитие электрификации СССР за годы сталинских пятилеток в невиданных масштабах и создало условия для бесперебойного энергоснабжения народного хозяйства в тяжелых условиях военного времени.

Тридцатилетие плана ГОЭЛРО знаменательно совпало с блестящим завершением советским народом огромных заданий первой послевоенной сталинской пятилетки.

Тридцатилетие ГОЭЛРО совпадает также с началом грандиозных работ по возведению на Волге, Аму-Дарье и Днепре новых величайших в мире гидроэнергетических сооружений. Эти стройки коммунизма явятся новой ступенью в деле претворения в жизнь гениального сталинского плана преобразования природы на огромных территориях и создания изобильной материально-технической базы для построения коммунистического общества.

Советский народ, параллельно со строительством тысяч других промышленных и энергетических

объектов, за 5—6 лет сооружает такие величайшие в мире гидроэлектростанции, как Куйбышевская гЭС мощностью 2 млн. кВт и Сталинградская гЭС мощностью 1,7 млн. кВт. Мощность только этих двух гидроэлектростанций на Волге почти в 2,5 раза превышает мощность десятков электростанций, намеченных планом ГОЭЛРО. 8,8 млрд. кВтч — такова была наметка плана ГОЭЛРО по выработке электроэнергии в 1935 г. на районных электростанциях; фактически же выработка составила около 20 млрд. кВтч. Но и этот уровень кажется теперь небольшим. Выработка электроэнергии в последнем году пятилетки — 1950 г. — должна была увеличиться по сравнению с довоенной на 70%, фактически она возросла по отношению к 1940 г. уже за 10 мес. на 87%. Большую часть от всей выработки дали районные электростанции страны.

В 1920 г., в период составления плана ГОЭЛРО, электростанции страны потребляли 85% дальнепривозного высокосортного угля и нефти. Теперь — через 30 лет — доля выработки энергии на дальнепривозном топливе сократилась почти в 10 раз. Такого рационально построенного топливного баланса не имеет ни одна страна.

Только в СССР в гигантских масштабах освоено сжигание местных низкосортных топлив — горфа, бурых углей, сланцев, а также антрацитового штыба.

Царская Россия, несмотря на обилие могучих рек, не имела районных гидроэлектростанций. Гидроэнергостроительство — детище Советской власти, и теперь в нашей стране насчитывается до пятидесяти районных гидроэлектростанций, дающих около одной пятой части всей выработки энергии районных электростанций.

Использование местных топлив и гидроэнергии радикальнейшим образом изменило весь топливный баланс страны, высвободило многие миллионы тонн высокосортных углей и нефти на другие нужды социалистического хозяйства и разгрузило транспорт от излишних перевозок топлива.

Серьезное влияние на улучшение топливоиспользования страны оказывает также и теплофикация. В плане ГОЭЛРО лишь намечалась эта задача комбинированного производства тепла и электроэнергии на отдельных тепловых установках предприятий текстильной, бумажной и химической промышленности. В 1924 г. на третьей ленинградской электростанции проводились только первые опыты передачи тепла одному из жилых домов на Фонтанке.

В 1931 г. по инициативе товарища Сталина вопросы развития теплофикации были обсуждены Пленумом ЦК ВКП(б). С этого времени у нас началось бурное развитие теплофикации. Уже к концу пятнадцатилетнего срока выполнения плана ГОЭЛРО мощность советских теплоэлектроцентралей достигла 1 млн. кВт. К началу послевоенной пятилетки более 120 городов СССР имели мощные теплоэлектроцентраль и тепловые сети, а мощность теплофикационных агрегатов составляла уже одну треть от всей установленной мощности паровых турбин. В настоящее время только в трех крупнейших городах страны — Москве, Ленинграде и Киеве — протя-

женность тепловых сетей превышает 250 км, а количество крупных объектов, потребляющих тепло, достигает 2000. Отпуск теплоэнергии от районных теплоэлектроцентралей по сравнению с 1940 г. возрос в нашей стране более чем в 2 раза.

Тридцать лет назад в нашей стране не было ни одной энергетической системы, еще не существовало ни одного центрального диспетчерского пункта. Тогда высшим напряжением электропередачи было 70 кв, а протяженность всех высоковольтных сетей страны напряжением более 6 кв немногим превышала 100 км.

Во всех главных и решающих экономических районах СССР созданы мощные энергосистемы, многие из которых являются не только крупнейшими в Европе, но и величайшими в мире.

По плану ГОЭЛРО намечалась только одна тепловая электростанция мощностью свыше 100 тыс. квт (Штеровская грэс) и одна гидроэлектростанция мощностью свыше 200 тыс. квт (Днепрогрэс). Эти наброски плана ГОЭЛРО были значительно превзойдены.

Достаточно указать, что в нашей стране имеются уже десятки тепловых и гидравлических электростанций мощностью свыше 100 тыс. квт, и некоторые из них являются крупнейшими не только в Европе, но и в мире.

На мощных районных электростанциях СССР установлены, впервые в мире, изготовленные на советских заводах турбогенераторы, по 100 тыс. квт высокого давления пара при 3000 об/мин. На гидроэлектростанциях СССР эксплуатируются, также отечественного производства, низконапорные уникальные гидроагрегаты, равных которым нет в мире.

План ГОЭЛРО предусматривал снижение удельных расходов условного топлива с 1,4 кг/квтч (в 1920 г.) до 0,9 кг/квтч (к 1936 г.). Однако уже в 1930 г. на районных электростанциях удельные расходы топлива составляли 0,860 кг/квтч, в 1940 г. — 0,596 кг/квтч, а в 1949 г. 0,549 кг/квтч. Многие советские районные тепловые электростанции по удельным расходам топлива на выработку электроэнергии имеют значительно лучшие показатели, чем передовые электростанции Америки.

В советской энергетике быстрыми темпами внедряется пар высоких параметров. К началу текущего года мощность электростанций высокого давления составляет 13,5% от общей мощности тепловых районных электростанций.

Широкое применение получила автоматика на гидравлических и тепловых электростанциях и в электрических сетях: в настоящее время автоматически управляются агрегаты свыше 45% гидроэлектростанций и автоматикой горения оборудовано свыше 40% котлов (по мощности). Проводятся работы по комплексной автоматизации тепловых электростанций.

Созданы и внедрены совершенные быстродействующие системы релейной защиты, телемеханического управления станциями и подстанциями, автоматических повторных включений, высокочастотной связи, сигнализации и измерений и т. д.

Как видно из приведенных примеров, ленинско-сталинский план электрификации страны — план ГОЭЛРО — был реализован в кратчайший исторический срок, а за годы сталинских пятилеток во много раз перевыполнен. В результате в СССР создано самое передовое и совершенное энергетическое хозяйство, обеспечивающее электрической и тепловой энергией все отрасли народного хозяйства, в том числе многие, впервые возникшие в нашей стране.

Советское энергохозяйство с честью выдержало все тяжкие испытания во время Великой Отечественной войны, залечило раны, нанесенные ему войной, и перевыполнило задания послевоенной пятилетки.

Годами героического труда советские энергетики пришли от плана ГОЭЛРО к новым победам ленинско-сталинской электрификации страны — победам мирового значения. Этим советские энергетики содействовали успешному перевыполнению заданий послевоенного пятилетнего плана всеми отраслями народного хозяйства. Довоенный уровень по выпуску валовой продукции промышленности превышен за 10 мес. 1950 г. на 70% вместо намеченного планом увеличения на 48%. Восстановлено и вновь построено около 6 тыс. промышленных предприятий, не считая мелких государственных и кооперативных.

Советские энергетики отмечают славную дату тридцатилетия плана ГОЭЛРО в предверии новых величественных задач, указанных товарищем Сталиным в его исторической речи 9 февраля 1946 г.

Как и все советские люди, советские энергетики полны безграничной решимости трудиться для осуществления этих грандиозных сталинских начертаний. Наша Великая Родина имеет огромные запасы нефти, угля, природных газов, торфа. По запасам гидроэнергии СССР занимает первое место в мире.

С гидроэнергостроительством связано осуществление планов преобразования природы. Вопросы гидроэнергостроительства для комплексного разрешения народнохозяйственных задач и в том числе орошения засушливых районов были впервые выдвинуты гениальными учителями человечества — Лениным и Сталиным — уже при составлении плана ГОЭЛРО. Эти задачи последовательно разрешались в течение всего периода мирного строительства. Теперь по инициативе и по гениальному замыслу товарища Сталина гидроэнергостроительство приобретает грандиозный размах и становится основой осуществления плана преобразования природы, соизмеримого лишь с геологическими процессами.

Великий исторический опыт СССР показывает, что только при советском социалистическом строе электрификация служит делу развития производительных сил на благо всего народа. Этот опыт привлекает к себе взоры всего прогрессивного человечества. Он свидетельствует о неуклонном успешном движении советского народа вперед по пути коммунизма, по которому ведет нас партия большевиков, наш вождь и великий зодчий коммунизма товарищ Сталин.



25-летие Шатурской государственной районной электростанции им. В. И. Ленина

Инж. А. Д. Дубинчик

В декабре 1950 г. исполняется 25 лет со времени пуска государственной ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени им. В. И. Ленина Шатурской электростанции — первенца электрификации, — осуществленной по плану ГОЭЛРО.

Опытная электростанция мощностью в 5 000 квт, сооруженная на Шатуре в 1921 г. для целей широкого изучения работы котлов с механическими топками для торфа, выявила возможность экономичной работы на торфе шахтно-цепных топок, предложенных проф. Т. Ф. Макарьевым, при сьеме пара 40—45 кг/час с 1 м² поверхности нагрева. Это позволило окончательно решить вопрос о постройке мощной районной электростанции на торфяном топливе.

Строительство Шатурской грэс осуществлялось в две очереди.

В конце 1922 г. было образовано «Шатурское строительство» во главе с инженером, ныне академиком, А. В. Винтером. Постройка здания электростанции была начата в июне 1923 г., а 23 сентября 1925 г. новая районная электростанция дала ток; 13 ноября 1925 г. была включена в работу вторая турбина; 28 марта 1927 г. — третья турбина. Вводом в строй третьей турбины было закончено строительство первой очереди электростанции.

Бурный рост потребления энергии развивающейся промышленностью г. Москвы и Московской области заставил немедленно же по окончании строительства первой очереди электростанции приступить к сооружению второй очереди. С ноября 1928 г. по сентябрь 1929 г. были пущены остальные агрегаты и строительство второй очереди электростанции было закончено. В августе 1933 г. вошла в строй еще одна турбина; при этом мощность машинного зала стала значительно превышать установленную мощность котлов.

Указанный разрыв в мощностях и отсутствие резерва по котлам, необходимого для проведения регулярных планово-предупредительных ремонтов, выдвинули вопрос о дальнейшем увеличении мощности котельной установки.

Решение этой задачи могло осуществляться установкой дополнительных котельных агрегатов или проведением на действующих агрегатах ме-

роприятий, которые дали бы возможность увеличить их паропроизводительность.

Учитывая трудности, связанные с расширением котельных, коллектив электростанции пошел по второму пути. Была выполнена реконструкция тяго-дутьевых устройств, в результате чего паропроизводительность котлов резко возросла и был создан надежный резерв, позволивший в дальнейшем проводить планово-предупредительные ремонты без снижения нагрузки электростанции.

Одновременно с ростом мощности коллектив электростанции принимал меры к снижению удельных расходов топлива и обеспечению надежной работы оборудования.

Основными мероприятиями по снижению удельных расходов топлива являлись учеба персонала и непрерывное усовершенствование оборудования. В результате этого удельный расход топлива последовательно сокращался и в 1950 г. составил 0,551 кг/квтч.

С 1931 г. электростанция стала сжигать фрезерный торф в смеси с кусковым. Сжигание фрезерного торфа технически несовершенным методом, а также отсутствие достаточного опыта привели на первых порах к увеличению удельных расходов топлива.

Однако коллектив электростанции, стремясь выявить основные источники потерь, на основе изучения процесса сжигания топлива, осуществил реконструкцию топочных камер и улучшил фрезероподающие механизмы, добиваясь тем самым повышения экономичности работы. В 1940 г. удельный расход топлива по сравнению с 1930 г. снизился на 9%.

За отличную работу коллектив электростанции в 1936 г. был награжден орденом Ленина.

В Великую Отечественную войну коллектив Шатурской грэс успешно справлялся с основной поставленной задачей — бесперебойного снабжения электроэнергией Москвы и Московской области.

За успешную работу в военное время коллектив Шатурской электростанции награжден орденом Трудового Красного Знамени.

25 лет эксплуатации Шатурской электростанции характеризуется не только значительным повышением технико-экономических показателей, но

и непрерывным совершенствованием оборудования и повышением культуры эксплуатации.

Надежность работы станции значительно возросла. Количество случаев брака в 1950 г. уменьшилось в три раза по сравнению с 1949 г. и в десять раз по сравнению с 1940 г.

Длительное время узким местом на электростанции в зимний период было отсутствие погрузочных механизмов на аварийном складе. Погрузка же топлива вручную не обеспечивала устойчивой работы. Было решено своими силами изготовить погрузочную машину (ПРБ).

Коллектив механического цеха успешно справился с этой задачей и изготовил три погрузочных машины. Постройкой же двух штабелевочных машин была полностью завершена механизация работы на аварийном складе.

С 1933 г. снабжение топливом котельных осуществлялось по трем наклонным эстакадам вагонетками с помощью трех тяговых машин.

Наличие двух видов топлива — кускового и фрезерного торфа — при существовавшей схеме подачи топлива создавало ряд трудностей: отсутствовал резерв, и остановка даже на непродолжительное время одной из тяговых машин вызывала в лучшем случае снижение уровня топлива в бункерах до аварийного, а большей частью — снижение нагрузки электростанции.

Проведенные мероприятия по усилению отдельных узлов тяговых машин с целью увеличения их производительности не решили основной задачи — обеспечения надежного топливоснабжения.

Было принято решение построить более совершенную транспортную топливоподачу и в первую очередь для снабжения топливом самой мощной котельной.

Следует отметить большую работу, проведенную коллективом цеха топливоподачи в содружестве с ремонтно-конструкторским отделом по борьбе с запыленностью помещений транспортной топливоподачи. В результате проведенных мероприятий концентрация пыли на бункерной галлерее резко снизилась.

Особо действенным мероприятием является отсос пыли из мест пересыпки торфа и аспирации пыли.

В настоящее время смонтирована также схема гидрообеспыливания.

В связи с непрерывным ростом добычи фрезерного торфа перед коллективом электростанции была поставлена очень важная задача — увели-

чить долю фрезерного торфа в топливе, потребляемом электростанцией.

Старый метод сжигания фрезерного торфа в виде присадки его к кусковому не мог решить этой задачи, и электростанция пошла по пути реконструкции котлов котельной для сжигания в них фрезерного торфа в чистом виде в топках с шахтными мельницами. В результате реконструкции количество используемого фрезерного торфа повысилось с 30 до 50%.

За истекший период во всех цехах электростанции были проведены большие рационализаторские работы, направленные на увеличение надежности и повышение экономичности.

Следует отметить такие работы, как установка гидродинамического регулирования и реконструкция вакуумной системы на части турбин; соединение напорных трубопроводов охлаждающей воды конденсационных агрегатов малых турбин; реконструкция конденсатора на одной из турбин с целью борьбы с переохлаждением конденсата и ряд других.

Шатурская электростанция по праву может гордиться кадрами, насчитываемыми в своих рядах свыше 100 чел., работающих с момента пуска электростанции, и свыше 30 чел., работающих больше 10 лет.

Кочегары тт. Щигров, Мычков, Родимов, машинисты турбин тт. Ухарцев, Давыдов, ст. электрики тт. Киселев, Кармышин и др. работают безаварийно в течение 4—5 лет. Также безаварийно работают в продолжение нескольких лет инженеры тт. Смирнов, Ланцев, Казьмин и др.

Шатурская грэс подготовила много квалифицированных работников, которые в настоящее время занимают руководящие посты. Среди них — директор грэс Мосэнерго т. Юренский, ранее работавший инженером электроцеха, заместитель управляющего Уралэнерго т. Епишин, в прошлом начальник ремонтно-строительного цеха, и др.

Можно быть уверенным в том, что, располагая преданным делу партии Ленину—Сталину коллективом рабочих и инженерно-технических работников, Шатурская дважды орденоносная грэс им. В. И. Ленина добьется еще более высоких показателей, решит новые задачи по совершенствованию оборудования и сохранит свое место в передовой шеренге советских электростанций.



Экспериментальное определение удельных объемов водяного пара при $92 \div 524$ атм и $430 \div 600^\circ\text{C}$

Канд. техн. наук В. А. Кириллин и инж. Л. И. Румянцев

ОТ РЕДАКЦИИ

За последние годы в Советском Союзе проведены большие экспериментальные и теоретические работы, значительно расширяющие наши познания о реальных газах и парах и особенно о водяном паре. В этой области науки, имеющей большое практическое значение, наши советские ученые на много опередили ученых других стран.

Замечательные экспериментальные работы по исследованию свойств водяного пара в области высоких давлений и температур (до 300 ат и 600°C) проведены во Всесоюзном теплотехническом институте им. Ф. Э. Дзержинского. Нашим советским ученым Д. Л. Тимроту и Н. Б. Варгафтику за эти работы присуждена Сталинская премия.

Большие работы по исследованию свойств водяного пара проводятся также в Московском энергетическом институте им. В. М. Молотова, где М. П. Вуколович и И. И. Новиков разработали теорию, на основе которой было получено уравнение состояния для водяного пара, дающее хорошее совпадение с опытом. В МЭИ проводятся также и экспериментальные работы.

Печатаемая ниже статья работников МЭИ посвящена экспериментальному исследованию свойств водяного пара.

Уже в настоящее время в практике возникает необходимость располагать достоверными данными по свойствам водяного пара при давлениях не менее 300 атм и температуре 600°C и более. Известно, что для составления достаточно точных таблиц тепловых свойств водяного пара необходимо располагать данными эксперимента во всей области температур и давлений, для которой составляются таблицы. Более того, для проведения точной интерполяции значений параметров пара крайне желательно, чтобы область давлений и температур, подвергшаяся экспериментальному исследованию, была шире той области давлений и температур, для которой составляются таблицы.

Хотя экспериментальное исследование свойств водяного пара должно идти впереди требований практики, однако до самого последнего времени, несмотря на многолетнюю работу ряда исследователей как в Советском Союзе, так и в других странах, термодинамические свойства водяного пара были изучены недостаточно. Так, удельные объемы были экспериментально определены до давлений 360 атм и температур в 460°C (Смит и Кейс, США); при этом область критической точки была исследована очень слабо. Калорические величины водяного пара были экспериментально исследованы в области давлений до 400 атм и температур до 450°C (Кох, Германия, Гавличек и Мисковский, Чехословакия). При этом экспериментальное определение калорических величин в области давлений свыше 200 атм (в этой области определялась теплоемкость водяного пара

при постоянном давлении) является недостаточно точным.

Крупным вкладом в изучение свойств водяного пара являются проведенные за последние годы во Всесоюзном теплотехническом институте им. Ф. Э. Дзержинского экспериментальные исследования теплопроводности, вязкости, теплоемкости и удельных объемов водяного пара. Для экспериментального исследования теплоемкости и удельного объема водяного пара (мы не говорим здесь об определении теплопроводности и вязкости, так как это выходит за рамки настоящей статьи) нашими советскими учеными Д. Л. Тимротом и Н. Б. Варгафтиком в физико-технической лаборатории ВТИ были созданы оригинальные установки, позволяющие произвести весьма точные измерения в области высоких температур и давлений (до 300 атм и 600°C). Но даже и после проведения опытов во ВТИ дальнейшее экспериментальное исследование термических и калорических свойств водяного пара не снимается с повестки дня. Настоятельно требуется увеличение числа экспериментальных данных в области критической точки и в области высоких давлений и температур, дальнейшее увеличение предельных значений температур и давлений. Это тем более очевидно, что даже в измерениях удельных объемов водяного пара, проведенных во ВТИ до $p = 300$ атм и $t = 550^\circ\text{C}$, для температур от 525 до 550°C имеются лишь 3 экспериментальные точки при давлении, равном примерно 120, 170 и 210 атм. Измерения теплоемкостей при постоянном давлении проведены во ВТИ

до $p = 300 \text{ атa}$ и $t = 600^\circ \text{C}$; в области температур от 540 до 600°C имеется 5 экспериментальных точек при давлении, равном $200, 225$ и 250 атa .

Авторы настоящей статьи поставили перед собой задачу — дальнейшее экспериментальное исследование термодинамических свойств водяного пара в области критической точки и в области высоких давлений и температур. Для этой цели в лаборатории теоретических основ теплотехники Московского ордена Ленина энергетического института имени В. М. Молотова, по методике и под руководством В. А. Кириллина, авторами была создана установка для измерения удельных объемов водяного пара в области высоких температур и давлений. В настоящее время проведены измерения в области давлений до 524 атa и температур до 600°C , а также в области критической точки. Ниже приведено описание экспериментальной установки и результаты серии опытов при давлениях $92 \div 524 \text{ атa}$ и температурах $430 \div 600^\circ \text{C}$.

Методика измерений

Наибольшую трудность в установке для точного определения удельных объемов представляет соблюдение постоянства объема, занимаемого исследуемым паром при проведении измерения давления с помощью поршневого манометра. Поршневой манометр — практически единственный, достаточно точный прибор для измерения высокого давления — при производстве измерения имеет заметный пропуск масла в зазор между поршнем и цилиндром высокого давления. Наличие этой неизбежной утечки затрудняет сохранение постоянства объема исследуемого пара. В наиболее точных опытах (в том числе и в опытах ВТИ) для сохранения постоянства объема в качестве запирающей жидкости применялась ртуть, уровень которой фиксировался визуальным наблюдением через специально устраиваемые в установке смотровые окна. Наличие в установке подвижного затвора (ртути) существенно осложняло проведение опытов и получение установившегося равновесного состояния.

Особенностью описываемой ниже методики является способ сохранения постоянства объема, занимаемого исследуемым веществом, в течение всего опыта при измерении давления с помощью поршневого манометра, и отсутствие запирающей этот объем вспомогательной жидкости.

Схема установки представлена на рис. 1. Исследуемое вещество (водяной пар) находится в пьезометре 1, представляющем собой тонкостенный, разгруженный от давления сосуд, выполненный из нержавеющей стали марки ЭЯ1Т (как и все прочие ответственные детали установки). Эта сталь является наиболее подходящим материалом в отношении устойчивости против коррозии, незначительной адсорбции пара на ее поверхности (относительная малость для стали «действительной» поверхности) и высокой свариваемости. Пьезометр 1 заключен в автоклав 2; последний рассчитан на высокое давление и температуру. Разность между внутренним и внешним давлениями пьезометра поддерживалась во

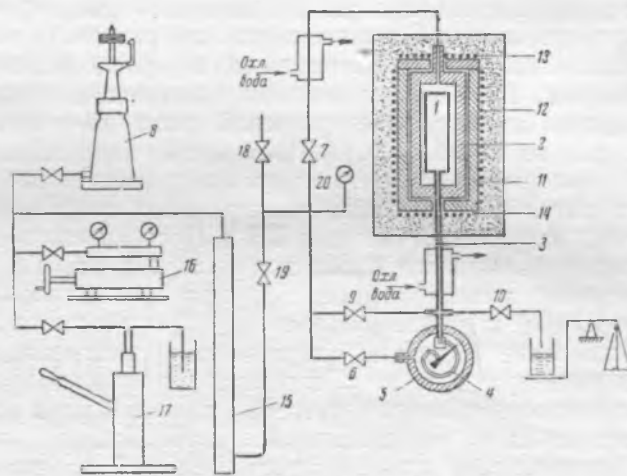


Рис. 1.

время опытов весьма малой. Пьезометр с помощью толстостенного стального капилляра 3 соединен с пружинным дифференциальным манометром 4, заключенным в сосуд 5, который рассчитан на высокое давление. Внутренний диаметр капилляра 3 равен $1,2 \text{ мм}$. Пружинный манометр 4 предназначен для измерения относительно малой разности давлений между исследуемым водяным паром в пьезометре и водяным паром, находящимся в автоклаве. В подавляющем большинстве опытов давление, измеряемое этим манометром, не превышало 4 ат . Давление в автоклаве, равное давлению в сосуде 5 (вентили 6 и 7 при проведении опыта всегда были открыты), измерялось поршневым манометром 8 системы М. К. Жоховского. Так как вентили 9 и 10 при проведении опыта были закрыты (вентиль 9 открывался в случае аварийного повышения разности давлений, указываемой пружинным манометром 4 и в конце серии опытов, а вентиль 10 при выпуске части содержимого в пьезометре при переходе от одного равновесного состояния к другому), то исследуемый пар в пьезометре занимал определенный, неизменный объем, а давление его определялось, как сумма показаний барометра, поршневого манометра 8 и пружинного манометра 4. Для производства отсчетов по шкале манометра 4 сосуд 5 был снабжен смотровым окном, выполненным из плексигласа толщиной около 30 мм , и осветителем шкалы.

Такая система измерения давления исследуемого пара позволила выполнить поставленную задачу: провести точное измерение давления с помощью поршневого манометра, без использования смотровых окон для отсечки уровня запирающей пьезометр жидкости и без нарушения постоянства объема исследуемого пара. Что касается точности измерения давления (об этом подробнее сказано ниже), то, несмотря на использование пружинного манометра, являющегося сравнительно грубым прибором, она оставалась весьма высокой, так как ошибка в измерении незначительной разности давлений пружинным дифференциальным манометром была весьма малой по отношению к полному давлению исследуемого пара.

Автоклав 2 помещен в блок 11, отлитый из красной меди и служащий для создания изотермического температурного поля. Измерение тем-

пературы производилось платиновым термометром сопротивления (не показанном на рисунке), помещенным между автоклавом и красномедным блоком. Нагрев установки осуществлялся с помощью основной электрической печи 12 и двух торцевых печей 13 и 14. Постоянство напряжения переменного тока, питающего электрические печи, достигалось с помощью электронного стабилизатора напряжения системы СН-2. Постоянство температуры медного блока контролировалось с помощью многочисленных хромель-алюмелиевых термопар и регулировалось вручную реостатами. Измерение величины сопротивления платинового термометра и э. д. с. термопар производилось потенциометрическим методом; для этой цели использовался пятидекадный потенциометр по Диссельхорсту и высокочувствительный зеркальный гальванометр. Для уменьшения тепловых потерь красномедный блок с намотанными на нем сопротивлениями был закрыт снаружи слоем изоляции.

В трубе 15, выполненной из нержавеющей стали диаметром 35/48 мм, вода, заполняющая собственно установку, отделилась от масла, находящегося в системе поршневого манометра. Создание и изменение давления в автоклаве 2 и сосуде 5 производилось: тонкая регулировка давления—винтовым прессом 16, а грубая—поршневым прессом 17, снабженным системой клапанов. До начала опытов вся установка, в холодном состоянии, была опрессована на давление 800 ат.

Порядок подготовки и проведения опытов был следующий. После заполнения установки перегнанной деаэрированной водой при открытых вентилях 6, 7, 9 и при закрытых—10, 18, 19 включались все три электропечи. Заполнение установки производилось либо через вентиль 18 после предварительной эвакуации воздуха с помощью вакуумнасоса, при закрытом вентиле 19, либо в период разборки установки перегнанная деаэрированная вода заливалась непосредственно в пьезометр и автоклав. После включения нагревательных печей давление и температура воды (пара) начинали расти, и через некоторое время (порядка 10—12 час.) достигалось желаемое, установившееся состояние пара. В период разогрева установки излишнее количество воды выпускалось через вентиль 10. Величина достигнутого в установке давления фиксировалась по вспомогательному манометру 20, а температура измерялась с помощью платинового термометра сопротивления. В период разогрева установки с помощью реостатов, меняющих ток в цепях электронагревателей, достигалось также постоянство температуры медного блока 11, контролируемое хромель-алюмелиевыми термопарами.

По достижении нужных значений p и t вентиль 9 закрывался, и тем самым исследуемый пар оказывался запертым в пьезометре. С помощью прессов 16 и 17 по другую сторону вентиля 19 создавалось давление, равное примерно отсчитываемому по манометру 20. Давление, создаваемое прессами 16 и 17, измерялось весьма точно поршневым манометром 8. Затем производилась одна из наиболее ответственных операций—открытие вентиля 19; перед открытием это-

го вентиля давление, фиксируемое поршневым манометром 8, посредством винтового пресса 16 устанавливалось примерно на 4 ат меньше давления, показываемого манометром 20. В дальнейшем ходе опытов, при неизменно закрытом вентиле 9, разность давлений между пьезометром, с одной стороны, и автоклавом 2, сосудом 5 и прочими коммуникациями установки,—с другой, измеряемая пружинным дифференциальным манометром, поддерживалась с помощью винтового пресса 16 постоянной, равной примерно 4 ат.

Открытие вентиля 19 означало начало собственно опыта. Через каждые 5 мин. в журнал наблюдений заносились показания поршневого манометра 8, дифманометра 4, падение напряжения на платиновом термометре сопротивления и эталонном сопротивлении потенциометрической схемы и результаты ряда других измерений. Повторяющиеся в течение не менее 30 мин. (с известной степенью точности, о которой будет сказано ниже) значения давления и температуры свидетельствуют о достижении установившегося режима, после чего можно переходить к следующей точке.

Все опыты на описываемой установке проводились по изотермам. Снятие изотерм (а не изохор, как это делалось ранее в аналогичных опытах по водяному пару, в том числе и в опытах ВТИ) представляется наиболее целесообразным в силу ряда преимуществ, главными из которых являются следующие:

1. Значительно более удобная обработка материала и возможность с высокой степенью точности вычислить по термическим величинам значения теплосодержания и энтропии, а также термодинамического потенциала (о чем сказано ниже).

2. Возможность вести эксперимент значительно быстрее. При поддержании постоянной температуры на каждую точку требовалось около 1 часа, и, таким образом, снятие одной изотермы (12—16 точек), включая начальный разогрев установки, занимало примерно сутки.

3. Совершенно исключалась поправка на температурную деформацию пьезометра.

4. Неизменность объема исследуемого вещества в течение опыта гарантировала сохранение равновесного состояния пара при работе с поршневым манометром.

Переход к каждой последующей точке заключался в выпуске через вентиль 10 некоторого количества конденсата и в одновременном снижении давления в автоклаве 2, сосуде 5 и других объемах и коммуникациях установки. При этом вентиль 19 был открыт, а все внимание было сосредоточено на показании дифманометра 4. Количество выпущенной воды тщательно взвешивалось на аналитических весах; выпуск воды производился под слой масла.

Таким образом, через некоторое время в журнале наблюдений имелось значение температуры (все время оставшейся постоянной) и давления для ряда установившихся равновесных состояний, а также весовые количества выпущенной воды при переходе от одной точки к другой. Для того чтобы определить удельный объем в каждом из этих равновесных состояний, необхо-

димо, кроме того, знать рабочий объем пьезометра и количество пара, заключенного в его объеме, для одной из точек. И то, и другое определить было довольно просто, и делалось это следующим образом. Как явствует из сказанного выше, максимальное для данной изотермы давление достигалось в первой точке. С каждой новой точкой давление последовательно снижалось соответственно выпускаемому количеству жидкости. Таким образом, для последних двух точек всегда можно получить такие давления, для которых удельные объемы известны, а значения их вполне достоверны и точны. Зная удельные объемы двух последних (исходных) точек v' и v'' , а следовательно, и удельные веса γ' и γ'' и, кроме того, весовой выпуск воды между этими двумя точками ΔG , можно определить рабочий объем пьезометра

$$V_a = \frac{\Delta G}{\gamma' - \gamma''}.$$

Чтобы избежать заметной ошибки в определении V_a , разность удельных весов $\gamma' - \gamma''$ должна иметь тот же порядок, что и значения самих удельных весов γ' и γ'' . Это обстоятельство учитывалось при проведении описываемого эксперимента, и по этой причине перепад давлений между точками, для которых определялись γ' и γ'' , брался всегда достаточно большим (порядка $50 \div 80 \text{ атм}$).

Точность определения объема пьезометра существенно повышалась за счет того, что значение этого объема находилось как среднее для ряда исходных точек на каждой изотерме.

В опытах при температурах, для которых отсутствуют надежные экспериментальные данные по удельным объемам даже и для относительно малых давлений, исходные точки брались при другой, более низкой температуре (обычно 450°C). Переход от одной изотермы к другой производился при неизменном удельном объеме, т. е. без выпуска воды.

Зная объем V_a и удельные веса γ' и γ'' , легко можно подсчитать и вес пара, заключенного в рабочем объеме пьезометра в последних двух точках

$$G' = V_a \cdot \gamma' \text{ и } G'' = V_a \cdot \gamma'',$$

причем $G' - G'' = \Delta G$.

Прибавляя к значению G' весовые выпуски воды между предыдущими точками и имея в виду, что объем пьезометра остается неизменным, можно подсчитать значения удельного объема для каждого равновесного состояния (т. е. для каждой точки).

Рабочим объемом V_a следует считать лишь ту часть объема пьезометра и капилляра 3, температура которой остается неизменной, равной температуре опыта для любой из точек данной изотермы. Для того, чтобы можно было установить, как изменяется температура капилляра 3, между холодильником и пьезометром были установлены девять хромель-алюмелиевых термопар и для каждого установившегося режима измерялась их э. д. с. Таким путем можно было

точно зафиксировать, какая часть капилляра все время находилась при неизменной температуре, равной температуре пьезометра. Объем части капилляра переменной температуры и холодной части капилляра, а также объем трубки дифманометра не входит в величину V_a . Другими словами, это значит, что из величины весового выпуска воды ΔG необходимо каждый раз вычитать то уменьшение веса воды и пара, находящегося в нерабочей части объема, которое определяется изменением давления, изменением температуры нагретой части капилляра и, при работе в области давлений, меньших, нежели критическое, изменением уровня воды в нагретой части капилляра. Суммарная поправка на величину весового выпуска воды составляла по отношению к весу выпуска для большинства точек величину порядка $0,1\%$. Поэтому при тщательном ее учете эта поправка незначительно сказывалась на общей точности эксперимента.

Результаты измерений

По приведенной методике были проведены опыты по следующим изотермам: $431,34$; $450,00$; $461,65$; $501,31$; $551,45$ и $600,00^\circ \text{C}$. Удельные объемы для этих изотерм экспериментально определены в общей сложности для 79 точек. Интервал давлений составляет от $91,75 \text{ атм}$ до $524,28 \text{ атм}$.

Точность проведенного эксперимента зависит от точности измерений основных величин и от того, насколько стабильно поддерживался режим каждой точки. Измерение температуры проводилось с помощью платинового термометра сопротивления, проверенного Государственным институтом мер и измерительных приборов. При работе с пятидекадным потенциометром по Диссельхорсту, в соответствии со всеми требованиями точного измерения температуры, при токе в цепи термометра сопротивления порядка $0,002 \text{ а}$ максимальная ошибка в измерении температуры может быть оценена в $0,01^\circ \text{C}$. Несколько бóльшая ошибка могла возникнуть из-за колебаний температуры за время проводимых отсчетов.

Эти колебания в каждую сторону находились в пределах двух делений последней декады потенциометра, что составляло величину, не превышающую $\pm 0,02^\circ \text{C}$. Таким образом, максимальная ошибка в измерении температуры не превышала $\pm 0,03^\circ \text{C}$. Что касается возможной неравномерности температуры по медному блоку, то регулирование тока в цепях печей с помощью реостатов, контролируемое терморезисторами, и использование электронного стабилизатора напряжения практически исключали ее. Это следует из того, что при установке между автоклавом и медным блоком двух термометров сопротивления разной длины показания их были одинаковы.

Избыточное давление исследуемого пара, как уже указывалось, складывалось из показаний поршневого манометра 8 и дифманометра 4. Чувствительность поршневого манометра системы М. К. Жоховского оказалась весьма высокой и составляла не менее 1 г , что соответствует примерно $0,025 \text{ кг/см}^2$. Тарировка этого манометра была проведена чрезвычайно тщательно по кри-

вой насыщения водяного пара. Оказалось, что зависимость между весом грузов и давлением, измеряемым поршневым манометром, выражается линейным уравнением. Максимальная ошибка для объектив насыщения не превышала 0,05 кг/см². Что касается дифманометра, то наибольшая ошибка в его показаниях не превышала 1% от максимального деления шкалы, что составляет 0,1 кг/см². Дифманометр тарировался по грузовой колонке до и после снятия каждой изотермы. Таким образом, максимальная ошибка измерения давления была не более 0,15 кг/см².

Точность взвешивания выпуска воды, производящегося на аналитических весах, составляет 10⁻⁴ г. Таким образом, максимальная ошибка в определении весового количества выпускаемой воды с учетом упомянутых поправок, а также поправки на взвешивание гирь в пустоте лежала за пределами точности эксперимента и практически не влияла на конечную точность опыта. Точность определения объема пьезометра была также очень высокой, так как определение этого объема производилось путем усреднения результатов, полученных для нескольких точек каждой изотермы.

Влияние адсорбции, как показали опыты (проведение экспериментов в двух пьезометрах с разным отношением поверхности к объему, неизменность давления при поддержании постоянной температуры в течение суток), даже при температуре 600° С все еще лежит за пределами точности.

На основании изложенного можно сделать заключение и о степени точности эксперимента в целом, т. е. о точности определения удельного объема для заданных значений p и t .

Максимальная ошибка в определении v для заданных p и t , естественно, зависит от области давлений и температур, в которой производится измерение, так как частные производные $\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_t$ и $\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)_p$ не являются постоянными. Однако ни

в одном случае максимальная ошибка не превышала 0,2% от величины удельного объема.

Следует сказать, что точность определения в целом была проверена опытным путем. Помимо установки, схема которой представлена на рис. 1, была создана аналогичная установка, но с пьезометром, не разгруженным от давления. Роль пьезометра, содержащего исследуемый пар, выполнял сам автоклав. Снятие одних и тех же изотерм на двух установках (в частности, изотермы $t = 431,34^\circ \text{C}$) да еще в ряде случаев при весьма близких значениях давления позволило проверить воспроизводимость данных. Совпадение оказалось весьма хорошим, и расхождения ни разу не достигли размера максимальной возможной ошибки, т. е. 0,2%. При проведении опытов с неразгруженным пьезометром поправка на изотермическую деформацию его под влиянием давления вносилась на основе теоретической формулы. Величина этой поправки ни разу не достигала 0,1% от рабочего объема.

Учитывая весьма хорошую сходимость экспериментально определенных удельных объемов при работе с разгруженным от давления и неразгруженным пьезометрами, можно сделать вывод, что разгрузка пьезометра от давления не является обязательной. Поправка на изотермическую деформацию сосуда под влиянием давления может (учитывая малую величину этой поправки) производиться расчетным путем. Поэтому, исходя из большей простоты проведения эксперимента на установке с пьезометром, не разгруженным от давления, часть изотерм была снята по этому последнему способу. Кроме того, проведение опытов в различных пьезометрах, с разным отношением поверхности к объему еще раз подтвердило, что влиянием адсорбции пара на стенках пьезометра для интересующей нас области температур и давлений вполне можно пренебречь.

Результаты экспериментального определения удельных объемов водяного пара представлены

Экспериментальные значения удельных объемов водяного пара

$t=431,34^\circ \text{C}$		$t=450,00^\circ \text{C}$		$t=461,65^\circ \text{C}$		$t=501,31^\circ \text{C}$		$t=551,45^\circ \text{C}$		$t=600,00^\circ \text{C}$	
$p, \text{кг/см}^2$	$v, \text{см}^3/\text{г}$	$p, \text{кг/см}^2$	$v, \text{см}^3/\text{г}$	$p, \text{кг/см}^2$	$v, \text{см}^3/\text{г}$	$p, \text{кг/см}^2$	$v, \text{см}^3/\text{г}$	$p, \text{кг/см}^2$	$v, \text{см}^3/\text{г}$	$p, \text{кг/см}^2$	$v, \text{см}^3/\text{г}$
98,60	29,73	91,75	33,55	106,90	28,96	101,12	33,21	117,41	30,72	115,77	33,63
104,40	27,85	139,49	20,73	164,61	17,43	145,12	22,17	154,84	22,63	167,97	22,50
154,86	17,26	187,34	14,27	224,62	11,65	201,48	15,05	185,14	18,54	217,31	16,90
165,01	15,87	226,65	10,95	258,00	9,530	245,39	11,75	215,19	15,57	262,24	13,64
216,18	10,81	267,02	8,499	294,63	7,738	280,37	9,868	244,25	13,40	310,85	11,19
223,07	10,50	296,08	7,132	318,65	6,772	320,20	8,190	278,33	11,44	351,67	9,644
248,13	8,627	332,71	5,711	347,37	5,791	358,42	6,946	315,11	9,801	397,67	8,298
254,81	8,237	369,04	4,589	370,16	5,122	393,61	6,014	348,47	8,783	441,38	7,280
291,99	6,317	407,76	3,681	396,23	4,469	420,12	5,415	376,61	7,785	485,28	6,455
312,92	5,421	448,80	3,032	419,40	3,976	445,78	4,923	406,86	7,026	—	—
313,47	5,396	489,07	2,635	450,72	3,419	477,63	4,392	441,35	6,282	—	—
342,72	4,300	524,28	2,408	470,70	3,185	504,59	4,015	471,55	5,733	—	—
368,14	3,544	—	—	—	—	—	—	508,48	5,154	—	—
371,18	3,488	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
393,31	3,020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
421,10	2,652	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
422,66	2,642	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
448,83	2,416	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
460,64	2,347	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
475,64	2,269	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
501,65	2,161	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

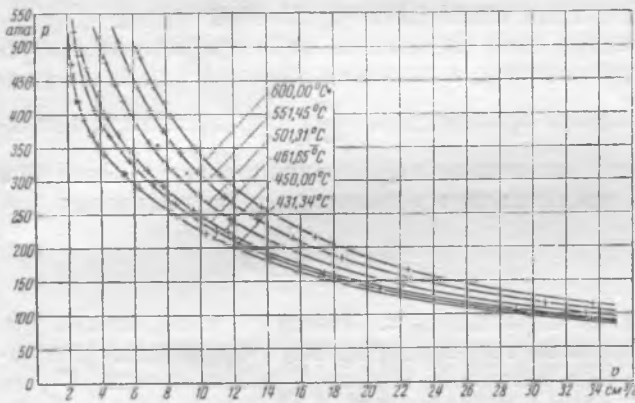


Рис. 2.

в таблице и на рис. 2, на котором помечены экспериментально найденные точки. Различные крестики на изотерме 431,34°С соответствуют точкам, снятым в различных установках (с разгруженным и не разгруженным от давления пьезометрами).

Приведенные в таблице значения удельных объемов хорошо согласуются со скелетной таблицей, а также с таблицами, составленными М. П. Вукаловичем¹, только в области температур и давлений, охваченной ранее проведенными экспериментальными исследованиями. Как показал анализ полученных нами экспериментальных данных, в области температур от 430,00 до 460,00°С при давлениях, не превышающих 300 ата (т. е. как раз в той области, в которой удельные объемы были ранее экспериментально определены), расхождения между полученными нами значениями удельных объемов и значениями удельных объемов скелетной таблицы ни в одном случае не превышают допусков скелетной таблицы, а в большинстве случаев значительно меньше этих допусков. Что касается области температур от 460,00 до 550,00°С, в которой значения удельных объемов скелетной таблицы найдены путем экстраполяции, то здесь расхождения оказались значительно более существенными, а при высоких давлениях — превышающими допуски скелетной таблицы. Так, при температуре 500,00°С и давлении 250 и 300 ата найденные нами значения удельных объемов больше приведенных в скелетной таблице на величину, более чем в два раза превышающую допуск скелетной таблицы. Примерно такое же расхождение имеет место и при температуре 550°С и давлении 300 ата. Скелетная таблица удельных объемов водяного пара ограничена температурой 550°С и давлением 300 ата. Но если провести экстраполяцию удельных объемов скелетной таблицы до температуры 600,00°С, то при давлении 300 ата расхождение оказывается также существенным, значительно превышающим допуски скелетной таблицы для температур 500,00 и 550,00°С.

Из сказанного следует, что скелетная таблица водяного пара требует уточнения, а экстраполя-

¹ М. П. Вукалович, Термодинамические свойства воды и водяного пара, Машгиз, 1950 г.

ция таблиц удельных объемов в область высоких температур приводит, при высоких давлениях, к существенным ошибкам.

Что касается области давлений свыше 300 ата, то полученные нами значения удельных объемов в настоящее время являются единственными. Можно только заметить, что значения удельных объемов, полученные путем экстраполяции существующих уравнений состояния водяного пара на область давлений свыше 300 ата, резко расходятся с найденными нами экспериментальными значениями. Это свидетельствует о том, что экстраполяция существующих уравнений состояния водяного пара в область высоких давлений, не охваченную экспериментом, является недопустимой.

Как уже было указано выше, удельные объемы водяного пара определены также и для критической области. Обработка материалов эксперимента в настоящее время заканчивается. Однако, уже теперь можно сказать, что расхождения между найденными экспериментальным путем значениями удельного объема водяного пара в критической области и соответствующими значениями удельного объема в существующих таблицах водяного пара еще более значительны. Имеющиеся таблицы водяного пара в области критической точки требуют еще большего корректирования.

Определение теплосодержания и энтропии

Выше было высказано утверждение, что проведение опытов по изотермам дает возможность с высокой степенью точности определить по термическим величинам значения теплосодержания, энтропии и термодинамического потенциала. К этому следует добавить, что определение теплосодержания и энтропии (основных расчетных калорических параметров) может быть проведено более точно, нежели вычисление удельного объема (или какого-либо другого термического параметра) по данным калорического эксперимента. Общепринятая точка зрения о том, что определение термических величин по калорическим всегда (или по крайней мере в подавляющем большинстве случаев) является более точным, чем определение калорических величин по термическим, на наш взгляд, не является правильной. Эта точка зрения основывается на том, что для перехода от термических величин к калорическим приходится пользоваться уравнением

$$\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = -T \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p.$$

Таким образом, для того, чтобы определить C_p в функции давления, необходимо знать вторую производную удельного объема по температуре при постоянном давлении. Так как определение второй производной путем численного или графического дифференцирования (а именно этим методом и приходится пользоваться ввиду отсутствия точного и простого уравнения состояния) является недостаточно точным, то определение этим путем C_p в функции давления также является недостаточно точным. Поскольку графическое или численное интегрирование всегда значи-

тельно точнее численного или графического дифференцирования (особенно, когда речь идет о производных второго порядка), постольку и определение зависимости $v = f'(p, T)$ по данным калорического эксперимента должно быть более точным.

Но все сказанное совершенно справедливо только в отношении рассматриваемого метода перехода от термических величин к калорическим, в то время как этот переход может быть осуществлен другим путем. Речь идет о следующем. Определив экспериментальным путем изотермическую зависимость удельного объема от давления (именно это и было сделано в описываемых опытах) и воспользовавшись известным соотношением

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial p}\right)_T = v,$$

можно определить величину изобарно-изотермического потенциала с помощью уравнения

$$\Phi = \int_{p_0}^p v_T dp + \Phi_0.$$

Интеграл этого уравнения легко может быть подсчитан путем либо графического, либо численного интегрирования. Что касается постоянной Φ_0 , то она представляет собой значение изобарно-изотермического потенциала при той же неизменной температуре и давлении p_0 . Величина Φ_0 должна быть известна. Но, определив для интересующих нас значений температуры и давления изобарно-изотермический потенциал

$$\Phi = i - T \cdot s,$$

еще нельзя однозначно определить теплосодержание и энтропию. Поэтому, воспользовавшись, например, соотношением

$$\left(\frac{\partial i}{\partial p}\right)_T = v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p,$$

можно определить теплосодержание из следующего выражения:

$$i = \int_{p_0}^p \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \right] dp + i_0.$$

□ □ □

Интеграл последнего уравнения также определяется либо численным, либо графическим интегрированием, а значения стоящей под знаком интеграла производной $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$ определяются, например, численным дифференцированием. Зная Φ и i , представляется возможным из уравнения

$$\Phi = i - T \cdot s$$

легко определить s . Таким образом, можно определить теплосодержание и энтропию. Что касается значений истинной теплоемкости C_p , то их нельзя определить этим методом с такой же степенью точности. Но для практических расчетов из числа калорических величин наибольший интерес представляют именно теплосодержание, энтропия, а также средняя теплоемкость при постоянном давлении. Как известно, последняя легко определяется при известной температурной зависимости теплосодержания.

Из сказанного следует, что, используя рассматриваемый метод для определения теплосодержания и энтропии по экспериментально найденным термическим величинам, все же необходимо вычислять значения производной $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$. Следует иметь в виду, что, определяя термические величины по калорическим, с использованием уравнения

$$\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = -T \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p,$$

также необходимо находить значения производной первого порядка.

По этой причине составление таблиц по экспериментально найденным термическим величинам имеет то неоспоримое преимущество, что опытное определение удельных объемов всегда точнее и технически более просто по сравнению с экспериментальным определением калорических величин.

В дальнейшем предполагается произвести обработку полученных значений удельных объемов именно этим методом.

Некоторые итоги освоения котлов высокого давления ТКЗ на электростанциях Мосэнерго

Инж. Я. М. Островский и инж. В. Н. Березнеговская

На электростанциях Мосэнерго работают на подмосковном угле котлы высокого давления Таганрогского завода типа ТП-230: с барабанно-шаровыми мельницами¹ и с шахтными мельницами (четыре мельницы 1660/2004), установленными на фронте (рис. 1).

Надежность работы котлов

В начальный период эксплуатации надежность котельных агрегатов была пониженной.

За первый год эксплуатации использование котельных агрегатов характеризовалось показателями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Котел с барабанными мельницами	Котлы с шахтными мельницами
Коэффициент готовности, %	81	67
рабочего времени, %	60,5	63,9
Коэффициент использования, %	42	45
Средняя продолжительность кампании, часы	196	145
Максимальная продолжительность кампании, часы	729	328

Со времени пуска первых агрегатов (1948 г.) станциями совместно с наладочными организациями и заводом проделана серьезная работа по повышению надежности агрегатов и улучшению их эксплуатационных показателей. В результате в 1950 г. достигнуты более высокие показатели работы котлов. В частности, коэффициент готовности возрос до 95% по котлу с барабанными и до 90% по котлу с шахтными мельницами; соответственно коэффициент рабочего времени в последние месяцы увеличился до 90 и 85%.

Ниже приводятся данные об основных неполадках и о проведенных мероприятиях по повышению надежности котлоагрегатов.

Водяные экономайзеры. Из общего числа повреждений поверхностей нагрева повреждения водяных экономайзеров составляют от 60

до 90%. Эти повреждения сводились к следующему.

1. Появление свищей в местах заводской контактной и монтажной газовой сварки труб. Основной причиной появления этих свищей является некачественная сварка. Определенное влияние на появление свищей в неудовлетворительно проваренных стыках труб оказывает и нарушение теплового режима отдельных труб при растопках, малых нагрузках и т. п.

В результате наладки теплового режима котлов и отбраковки дефектных стыков количество этих повреждений в значительной мере снизилось.

В целях детального изучения влияния теплового режима экономайзера на появление свищей

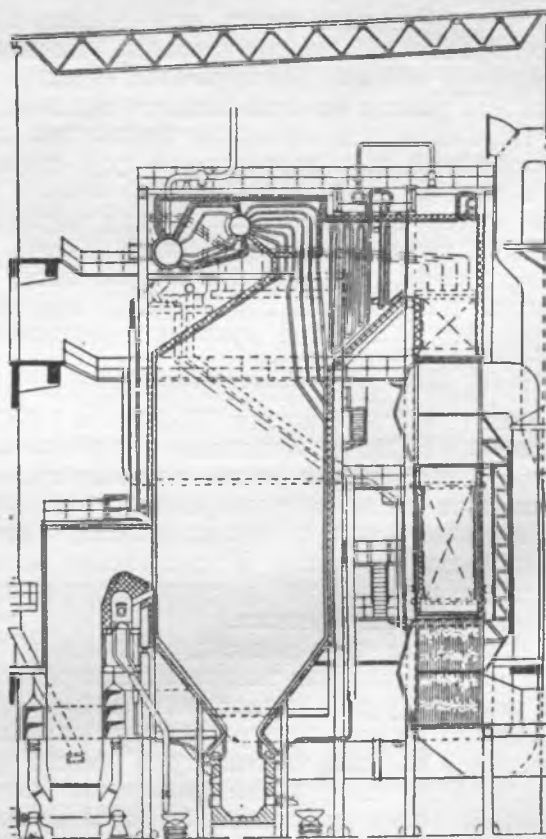


Рис. 1. Котел ТП-230-1 с шахтно-мельничной топкой.

¹ Описание котла см. в статье И. М. Шамраевского в сборнике „Монтаж и эксплуатация котлов высокого давления“, Госэнергоиздат, 1949 г.

на ряде станций в настоящее время проводятся специальные исследования.

Однако в первую очередь должно быть обращено внимание на повышение качества как заводской, так и монтажной сварки.

2. Через 15 мес. эксплуатации на одном из котлов обнаружен массовый износ труб водяного экономайзера второй ступени. Износ наблюдается как по длине труб, так и на калачах у стенок и в середине газохода.

Расчетные скорости в конвективной шахте для подмосковного угля завышены, а именно:

	Первая ступень, м/сек	Вторая ступень, м/сек
Водяной экономайзер	13,2	10,5
Воздухоподогреватель	19,2	15,2

В эксплуатации фактические скорости газов оказались еще выше вследствие повышенных против расчетных присосов воздуха по агрегату.

Поставленная заводами противоизносная защита труб водяного экономайзера оказалась недостаточной. В период капитальных ремонтов котлов в целях борьбы с золовым износом станцией поставлена дополнительная противоизносная защита. Но в условиях высоких скоростей газов вполне эффективным мероприятием может явиться установка на котлах ТП-230-1 встроенных жалюзийных золоуловителей.

Как показывает опыт эксплуатации такого жалюзийного золоуловителя на одном из котлов, работающем на подмосковном угле, этот золоуловитель улавливает преимущественно крупные фракции, наиболее опасные в отношении износа.

Наиболее радикальным способом борьбы с золовым износом является снижение газовых скоростей в конвективной шахте, что должно быть учтено заводом при конструировании хвостовых поверхностей нагрева для агрегатов, предназначенных для работы на многозольном топливе.

3. Появление значительного количества вторичных свищей, т. е. повреждений труб струями воды и пара из первичных свищей в связи с затрудненностью осмотра и нахождения места повреждения, выемки и замены дефектных труб.

Пароперегреватель. Второе место по количеству повреждений (до 20—30%) занимают перегреватели. Основные причины повреждений перегревателей следующие:

1. Первоначальная поверхность нагрева перегревателя (1 825 м² у котлов ТП-230-1 и 1 790 м² у котлов ТП-230-2) оказалась завышенной, и у первых экземпляров котлов в период пробной эксплуатации после ряда разрывов трубок перегревателя она была уменьшена на 30% путем вырезки части змеевиков. У следующих котлов уменьшение поверхности нагрева перегревателя производилось при монтаже.

2. Вследствие небрежности, допущенной на заводе при изготовлении змеевиков перегревателя и при монтаже, у ряда котлов значительная часть змеевиков на стороне перегретого пара оказалась выполненной из углеродистых труб вместо труб из стали 15ХМ. Наибольшее количество аварий с перегревателями произошло по этой причине. Так, на одном из котлов в течение нескольких месяцев произошло 13 разрывов труб на стороне

перегретого пара, причем в 12 случаях это оказались трубы, выполненные из углеродистой стали.

В период капитального ремонта 1950 г. у двух котлов была произведена полная переборка всего перегревателя на стороне перегретого пара, с проверкой всех труб стилоскопом на содержание легирующих примесей. Все участки углеродистых труб были заменены хромо-молибденовыми трубами. Таких участков на одном из котлов оказалось более 300.

Во избежание попадания углеродистых труб вместо легированных на заводах должен быть обеспечен тщательный контроль и установлен порядок, исключающий возможность повторения таких случаев. При монтаже необходимо производить повторную проверку смонтированного оборудования (перегревателя, паропроводов) стилоскопом на соответствие марки сталей техническим условиям.

3. Повреждения трубок перегревателя в значительной мере также обуславливались большой неравномерностью температур перегретого пара по ширине перегревателя, с повышением температуры в отдельных змеевиках выше допустимого предела (до 600°С). Такая неравномерность температуры вызвана чувствительностью перегревателя к изменениям топчного режима и отсутствием какого-либо перемешивания по ходу пара. Характер распределения температур по змеевикам котла ТП-230-1 с шахтно-мельничной топкой показан на рис. 2*. В среднем расхождение температур по змеевикам составляет до 30°С, доходя в отдельных случаях до 50°С.

Учитывая опыт эксплуатации котлов ТП-230-1, завод ТКЗ в котлах ТП-230-2 осуществил смешение пара (рис. 3). Но это мероприятие не дало положительного эффекта: на рис. 4 представлен характер распределения температур по ширине перегревателя котла ТП-230-2 с шахтно-мельничной топкой. Как видно из графика, разверка температур по змеевикам составляла до 60—80°С, причем наибольшие температуры были у крайних змеевиков. С повышением нагрузки котла крайние змеевики накалялись докрасна. Таким образом, и новая схема перегревателя оказалась неудовлетворительной.

По предложению ТКЗ были заглушены все крайние трубы между промежуточными коллекторами (рис. 3) и, кроме того, задросселирована часть труб между коллектором перегретого пара и сборным коллектором. В результате удалось получить более равномерное распределение температур пара по ширине пароперегревателя (рис. 4).

Установленный регулятор перегрева обеспечивает поддержание необходимой конечной температуры пара при любом режиме котла. Но включение его на стороне насыщенного пара создает известные трудности в регулировании; поскольку перегреватель обладает тепловой инерцией, достаточная гибкость в регулировке отсутствует и наблюдается запаздывание в изменении температуры пара при изменении подачи воды на па-

* Все цифры и графики, кроме тех, где это особо оговорено, приведены по данным Службы наладки и испытаний тепломеханического оборудования Мосэнерго.

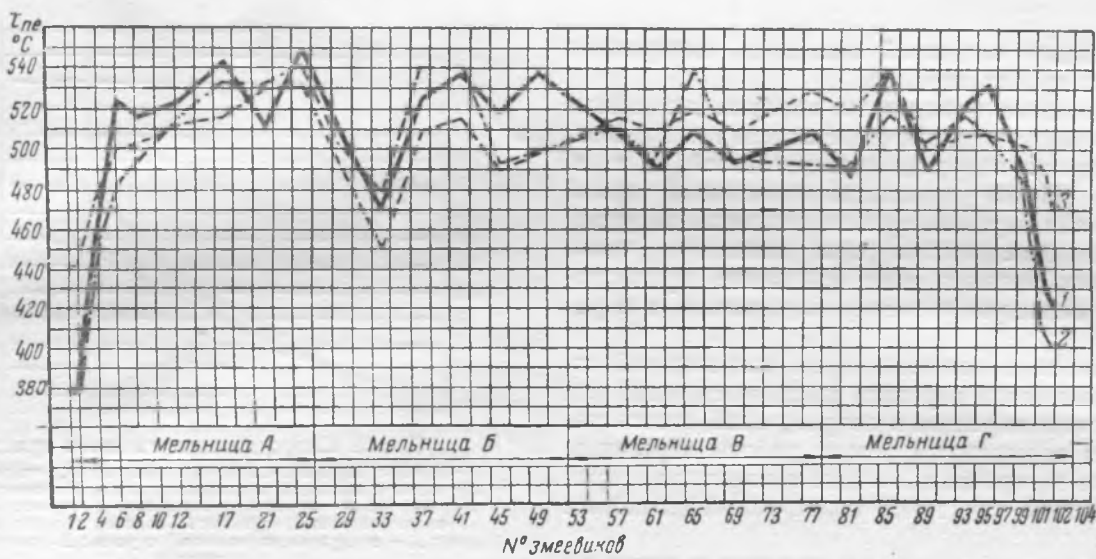


Рис. 2. Распределение температур пара по змеевикам перегревателя котла ТП-230-1 с шахтно-мельничной топкой.

$t_{\text{пар}}, ^\circ\text{C}$	$D_{\text{к}}, \text{м/час}$	$\alpha''_{\text{пл}}$	При работе мельниц
1-100	156	1,31	БВГ
2-141	177	1,29	АВГ
3-194	230	1,53	АБВГ

роохладитель. Это обстоятельство затрудняет наладку автоматического регулирования.

4. При длительной работе с нагрузкой, близкой к номинальной, наблюдается шлакование фестона и перегревателя. Шлак рыхлый, но удалять его на ходу не удается, так как заводом не предусмотрена стационарная обдувка фестона и перегревателя и отсутствует достаточное количество лючков для ручной расшлаковки. Шлакование становится ощутительным примерно на 10-й день работы котла с номинальной нагрузкой и прогрессирует, создавая газовый перекоп на входе в перегреватель, увеличивая неравномерность и повышая температуру пара по отдельным змеевикам до аварийного предела.

Экраны. Ряд вынужденных остановок котлов произошел вследствие разрывов экранных труб; у котлов с шахтно-мельничной топкой — крайних и средних труб заднего экрана и труб малого бокового экрана, включенных в соленый отсек; у котла с боковым расположением круглых горелок — трубы, прилежащей к углу заднего экрана.

При нормальном режиме не имеется нарушений циркуляции, но при встречающихся в эксплуатации отклонениях от нормального режима (работа с пониженной нагрузкой, тепловые пере-

косы и т. п.) циркуляционный режим, очевидно, становится ненадежным. Это подтверждается опытами ЦКТИ, проведенными на котле с боковым расположением горелок. Средние скорости

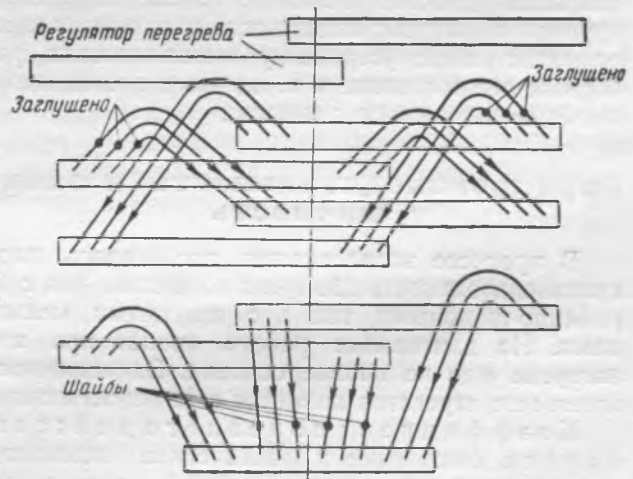


Рис. 3. Схема пароперегревателя котла ТП-230-2.

воды в экранах оказались ниже расчетных; имеется значительная разверка скоростей по ширине экранов, снижение скорости до 0,1 м/сек и пульсация в отдельных трубах при некоторых режи-

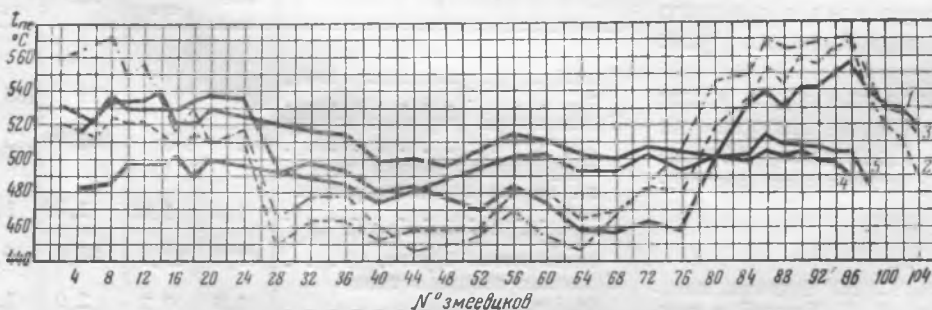


Рис. 4. Распределение температур пара по змеевикам перегревателя котла ТП-230-2 с шахтно-мельничной топкой.

$t_{\text{пар}}, ^\circ\text{C}$	$D_{\text{к}}, \text{м/час}$	$\alpha''_{\text{пл}}$	При работе мельниц
1-100	190	1,27	БВГ
2-145	194	1,21	АБВГ
3-160	201	1,12	АБВ
4-100	160	После реконструкции	АБВ
5-100	161		АБВ

мах; наименее надежной оказалась циркуляция в угловых трубах экранов.

Значительное влияние на циркуляцию оказывает включение и выключение отдельных горелок, неравномерная нагрузка пылепитателей и т. п. У котлов ТП-230 с шахтно-мельничной топкой значительная неравномерность тепловой нагрузки топочного пространства при неполном числе включенных мельниц дает основание предполагать еще большую разверку циркуляции в экранах.

Помимо перечисленных выше повреждений основных элементов агрегата имел место еще ряд более мелких дефектов и повреждений, также нарушавших нормальный режим работы агрегатов:

1) течь в торцевых лючках коллекторов экранов вследствие неудачной конструкции лючковых затворов;

2) срывы труб экранов с крючков и отход их от стенок в сторону топки из-за неудовлетворительного крепления труб;

3) неудачная конструкция шибберов на воздушном и газовом тракте котла и мельниц, что осложняет пользование ими; отсутствие дистанционных приводов и т. п.

Невнимание к этим «мелочам» при проектировании и изготовлении котлоагрегатов приводило к большим трудностям в эксплуатации. Следует также отметить, что заводами и проектирующими организациями уделяется недостаточно внимания вопросам удобства ремонта: смене и ревизии крупной арматуры; надежности отключения котла от магистралей; устройству металлических разборных лесов в топке и т. п., что в эксплуатации имеет немаловажное значение.

Паропроизводительность и экономичность

В процессе эксплуатации достигалась паропроизводительность 230 т/час по котлам как с барабанно-шаровыми, так и с шахтными мельницами. Но длительная работа котлов при этой нагрузке еще не вполне освоена. Экономичность котельных агрегатов является еще недостаточной.

Коэффициент полезного действия брутто. Расчетные и фактические экономические показатели котлов ТП-230-1, достигнутые в результате длительной наладки, проведенной ЦКТИ и Службой наладки Мосэнерго², полученные при испытаниях, показаны в табл. 2 (при нагрузке 230 т/час).

В условиях испытаний расчетный к. п. д. котлов брутто достигнут, однако следует отметить, что он был выбран заводом достаточно осторожно и на 1,2% ниже к. п. д. ряда котлов среднего давления, работающих на подмосковном угле (89%).

Температура уходящих газов оказалась выше расчетной и температура горячего воздуха на 40—50°С ниже расчетной. Последнее обстоятельство вызывает у котлов с шахтными мельницами недосушку пыли.

² Руководители бригад: инж. Г. А. Бургвиц, канд. техн. наук И. Е. Дубовский, инж. И. П. Гержой и инж. М. Ф. Довгая.

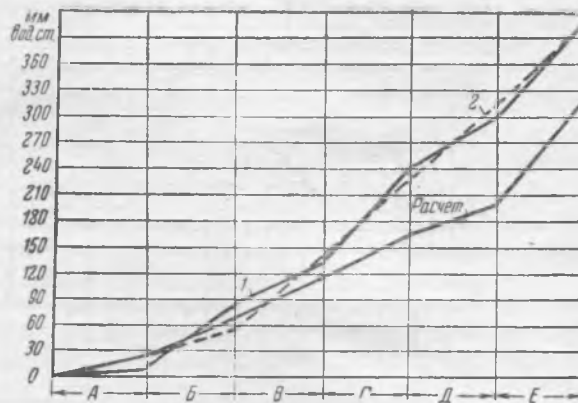


Рис. 5. Сопротивление газового тракта.

1 — котел с барабанно-шаровыми мельницами, опыты ЦКТИ; 2 — котел с шахтными мельницами, опыты Мосэнерго; А — перегреватель; Б — водяной экономайзер II ступени; В — воздухоподогреватель II ступени; Г — водяной экономайзер I ступени; Д — воздухоподогреватель I ступени; Е — золоуловитель и газоход.

Коэффициент избытка воздуха за установкой значительно превышает расчетную величину: в условиях испытаний он составил $\alpha = 1,65-1,70$, а в эксплуатации доходит до $\alpha = 1,80$.

Наибольший присос воздуха имеет место в воздухоподогревателе I и II ступени и в золоуловителе.

Расход электроэнергии. В расчете котлов ТП-230-1 принято высокое сопротивление газового и воздушного тракта, в частности для котлов с шахтными мельницами 337 и 400 мм вод. ст. Действительное сопротивление газового тракта превышает расчетное на 80—90 мм вод. ст. (рис. 5).

При проектировании новых котлоагрегатов расчетная величина коэффициента избытка воздуха в уходящих газах принимается достаточно высокой (1,45—1,50), но конструктивное выполнение уплотняющих устройств не обеспечивает сохранения длительной плотности котельных агрегатов и не дает возможности поддерживать избытки воздуха даже на этом уровне.

Высокое сопротивление газового и воздушного трактов, большие присосы воздуха и недостаточная экономичность тяго-дутьевых установок приводят к тому, что удельный расход электроэнергии на дутье и тягу у котлов ТП-230-1 составляет 9—10 квтч/т пара против 7—8 квтч/т для котлов среднего давления и 3,5—4 квтч/т, достигнутых на одной из лучших электростанций, сжигающих подмосковный уголь.

Таблица 2

Показатели	Котлы с барабанно-шаровыми мельницами		Котлы с шахтными мельницами	
	Расчетные	При испытаниях	Расчетные	При испытаниях
Температура уходящих газов, °С	183	192	179	186
Температура горячего воздуха, °С	392	350	381	335
Коэффициент избытка воздуха за воздухоподогревателем	1,45	1,65	1,50	1,65
Коэффициент полезного действия котла брутто, %	87,8	88,1	86,0	87,3
Тепловые потери в топке (q_3+q_4), %	1,0	0,3	2,0	1,15

В итоге к. п. д. нетто котлов ТП-230-1 высокого давления получается ниже к. п. д. нетто котлов среднего давления примерно на 1,5%.

Работа шахтно-мельничных топок

В настоящее время в условиях испытаний шахтно-мельничной топки котла ТП-230-1 достигнута отсутствие химической неполноты горения и содержание горючих в уносе 1—1,5%.

На рис. 6 представлены результаты испытания шахтных мельниц. В условиях испытаний удельный расход электроэнергии по шахтным мельницам составляет 8,5—9,0 квтч/т при $R_{70} = 60\%$.

Однако в эксплуатационных условиях не удается всегда работать с оптимальным количеством и загрузкой мельниц, оптимальным воздушным режимом и тонкостью помола, надлежащим состоянием бил и т. п. Поэтому эксплуатационные показатели котлов ТП-230 с шахтными мельницами значительно отличаются от показателей, полученных в условиях опыта, в то время как по котлам с барабанно-шаровыми мельницами обычно получаются довольно близкие результаты.

В эксплуатации расход электроэнергии по шахтным мельницам держится на уровне 9,5—10 квтч/т, содержание горючих в уносе составляет 2—2,5% (рис. 7).

В процессе наладки шахтно-мельничной топки осуществлен ряд переделок: увеличен угол наклона шлиц, сделан дополнительный подвод воздуха через заднюю стенку. Но полностью наладка топки еще не закончена, и в работе ее имеются значительные дефекты.

Основным из них является непрерывная пульсация факела, наблюдающаяся при всех режимах и являющаяся следствием ряда причин:

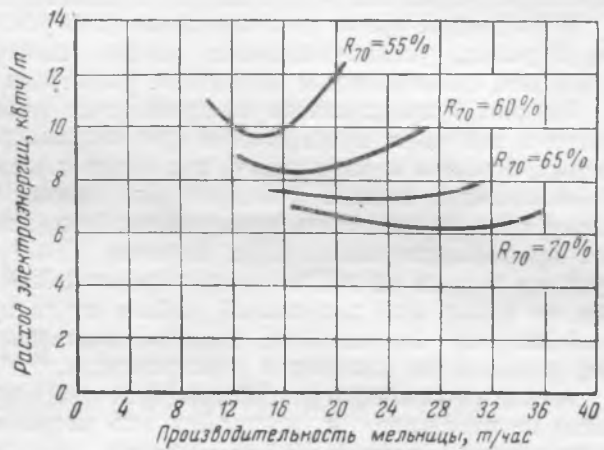


Рис. 6. Результаты испытаний шахтных мельниц типа 730/1660/2004. Подмосковский уголь.

недосушки пыли в мельницах, пульсации выходящего из мельниц потока аэропыли и неудовлетворительной аэродинамики топки.

Подсушка в мельницах и аэродинамика топки ухудшаются также вследствие поступления большого количества неорганизованного воздуха через неплотности холодной воронки и топливopодающего узла. Доля неорганизованного воздуха составляет до 25% от всего воздуха, подаваемого в топку.

Конструкция узла подачи топлива в мельницу не обеспечивает герметичности: открытый ленточный питатель, отсутствие затворов на рукавах к мельнице. Отключающие шиберы в шахтах не работали, вследствие чего при ремонте мельницы в топку поступал холодный воздух. Мельницы часто выходили из строя из-за попадания металлических предметов вследствие отсутствия магнитных уловителей.

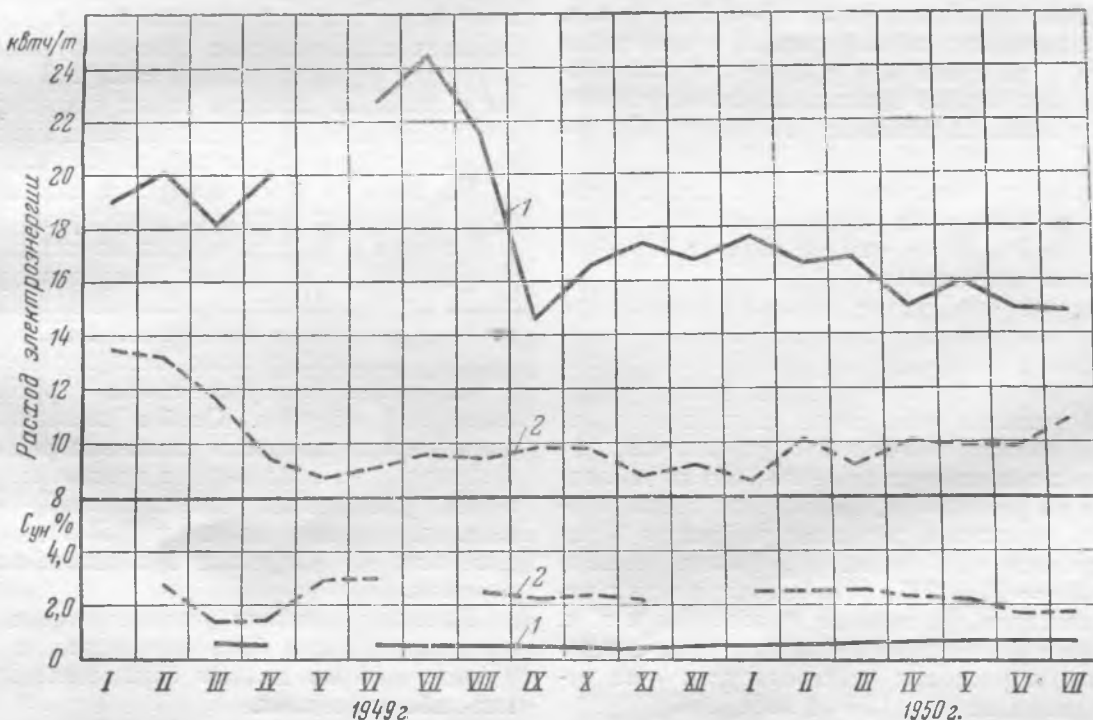


Рис. 7. Расход электроэнергии на пылеприготовление и содержание горючих в уносе. 1- барабанно-шаровые мельницы; 2- шахтные мельницы.

В настоящее время узел топливоподачи реконструируется, устанавливаются новые шиберы в шахтах, смонтированы магнитные уловители.

На рис. 8 представлено распределение температур в топочном пространстве при теплонпряжении, близком к расчетному, для котла с шахтно-мельничной топкой. Температуры газов по всему объему топочного пространства невелики, нет ярко выраженного ядра горения. Температура на выходе из топки не превышает 1000°C , тем не менее, при длительной работе котла при этой нагрузке наблюдается, как указывалось выше, шлакование фестона и перегревателя.

Автоматическое регулирование топочного процесса не налажено, и настройка его встречает затруднения вследствие имеющейся инерции шахтных мельниц.

Хотя оптимальные показатели работы шахтно-мельничной топки еще и не достигнуты, тем не менее, по состоянию в настоящий момент представляется интересным сравнить экономические показатели котлов ТП-230-1 с барабанно-шаровыми и шахтными мельницами.

В условиях испытаний к. п. д. брутто в настоящее время у котла с барабанно-шаровой мельницей примерно на 1% выше, чем у котла с шахтными мельницами, за счет более низкой потери с механической неполнотой горения (0,3% против 1,15%).

Удельный расход электроэнергии на пылеприготовление по барабанно-шаровым мельницам составляет $16,0 \text{ квтч/т}$ против $8,5\text{—}9,0 \text{ квтч/т}$ для шахтных мельниц.

В итоге, по испытаниям к. п. д. нетто котлов с барабанно-шаровыми и шахтными мельницами получается практически одинаковым.

Эксплуатационные условия вносят значительные коррективы в эти цифры (рис. 7): вследствие более высоких в эксплуатации расхода электроэнергии на пылеприготовление ($9,5\text{—}10 \text{ квтч/т}$) и содержания горючих в уносе (2—2,5%), к. п. д. котла с шахтно-мельничной топкой значительно снижается, в то время как у котла с барабанно-шаровыми мельницами эксплуатационные условия оказывают меньшее влияние (16 квтч/т , $C_{yn} = 0,6\%$).

В результате эксплуатационный к. п. д. нетто по котлу с шахтными мельницами получается примерно на 2% ниже, чем по котлу с барабанно-шаровыми мельницами.

Эти выводы не могут рассматриваться как окончательные, они характеризуют только состояние наладки и эксплуатации шахтно-мельничной топки на данном отрезке времени. После окончательной наладки показатели шахтно-мельничных топок должны значительно улучшиться.

Вместе с тем следует отметить, что за последнее время на установках, сжигающих подмосковный уголь, проделана серьезная работа по барабанно-шаровым мельницам: угрубление помола пыли до $R_{30} = 15\text{—}17\%$, реконструкция крыльчаток вентиляторов, уплотнение пылесистем и т. п. В результате этого получено значительное снижение удельных расходов электроэнергии — по отдельным мельницам до $13\text{—}14 \text{ квтч/т}$.

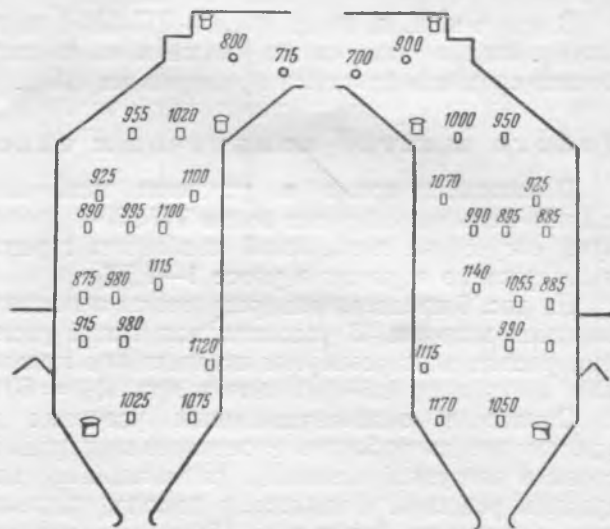


Рис. 8. Температуры топочного пространства котла с шахтно-мельничной топкой.

$$\frac{Q}{V} = 128\,000 \text{ кал/м}^3\text{час мельницы АБВ.}$$

Выводы

Опыт эксплуатации барабанных котлов высокого давления ТП-230-1 Таганрогского завода показывает, что хотя в результате наладки повышена их надежность и достигнуты проектные технико-экономические показатели, тем не менее, все возможности в этом направлении не исчерпаны. При создании новых котельных агрегатов высокого давления заводу необходимо идти далее по пути совершенствования и повышения их надежности и экономичности.

Таганрогский котельный завод, учтя уже имеющийся опыт, при разработке последующих конструкций котлов высокого давления принимает более высокий расчетный к. п. д. агрегатов, снижает сопротивление газо-воздушного тракта, улучшает циркуляционную схему. В целях борьбы с золовым износом завод проектирует установку встроенных золоуловителей и вынос калачей водяного экономайзера за пределы кладки и т. д.

Но помимо этого требуется еще проработка ряда серьезных вопросов, затронутых в настоящей статье и не получивших до сих пор полного разрешения, в частности: вопросов улучшения схемы перегревателя, пересмотра величины и компоновки хвостовых поверхностей нагрева с введением малогабаритных воздухоподогревателей и встроенных золоуловителей; устройства стационарной обдувки. Особое внимание должно быть уделено вопросам снижения расхода электроэнергии на собственные нужды котлоагрегата путем уменьшения сопротивлений, улучшения к. п. д. тяго-дутьевых устройств, повышения плотности котлоагрегата и обеспечения удобства ремонта.

Качество монтажа котлоагрегатов высокого давления должно быть повышено, и ввод их в эксплуатацию должен осуществляться без каких-либо недоделок.



Ультразвуковой прибор для измерения толщины стенок труб

Инж. В. С. Соколов

На предприятиях часто бывает необходимо измерить толщину стенок труб или оборудования, доступ к которым возможен только с внешней стороны, производить же для этого сверление стенок нельзя. Например, на некоторых электростанциях происходит местное уменьшение толщины стенок питательных трубопроводов по причине коррозии с внутренней стороны.

Для предупреждения разрывов питательного трубопровода производится внутренний осмотр его или просвечивание гамма-лучами, для чего требуется отключить трубопровод и разобрать его. При этом все же не всегда возможно установить утонение стенок трубы.

Опыт просвечивания труб гамма-лучами показал, что такое просвечивание является надежным средством определения состояния стенок труб без отключения трубопровода из работы¹. Однако и этот способ является весьма продолжительным и слишком дорогим. Так, например, для просвечивания трубопровода диаметром 50 мм с толщиной стенок труб 4—5 мм на длине 1 м требуется затратить 5 час. 30 мин. При этом толщина стенок труб будет определена не по всему периметру, а только в диаметрально противоположных линиях на длину наложенной пленки.

Измерения толщины металла с поверхности можно производить ультразвуком, чем значительно ускоряется контроль металлических листов и стенок труб; им можно исследовать полностью весь периметр трубопроводов котельной за время меньшее, чем это нужно для просвечивания гамма-лучами только 1 пог. м. трубы. При этом для контроля также не требуется отключать трубопровод из работы или производить какую-либо специальную подготовку, за исключением снятия теплоизоляции. Погрешность при этих измерениях не превышает 1%.

Принцип устройства прибора

Ультразвуковые колебания для дефектоскопии металлов получили за последнее время большое применение². В ультразвуковых дефектоскопах используется пьезоэлектрический эффект некото-

рых кристаллов, заключающийся в том, что при подаче переменного напряжения от лампового генератора высокой частоты на пластинку, вырезанную из кристалла кварца, сегнетовой соли, турмалина и т. п., последняя приходит в механическое колебание с частотой приложенных колебаний. Колебания эти передаются окружающей упругой среде и распространяются в ней преимущественно в направлении, перпендикулярном плоскости излучателя (пластинки).

Пластинки из кристаллов могут колебаться с очень большой (ультразвуковой) частотой, лежащей далеко за пределами слышимых звуков, т. е. более 16 000 пер/сек.

Прикладывая колеблющуюся пластинку из кристалла к исследуемому металлу, можно ввести ультразвуковые колебания в металл. Скорость распространения звуковых колебаний в твердых телах очень велика. В металлах, например, она составляет около 5 000—6 000 м/сек.

Ультразвуковые колебания отражаются от границы раздела двух сред (например, сталь—воздух, сталь—вода, вода—воздух и т. д.). Отраженные колебания воспринимаются второй такой же пластинкой или, в случае применения импульсного генератора с чередующимися импульсами и паузами, одной и той же, во время паузы. При этом пластинка также приходит в механическое колебание и на ее поверхности возникают электростатические заряды. Эти заряды снимаются отводящим проводом, усиливаются обычным ламповым усилителем и подаются на какой-либо указывающий прибор.

Если внутри металла имеется дефект, то колебания отразятся от него раньше, чем от задней стенки исследуемого металла, и это будет отмечено соответствующим указателем. Такой общий принцип устройства импульсного ультразвукового дефектоскопа.

В ультразвуковом приборе для измерения толщины металла с поверхности используется такой же пьезоэлектрический эффект кварцевой пластины. Работа прибора основана на образовании стоячих волн в металлическом листе при определенной частоте ультразвуковых колебаний (рис. 1), по которой и может быть определена толщина стенки металла. Частота колебаний, при которой возникают волны, зависит от толщины металла и скорости звука в нем.

¹ См. „Электрические станции“, № 1, 1948 г., стр. 58.

² С. Я. Соколов, Применение ультразвука в технике и физике, „Заводская лаборатория“, № 11, 1948 г.; С. Я. Соколов, Успехи физических наук, вып. 1, 1950 г.

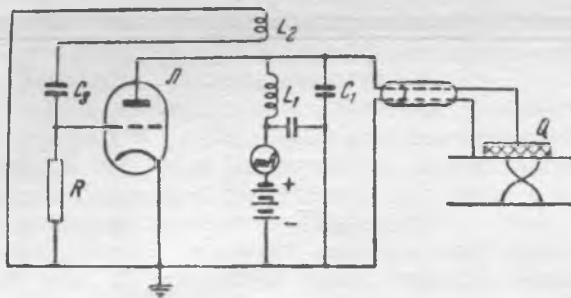


Рис. 1. Основная схема генератора для получения стоячих волн в материале.

Условие возникновения стоячих волн внутри стенки металла определяется отношением

$$f = \frac{C}{2t}, \quad (1)$$

где f — частота, пер/сек;

C — скорость звука в металле, см/сек;

t — толщина металла, см.

Стоячие волны образуются также на всех гармониках от основной частоты

$$\begin{aligned} f_2 &= 2f_1, \\ f_3 &= 3f_1, \\ f_n &= nf_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Если основная частота известна, то толщина стенки может быть определена из уравнения

$$t = \frac{C}{2f}. \quad (3)$$

Рабочая схема аппарата и работа с ним

Пластинка из кварца, возбуждаемая от генератора, собранного по схеме рис. 2, накладывается на испытуемый материал и в него вводятся ультразвуковые колебания. Если гетеродин настраивается на частоту, являющуюся кратной основной частоте, то в толще материала резко возрастает амплитуда звуковых колебаний (образуются стоячие волны с пучностью у обеих поверхностей материала). Это и есть условие, при котором анодный ток в цепи гетеродина увеличивается. Изменение анодного тока при этом может доходить до 25%, что и отмечается прибором. Частота гетеродина, при которой происходит это увеличение анодного тока, отсчитывается на шкале настройки, проградуированной прямо в толщинах измеряемого материала.

С помощью этого прибора можно также находить некоторые дефекты в металле. Для этого размер дефектного места (раковины, расслоение металла) должен быть по площади не менее площади пластинки кварца. Чем меньше площадь пластинки, тем меньше по размеру дефект внутри металла можно обнаружить. Однако слишком малая площадь кварцевой пластинки не может дать достаточного изменения анодного тока гетеродина, и чувствительность прибора упадет.

Отмечать изменение анодного тока можно различными способами: стрелочными приборами, прослушиванием на звуковой прибор (головной телефон), осциллографом и т. д.

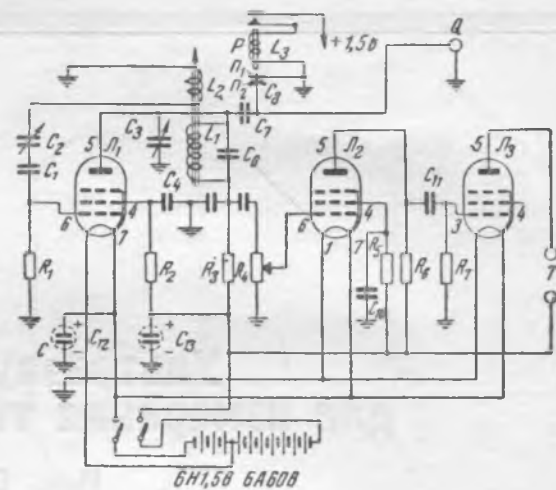


Рис. 2. Принципиальная схема прибора для измерения толщины металла ультразвуковыми колебаниями.

R_1 — 100 тыс. ом, 0,25 вт; R_2 — 160 тыс. ом, 0,25 вт; R_3 — 30 тыс. ом, 0,25 вт; R_4 — 1 мгом, 0,25 вт; R_5 — 8 мгом, 0,25 вт; R_6 — 500 тыс. ом, 0,25 вт; R_7 — 5 мгом, 0,25 вт; C_1 — 350 мкмкф, 250 в; C_2 — 4—20 мкмкф, 250 в; C_3 — 20—120 мкмкф, 250 в; C_4 — 0,01 мкмкф, 250 в; C_5 — 0,005 мкмкф, 250 в; C_6 — 50 мкмкф, 250 в; C_7 — 0,005 мкмкф, 250 в; C_8 — 6 мкмкф, 250 в; C_9 — 0,01 мкмкф, 250 в; C_{10} — 0,1 мкмкф, 250 в; C_{11} — 0,01 мкмкф, 250 в; C_{12} — 240 мкмкф, 12 в; C_{13} — 5 мкмкф, 100 в; i , C_0 и C_3 — контур настроен на частоту от 1,98 до 2,58 мГц; L_1 — лампа 1Б1П; L_2 — лампа 1Б1П; L_3 — лампа 1S4; P — реле 1,5 в — L_3 — 28 ом, поляризованное; T — телефоны; K — щуп с кварцем.

На схеме рис. 2 первая лампа L_1 является гетеродином с контуром L_1C_6 ; L_2 — катушка обратной связи гетеродина. Величина обратной связи регулируется конденсатором C_2 , ось которого выводится на панель, так как эта регулировка резко увеличивает чувствительность всего прибора, что необходимо для контроля толстых металлов. Посеребренный с одной стороны кварц Q включен параллельно основному контуру гетеродина.

Для работы на слуховой прибор в схеме применена частотная модуляция, которая осуществляется конденсатором C_8 . Одной из пластинок этого конденсатора служит пластинка Π_1 — реле, включенная последовательно в цепь прерывателя.

Колебания пластинки Π_1 изменяют параметры гетеродина L_1 , почему и происходит частотная модуляция анодного тока L_1 .

Благодаря такой модуляции, происходящей примерно с частотой около 400 пер/сек, можно слышать работу гетеродина и изменение амплитуды анодного тока при резонансе. Графически этот процесс представлен на рис. 3.

Сигнал с анодной цепи гетеродина снимается движком переменного сопротивления R_4 и подается на обычный двухкаскадный усилитель. Усиленный сигнал подается на указывающий прибор.

В описываемом приборе применен головной телефон, который удобен тем, что освобождает контролера от наблюдения за каким-либо другим указателем и дает возможность сосредоточить внимание на установку кварцедержателя на исследуемый металл и прочесть отметку толщины на шкале прибора. После установки кварцедержателя на изделии ручка гетеродина поворачивается до появления слышимого звука в телефоне, и на шкале против движка при появлении звука прочитывается толщина стенки.

Ультразвуковой прибор смонтирован для питания от батарей, но такой же прибор с подо-

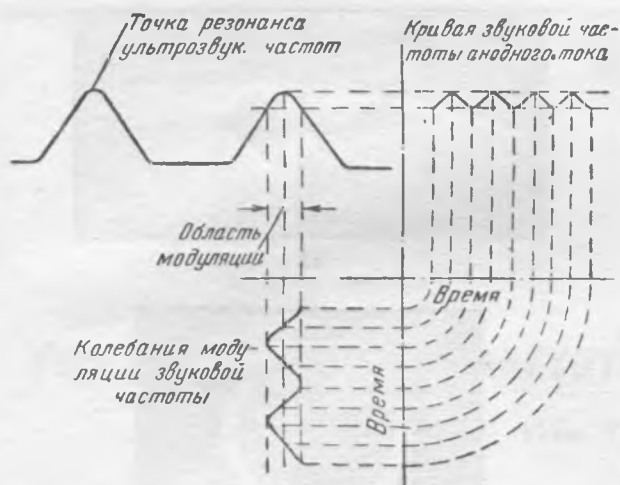


Рис. 3. Графическое изображение получения звуковой частоты в анодной цепи L_1 прибора.

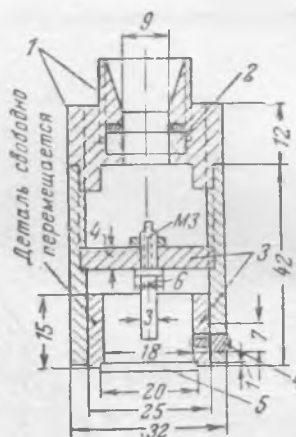


Рис. 4. Кварцедержатель.

1 — накатка; 2 — резина; 3 — плексиглас;
4 — шпилька для ограничения хода;
5 — кварц.

гревными лампами может работать от сети переменного тока, например на лампах L_1 — 6АС7, L_3 — 6С5, L_3 — 6Ф6. Устройство кварцедержателя показано на рис. 4, а общий вид аппарата представлен на рис. 5.

Таким прибором можно измерить толщину различных материалов: металла, пластмассы, дерева, а также высоту столба воды и т. д. Для этого необходимо лишь проградуировать шкалу на соответствующий материал [по уравнению (1)], так как скорости звука в разных материалах различны. Для измерения толщины изоляционных материалов необходимо сделать их поверхность токопроводящей.

Кроме того, для лучшего контакта кварца с поверхностью следует нанести на изделие тонкий слой масла.

К недостаткам прибора относится трудность получения непрерывного большого диапазона частот гетеродина. При работе с небольшим диапазоном частот для измерения толщины в больших пределах приходится пользоваться не основными частотами, а гармониками. При этом на одном и том же делении шкалы могут быть получены сигналы, соответствующие разным толщинам (как большим, так и меньшим). Чтобы избежать ошибки, желательно предварительно знать хотя бы приблизительную толщину материала. Для трубопроводов, различных баллонов начальная толщина всегда бывает известна, поэтому такие измерения можно производить без ошибки. При неизвестных заранее толщинах можно воспользоваться графиком рис. 6, который составлен для монтируемого прибора с частотами от $f_1 = 2,15$ до $f_2 = 2,95$.

Из этого графика видно, что измерения любых толщин можно производить в пределах выбранных частот, но от величины 1,4 мм работа происходит на гармониках от основной частоты. На графике по горизонтальной оси отложены номера гармоник, а по вертикальной оси — измеряемые толщины. Наклонные линии соответствуют частотам стоячих волн $f_{\max}, f, f_2, \dots, f_{\min}$. Как видно, одной и той же толщине (например $t \approx 13,5$ мм) соответствует несколько частот, f_a, f_b, f_c .

Легко видеть, что, пользуясь таким графиком, можно определить толщину материала по данным измерений на нескольких гармониках с большой степенью точности. Например, получив по показаниям прибора частоты f_1, f_3, f_5, \dots и расположив соответствующие точки на пересечениях вертикальных линий (соответствующих гармоникам) и наклонных линий (соответствующих частотам), следует соединить их линией. При правильном расположении точек пересечения эта линия будет прямой горизонтальной и ее пересечение с вертикальной осью даст искомую величину толщины A .

Если точки пересечения дадут наклонные или кривые, не горизонтальные линии BC , то это укажет на необходимость их смещения вверх или вниз на следующие гармоники до получения другой прямой горизонтальной линии.

Для материала с параллельными стенками точность измерений, как указано, высокая. При наличии значительной коррозии в виде крупной ржавы на стенках труб точность измерений понижается до 2—5%, что, однако, является практически вполне приемлемым.

Накипь, нагар и другие подобные вещества являются плохими проводниками ультразвуковых колебаний. Поэтому при наличии таких отложений на внутренних стенках труб произойдет силь-

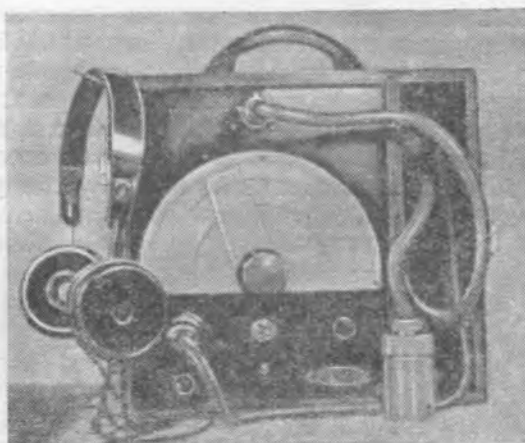


Рис. 5. Общий вид аппарата.

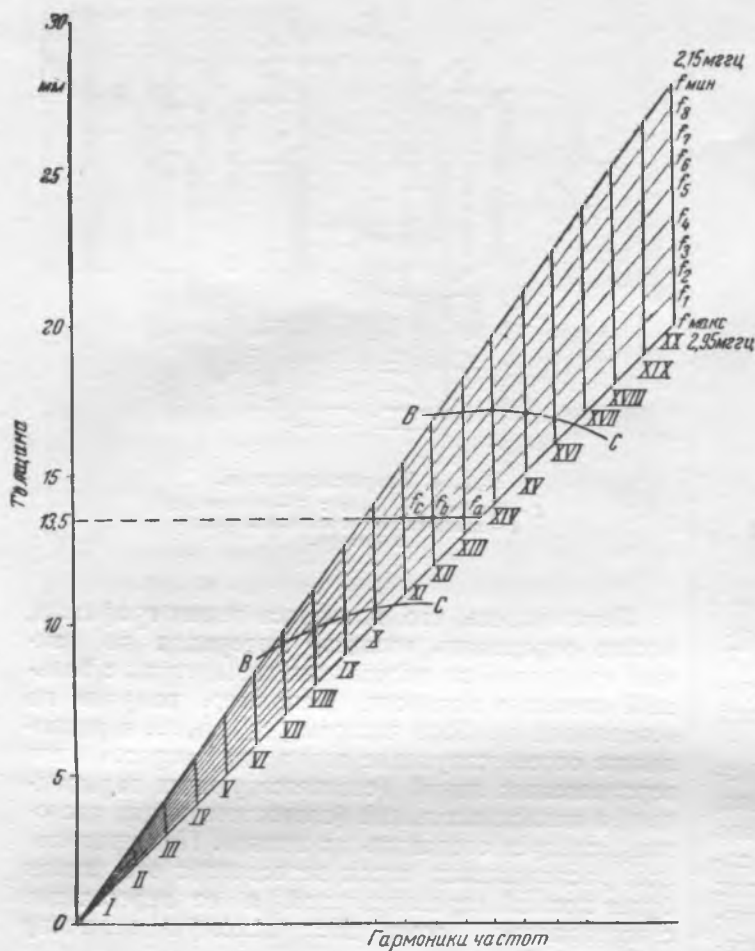


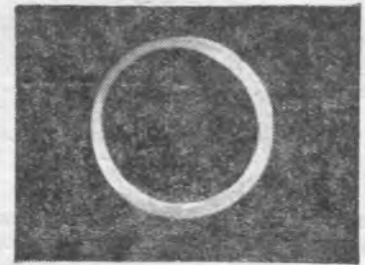
Рис. 6. Вспомогательный график для измерений любых, неизвестных заранее толщин.

ное ослабление ультразвуковых колебаний, что может служить для обнаружения таких отложений.

Большинство жидкостей являются хорошими проводниками ультразвуковых колебаний. Однако акустические свойства жидкостей значительно отличаются от акустических свойств стенок сосуда, и поэтому большая часть ультразвуковой энергии будет также отражаться от границы жидкости и стенки сосуда. Это дает возможность производить измерение толщины стенок водопроводов, не отключая их из работы. Так как некоторые виды накипи и вода все же могут проводить определенное количество ультразвуковых колебаний и общая отраженная их энергия будет меньше по сравнению с энергией, отраженной от чистых стенок, то отсюда следует, что вполне возможно устройство ультразвукового аппарата для определения толщины плотной накипи в трубах и барабанах паровых котлов. Для этого следует помимо градуировки шкалы на толщину еще учи-



а)



б)

Рис. 7. Дефекты, определенные приборами.
а — кислородные язвы в стенке трубы;
б — разностенность трубы.

тывать каким-либо способом интенсивность отраженных ультразвуковых колебаний.

В случае, если внутренние и внешние стенки не параллельны, то измерение толщины вызывает некоторые трудности. Для получения хороших результатов при измерении толщин на параллельных поверхностях следует уменьшить площадь кварцевой пластинки. Если непараллельность будет большая, то одновременно с возникновением стоячих волн от первой гармоники для наименьшей толщины, находящейся под кристаллом, будут возникать стоячие волны от второй гармоники для наибольшей толщины, одновременно находящейся под кристаллом.

Максимально допустимая непараллельность стенок выражается приблизительно равенством

$$m = \frac{0,1}{fl}, \quad (4)$$

где m — максимальный уклон толщины, мм/мм;
 l — размер кристалла в направлении изменения уклона, мм;

f — максимальная ультразвуковая частота при измерении толщины, пер/сек.

Примеры определенных дефектов в толщине стенок труб приведены на рис. 7.

В заключение необходимо отметить простоту устройства описанного аппарата и легкость изготовления его.



Упрощение схемы „частотного“ пуска турбогенератора

Инж. Г. А. Киреев

Для определения причины значительной вибрации мощного турбоагрегата было принято решение разъединить муфту между турбиной и генератором и проверить вибрацию турбины и генератора отдельно.

Для пуска одного генератора типа Т2-50-2 50 тыс. *квт*, 10,5 *кв*, 3 000 об/мин необходимо было применить синхронный пуск подъемом частоты с нуля от специально выделенного для этой цели другого турбоагрегата.

При осуществлении «частотного» пуска имели место значительные осложнения с выбором источников питания как для статора, так и для ротора пускаемого турбогенератора. Дело в том, что все агрегаты на станции имеют мощность по 50 тыс. *квт* и отключение одновременно двух таких агрегатов было в то время по режиму системы затруднительно. Попытка произвести пуск при питании статора генератора от специально выделенного генератора 25 тыс. *квт* на другой станции через последовательно включенные: трансформатор 20 тыс. *кв*а линии 110 *кв* общей длиной около 140 *км* и трансформаторную группу 60 тыс. *кв*а оказалась неуспешной.

При увеличении скорости вращения разворачиваемого генератора (которое доходило до 5% от номинального) ротор разворачиваемого генератора во вращение не приходил. Следует отметить, что при одной из таких попыток ротор поворачивался на небольшой угол — сначала в одну а затем в другую сторону. Ток статора достигал 350 ÷ 400 *а*.

После этого был осуществлен «частотный» пуск от генератора такой же мощности, что и разворачиваемый; при этом связь между статорами осуществлялась через две трансформаторные группы 60 тыс. *кв*а и выделенную систему шин 110 *кв*. При этом возникло затруднение с питанием обмоток возбуждения генераторов, так как на станции имелся только один двигатель-генератор резервного возбуждения, в то время как в литературе¹ рекомендуется независимое питание обмоток роторов разворачиваемого и разворачивающего генераторов.

Имеющаяся на станции аккумуляторная батарея 220 *в* не могла быть использована для этой цели, так как большой ток возбуждения вызвал

бы сильный разряд батареи. Рядом работников станции (А. В. Прохоровым, П. С. Карякиным и автором) был разработан и предложен другой вариант — связанного питания, практически, насколько нам известно, при «частотном» пуске не применявшийся. Обмотки возбуждения обоих генераторов питались от общего источника — двигатель-генератор резервного возбуждения; при этом последовательно с обмоткой возбуждения разворачиваемого генератора было включено регулируемое сопротивление (рис. 1). В качестве этого регулируемого сопротивления использовался пусковой реостат от двигателя с фазным ротором 380 *квт*, 3 *кв*, две фазы которого соединялись параллельно таким образом, чтобы регулировка сопротивления получалась без разрыва цепи. Величина регулируемого сопротивления в пусковом положении была подобрана так, что при токе в обмотке возбуждения разворачиваемого генератора, соответствующем их номинальному напряжению при холостом ходе и номинальном числе оборотов, ток возбуждения разворачиваемого генератора соответствовал напряжению на его выводах, равному половине номинального напряжения при тех же условиях². Его величина составляла 0,45 *ом*. Это предложение и было принято.

Пуск произошел очень легко. Был установлен и отрегулирован необходимый ток возбуждения, и как только был открыт доступ пара в турбину, тотчас же пришли во вращение роторы обоих генераторов. При этом первый толчок тока статора достигал 800 ÷ 1 200 *а*, затем ток спал и после вывода реостата в положение, при котором ток в обмотке ротора разворачиваемого генератора соответствовал номинальному напряжению при нормальном числе оборотов, устанавливался на уровне 300 ÷ 320 *а*. При номинальной скорости вращения генератор Т2-50-2 без турбины потреблял мощность ~700 ÷ 800 *квт*.

В дальнейшем по предложению начальника электроцеха А. С. Григорьева схема пуска была еще более упрощена исключением из нее пускового реостата. При этом соотношение токов в обмотках возбуждения разворачиваемого и разворачиваемого генераторов с точки зрения указанной теории получилось крайне неблагоприятным. При напряжении возбуждителя, при котором ток

¹ Н. А. Поляк, Ненормальные режимы работы синхронных генераторов, „Электрические станции“, № 6, 1933 г.

² Там же.

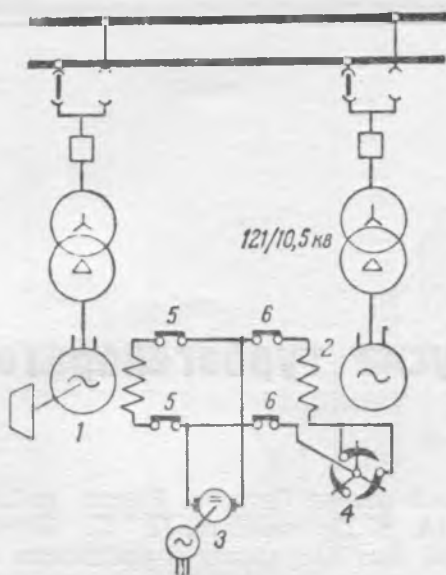


Рис. 1. Схема «частотного» пуска при связанном питании обмоток возбуждения генераторов.

1 — разворачивающий турбогенератор; 2 — разворачиваемый турбогенератор; 3 — двигатель-генератор резервного возбуждения; 4 — пусковой реостат; 5 — автомат резервного возбуждения разворачивающего генератора; 6 — автомат резервного возбуждения разворачиваемого генератора.

в обмотке возбуждения разворачивающего генератора соответствовал 0,9 номинального напряжения на выводах обмотки статора при номинальном числе оборотов, ток в обмотке возбуждения разворачиваемого генератора соответствовал не 0,45, а 1,13 номинального напряжения на выводах генератора.

Основная причина этого заключалась в различии характеристики холостого хода обоих генераторов (рис. 2). Кроме того, сказалась разность температур обмоток возбуждения, так как обмотка возбуждения разворачивающего генератора имела более высокую температуру (генератор перед началом разворота был только что отключен от сети), чем обмотка ротора разворачиваемого генератора.

Так как э. д. с. обмотки статора разворачиваемого генератора больше соответствующей э. д. с. у разворачивающего генератора, то по существующей теории вращающий момент должен быть всегда отрицательным и пуск невозможным. Однако пуск произошел так же легко, как и с пусковым сопротивлением. Пуск по упрощенной схеме производился много раз, причем всегда с неизменным успехом.

Причиной расхождения теории и практики является, повидимому, неучет теорией действия асинхронного момента, который очень сильно сказывается на поведении генератора даже при малых скольжениях, измеряемых десятками и сотыми долями процента³.

³ На большое значение асинхронного момента в ряде ненормальных режимов асинхронной машины (в частности, при потере возбуждения, качаниях и выпадении из

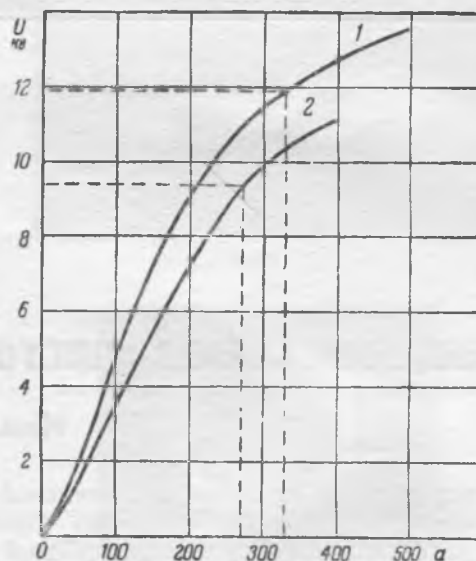


Рис. 2. Характеристики холостого хода при номинальной скорости вращения.

1 — разворачиваемый генератор; 2 — разворачивающий генератор.

Асинхронный момент приводит бочку ротора генератора во вращение даже при отсутствии или противодействии синхронного момента, далее взаимодействие магнитного поля ротора с вращающимся магнитным полем статора обеспечивает самосинхронизацию генератора и дальнейшее синхронное вращение.

Нужно отметить, что при пуске генератора отдельно от турбины необходимо обеспечить надежную работу масляного насоса (с электрическим приводом) для смазки подшипников генератора и наличие надежного резервного масляного насоса, желательно с автоматическим пуском при снижении давления масла. Также необходимо обеспечить надлежащий контроль и регулирование теплового режима турбогенератора во избежание его перегрева.

Выводы

1. Можно рекомендовать при «частотном» пуске генераторов, расположенных на одной станции, в качестве типовой схему с питанием обмоток возбуждения разворачивающего и разворачиваемого генераторов от общего двигатель-генератора резервного возбуждения.

2. Необходимо дополнительно исследовать влияние соотношения токов в обмотках возбуждения на вращающий момент и установить границы значения токов возбуждения генераторов, при которых условия пуска еще достаточно благоприятны.

синхронизма), а также на методы вычисления величины асинхронного момента впервые указал канд. техн. наук И. А. Сыромятников — см. его книгу «Вопросы эксплуатации синхронных генераторов», Госэнергоиздат, 1948 г. и статью в журнале «Электрические станции», № 4, 1948 г.



Защита генераторов от замыканий на землю с шинными трансформаторами тока нулевой последовательности

Канд. техн. наук И. М. Сирота

В соответствии с указаниями Технического управления МЭС защита от замыканий на землю генераторов должна выполняться при помощи токовых реле, включенных на трансформаторы тока нулевой последовательности (ТНП). Выполнению такой защиты на генераторах, имеющих шинные выводы (шинный мост), до сего времени препятствовало отсутствие соответствующих конструкций ТНП.

Разработка конструкции ТНП шинного типа была проведена в Институте электротехники АН УССР. Выяснилось, что вполне приемлемые конструктивные размеры шинного ТНП с сердечниками из обычной трансформаторной стали легко достигаются путем подмагничивания магнитопроводов переменным током до 3 000—3 500 гс, так же, как это было предложено для кабельных трансформаторов тока нулевой последовательности.

Основным при разработке шинного ТНП является ограничение токов небаланса, возникающих под влиянием посторонних магнитных полей, а также вследствие несимметричного расположения первичных токов в окне магнитопровода.

Наиболее полное устранение токов небаланса достигается в предложенном еще до Отечественной войны шинном ТНП с концентрическими фазами. Однако трудность присоединения отводов, сложность изготовления и другие недостатки этой конструкции, повидимому, послужили одной из причин того, что она не получила практического распространения.

При разработке были исследованы различные варианты ТНП. Наиболее подходящим из них оказался шинный ТНП с прямоугольным сердечником (рис. 1). Шины с соответствующей их изоляцией располагаются симметрично на короткой оси окна магнитопровода, а две параллельные секции вторичной обмотки — по его торцам. Секционирование вызвано необходимостью уменьшения влияния посторонних полей, а также возможного при монтаже некоторого смещения шин в направлении, параллельном большой оси магнитопровода.

При рассмотрении совместного влияния на вторичную обмотку токов трех фаз, при сумме их,

равной нулю ($\bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0$), можно заменить эти токи двумя бифилярными петлями:

а) током \bar{I}_A , протекающим по шинам $A-B$, и б) током \bar{I}_C , протекающим по шинам $C-B$.

По отношению к каждому из этих токов ТНП ведет себя как трансформатор с разомкнутым магнитопроводом и сравнительно небольшим сопротивлением цепи намагничивания $M_{нб}^{\omega}$, работающий в режиме, близком к холостому ходу. Во вторичную цепь этого трансформатора включены сопротивления холостого хода ТНП— Z_0 , реле и соединительных проводов Z_2 .

Принимая коэффициенты взаимной индукции каждой петли со вторичной обмоткой $M_{нб}$, равными между собою, имеем э. д. с. небаланса во вторичной цепи

$$\bar{E}_{нб} = -jM_{нб}^{\omega}(\bar{I}_A + \bar{I}_C)$$

($E_{нб}$ приведена к одному витку вторичной обмотки).

Очевидно при коротком замыкании крайних фаз ($A-C$) эта э. д. с. равна нулю. Симметричный трехфазный ток короткого замыкания и той же величины ток двухфазного замыкания между фазами $A-B$ или $C-B$ дают приблизительно одну и ту же величину э. д. с. $E_{нб}$.

Подмагничивание (не показанное на рис. 1) практически не влияет на величину э. д. с. небаланса от несимметрии. Это объясняется тем, что несимметричный магнитный поток замыкается через воздух, где его распределение почти не зависит от магнитных свойств сердечника. Вместе с тем, подмагничивание способствует уменьшению тока небаланса, позволяя применить реле с повышенным сопротивлением. При включении подмагничивания ток небаланса от несимметрии первичных токов уменьшается за счет увеличения сопротивления Z_0 .

По выбранному варианту было испытано несколько магнитопроводов с различными размерами. Каждая петля первичного тока имитировалась при помощи мотка провода с числом ампервитков переменного тока до 7 000, причем нелинейность коэффициентов взаимной индукции

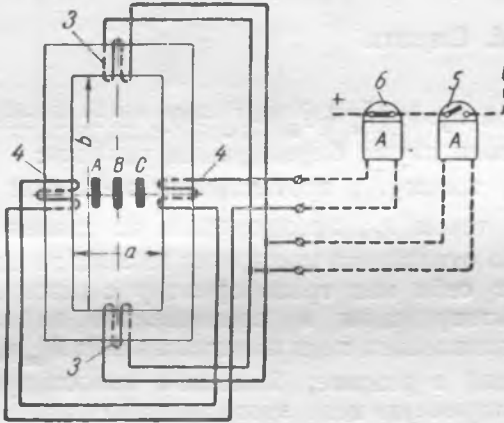
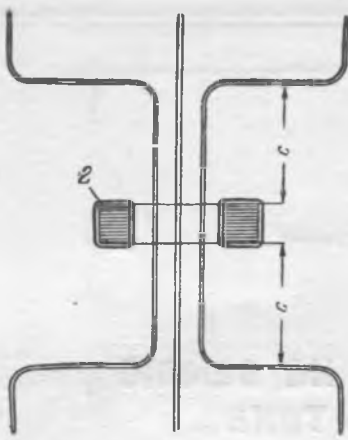


Рис. 1. Принцип устройства шинного трансформатора нулевой последовательности.

1—фазы первичной цепи; 2—стальной сердечник; 3—вторичная обмотка; 4—блокирующая обмотка; 5—реле защиты от замыканий на землю; 6—реле блокировки при сквозном коротком замыкании.

еще не была обнаружена. Электродвижущая сила измерялась детекторным милливольтметром с достаточно малым потреблением, позволявшим пренебречь падением напряжения во вторичной обмотке ТНП.

В результате проведенных опытов оказалось, что взаимоиנדукция между вторичной обмоткой и петлей первичного тока, помещенной в окне, в сильной степени зависит от соотношения длин его сторон $\frac{b}{a}$. С увеличением отношения $\frac{b}{a}$ взаимоиנדукция быстро уменьшается.

Кроме того, приближенно можно считать, что при заданных постоянных отношениях $\frac{d}{a}$ и $\frac{F}{l}$ эта взаимоиנדукция полностью определяется отношением $\frac{b}{a}$ и не зависит от других размеров (здесь d —ширина петли, F —поперечное сечение и l —средняя длина магнитопровода).

Для изготовленных образцов ТНП было принято отношение

$$\frac{F}{l} = 0,374,$$

отвечающее сопротивлению холостого хода при подмагничивании и стали среднего качества:

$$Z_0 = Z_{0y} \frac{F}{l} = 0,0179 \cdot 0,374 \approx 0,0067 \text{ ом}$$

(здесь Z_{0y} —удельное сопротивление холостого хода, отнесенное к 1 см, 1 см²). При этом обеспечивается чувствительность защиты по первичному току (пренебрегая токами небаланса) при реле типа ЭТД-551/60 и потреблении вторичной цепи $P_{mp} = 0,01$ ва около

$$I_{mp} = \sqrt{\frac{4P_{mp}}{Z_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{0,0067}} \approx 2,4 \text{ а.}$$

Была снята кривая сопротивления взаимоиנדукции

$$\frac{E'_{нб}}{I_1} = f\left(\frac{b}{a}\right),$$

полученная при выбранном отношении $\frac{E}{I}$ и $\frac{d}{a} = 0,2$. На основании этой кривой

было выбрано отношение $\frac{b}{a} = 2,8$ и остальные размеры магнитопроводов, показанные на рис. 2.

Мощность, расходуемая на подмагничивание обоих магнитопроводов, составляет около 24 ва. Напряжение подмагничивания принято равным 110 в и число витков $N_p = 280$. Число витков вторичной обмотки определено по условию $Z_2 = Z_0$ с целью получения наименьшего первичного тока срабатывания при параллельном соединении обмоток реле и полном сопротивлении вторичной цепи $Z_2 = 10 \text{ ом}$

$$N_2 = \sqrt{\frac{Z_2}{Z_0}} = \sqrt{\frac{10}{0,0067}} = 39 \text{ витков.}$$

При выбранных размерах ТНП небольшое смещение шин в окне на 20—30 мм не оказывает существенного влияния на величину $E'_{нб}$.

Для выяснения степени влияния на работу ТНП внешних магнитных полей, а также для выбора расстояния c от поверхности магнитопровода до горизонтальных частей отводов крайних фаз (рис. 1) были измерены э. д. с., индуктируемые во вторичной обмотке при помещении петли в разных положениях снаружи сердечника.

Испытания показали, что величина э. д. с. небаланса, индуктируемой в реальных условиях в обмотке ТНП, зависит от расположения ближайших участков ошиновки. Желательно при монтаже так располагать подводящие шины, чтобы средняя фаза В (не считая ее вертикального участка на оси ТНП) оказалась не ближе 600—700 мм от вторичной обмотки. При выполнении этого условия, на основании проведенных опытов, можно ориентировочно считать, что полное сопротивление взаимоиנדукции двухфазной петли, например А—В, со вторичной обмоткой равно

$$M_{нб\omega} = 1,5 \left(\frac{E'_{нб}}{I_1} + \frac{2E''_{нб}}{I_1} \right),$$

где $\frac{E'_{нб}}{I_1}$ и $\frac{E''_{нб}}{I_1}$ —сопротивления, найденные в результате указанных выше испытаний.

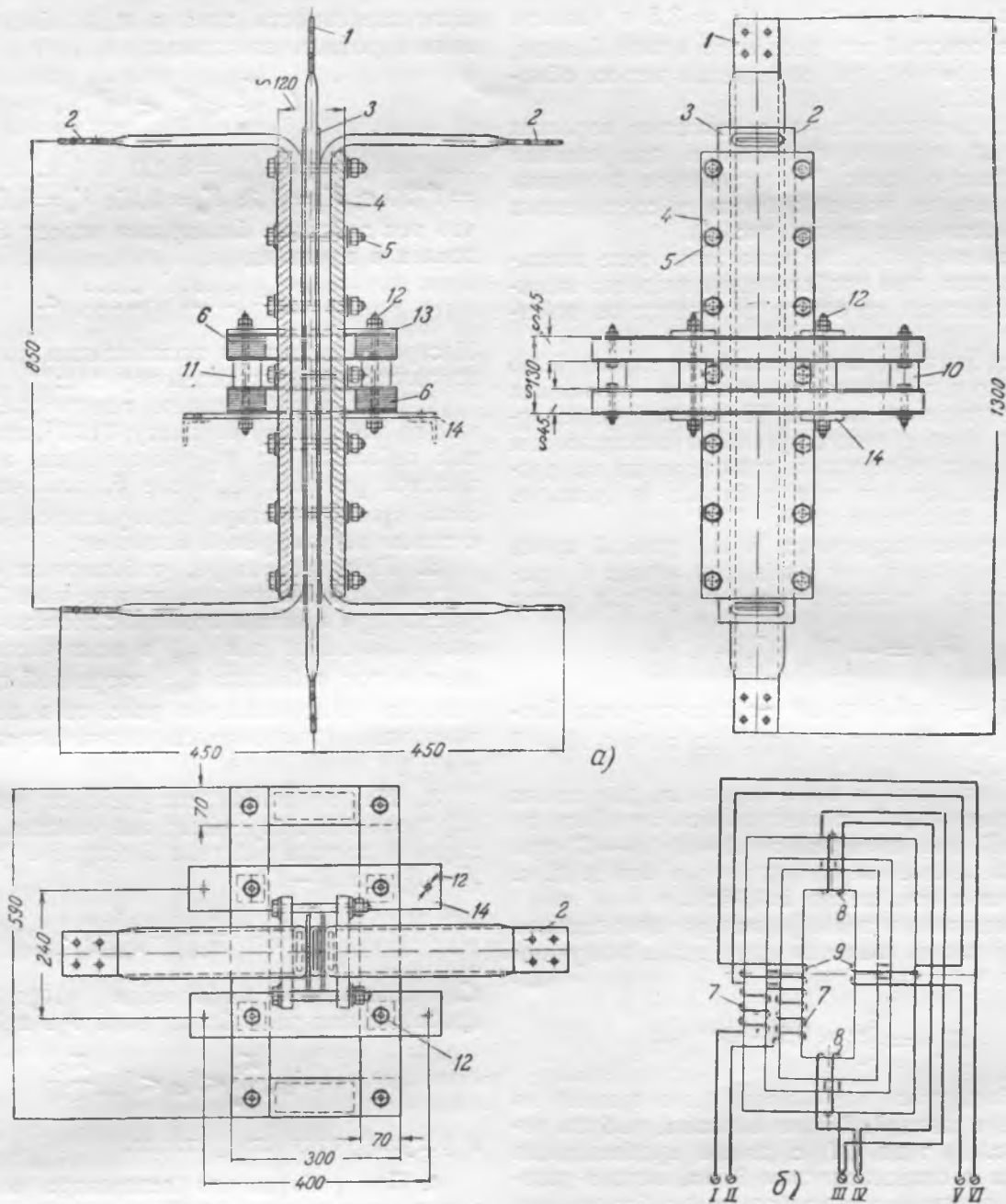


Рис. 2. Трансформатор тока нулевой последовательности шинного типа.
 а—общий вид; б—схема соединения и размещения обмоток (сердечники показаны условно разного размера).

При выбранных размерах устройства $M_{н0\omega}$ оказалось равным

$$M_{н0\omega} = 1,5(0,41 + 2,01) 10^{-6} = 0,916 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Напряжение срабатывания реле выбранного типа при наименьшей уставке составляет $e_{mp} = 0,3 \text{ в.}$

Исходя из предположения, что коэффициент взаимной индукции $M_{н0}$ в рассматриваемых пределах постоянен и подмагничивание снято, был найден опасный ток небаланса, соответствующий сквозному току короткого замыкания

$$I_{10н} = \frac{e_{mp}}{M_{н0\omega} N_2} = \frac{0,3 \times 10^6}{0,916 \times 39} = 8400 \text{ а.}$$

Принимая коэффициент надежности $K_n = 1,5$, было решено предусмотреть блокировку с током действия не более $I_{10н} = 5600 \text{ а.}$

В некоторых случаях при неблагоприятном расположении ошиновки или по другим соображениям может потребоваться загробление защиты по сравнению с полученной выше чувствительностью, причем для повышения кратности тока блокировки целесообразно вместо увеличения уставки реле включить во вторичную цепь добавочное сопротивление или выбрать реле с большим сопротивлением ($Z_2 > Z_0$). Например, соединяя обмотки реле — ЭТД-551/60 последовательно, мы получим в начале шкалы при вышеуказанных обмоточных данных ТНП ток

срабатывания всего около $I_{mp} = 3,5 a$ (вместо $2,4 a$), а опасный ток небаланса вдвое больше, чем при параллельном соединении тех же обмоток ($Z_2 = Z_0$).

Блокировка защиты при сквозных коротких замыканиях легко осуществляется при помощи специальных обмоток 4, помещенных посредине длинных сторон магнитопровода и соединенных встречно-последовательно (рис. 1).

В цепь этих обмоток включается реле максимального тока, при срабатывании которого защита от замыканий на землю выводится из действия.

Трансформатор, снабженный блокировкой по изложенному принципу, представляет собою как бы совмещение обычного ТНП с двумя трансформаторами тока с разомкнутым магнитопроводом и вторичными обмотками, включенными на разность токов, причем они работают в режиме, близком к холостому ходу.

При сумме первичных токов, равной нулю, э. д. с., индуцируемая в обеих обмотках 4, пропорциональна разности токов в крайних фазах

$$\bar{E}_{6a} = -jM_{6a} \omega(\bar{I}_A - \bar{I}_C)$$

(здесь M_{6a} — коэффициент взаимной индукции блокировочных обмоток с одной из петель $A-B$ или $C-B$).

В зависимости от вида короткого замыкания двухфазного $A-C$, симметричного трехфазного $A-B-C$ или двухфазного $A-B$ ($B-C$) при данной величине первичного тока эта э. д. с. изменяется в отношении 2:1,73:1.

При испытании трансформатора приведенное к одному витку сопротивление взаимной индукции оказалось равным

$$M_{6a} \omega = \frac{E_{6a}}{I_1} \approx 0,25 \cdot 10^{-4} \text{ ом.}$$

Для блокировочных обмоток было принято по 10 витков в каждой. Таким образом, выбрав реле 6 (рис. 1) типа ЭТ с током срабатывания 0,1—0,2 а и сопротивлением 8 ом, можно установить первичный ток срабатывания блокировки при замыкании фаз $A-B$ или $B-C$ в пределах от 3 200 до 6 400 а. При замыкании фаз $A-C$ получаем соответственно срабатывание при 1 600—3 200 а, а при симметричном трехфазном замыкании $A-B-C$ оно будет при 1 850—3 700 а.

Проверялось также возможное влияние аperiodических составляющих переходных режимов на работу ТНП и было установлено, что нет оснований опасаться возникновения во вторичной цепи недопустимых токов небаланса при одновременном недостатке тока для действия реле блокировки.

Согласно изложенному выше, допустимые пределы уставки первичного тока срабатывания реле блокировки 6 (рис. 1) при симметричном трехфазном коротком замыкании $I_{16a}^{(3)}$ определяются током нормальной нагрузки генератора I_{1n} и током действия реле 5 I_{10n} с учетом коэффициентов запаса (K_3), надежности (K_n), возврата реле 6 (K_6) и коэффициента 1,73, учитываю-

щего зависимость тока в цепи блокировки от вида короткого замыкания

$$I_{1n} \frac{K_3}{K_6} \leq I_{16a}^{(3)} \leq \frac{I_{10n}}{1,73 K_n}$$

Например, при $I_{10n} = 8 400 a$ (см. выше) $I_{1n} = 1 720 a$; $K_3 = 1,3$; $K_6 = 0,85$; $K_n = 1,5$ находим, что ток действия блокировки может быть установлен в пределах

$$I_{16a}^{(3)} = (2 630 + 3 230) a.$$

Настройка защиты в эксплуатации должна производиться в следующем порядке:

1. При неработающем генераторе, так же как по кабельному варианту ТНП¹, проверяется ток небаланса от подмагничивания и осуществляется уставка i_{mp} реле 5, для чего сквозь окно трансформатора пропускается проводник с током регулируемой величины.

2. При генераторе, работающем с полной нагрузкой, и снятом подмагничивании ТНП измеряется при помощи прибора с достаточно малым сопротивлением ток $i_{6aн}$ в цепи блокирующего реле и ток небаланса $i_{нбн}$ вторичной цепи (если известны сопротивления реле, то можно вместо токов измерить соответствующие напряжения $e_{6aн}$ и $e_{нбн}$).

3. На основании полученных результатов определяется допустимая наибольшая кратность первичного тока действия блокировки (замыкание $A-B$ или $B-C$)

$$K_{6a} = \frac{I_{16a}^{(2)}}{I_{1n}} = \frac{i_{mp}}{i_{нбн} K_n}$$

Соответственно выбирается вторичный ток срабатывания реле блокировки 6 в пределах

$$i_{6aн} \frac{K_3}{K_6} \leq i_{6a} \leq i_{6aн} \frac{K_{6a}}{1,73}$$

и регулируется его уставка.

4. При работающем генераторе подбирается такая фаза питания цепи подмагничивания, при которой суммарный ток небаланса от подмагничивания и от несимметрии первичных токов достигает наименьшей величины.

На рис. 2 показаны шинный ТНП и схема соединения его обмоток.

Два одинаковых магнитопровода 6, имеющие вид прямоугольной рамки, шихтованные из трансформаторной стали (например, марки Э-4 или Э-4А) с размещенными на них обмотками (подмагничивания 7, вторичными 8 и блокировочными 9) помещаются один над другим на расстоянии 40—50 мм и разделяются немагнитными прокладками 10 и 11. Оба магнитопровода скрепляются между собой при помощи четырех дюралюминиевых планок 13 и 14, стянутых латунными шпильками 12. В окне магнитопроводов помещаются изолированные шины 1 и 2 (80 × 10 мм), зажатые в виде пакета между двумя массивными, покрытыми асфальто-масляным ла-

¹ См. „Электрические станции“, № 6, 1949 г.

ком гетинаксовыми пластинами 4, скрепленными болтами 5. Для фиксации положения шин в окне ТНП пластины 4 имеют вырезы, заходящие в соответствующий паз планки 14.

При разработке конструкции ТНП было уделено особое внимание выбору способа изолировки шин, с учетом условий их работы в эксплуатации, при номинальном напряжении генератора до 10,5 кв.

Была принята, как отвечающая всем требованиям, непрерывная компаундированная изоляция из микаленты, аналогичная изоляции турбогенераторных стержней.

Для большой надежности были еще предусмотрены между шинами выступающие миканитовые прокладки 3, обернутые вполнахлеста марлевым бинтом, покрытые асфальто-масляным лаком и запеченные под давлением². Дополнительной изоляцией шин относительно корпуса служат также лакированные гетинаксовые пластины 4.

Трансформаторы нулевой последовательности с такими шинами допускают длительную нагрузку приблизительно до 1700 а, что соответствует номинальной мощности генератора 25 тыс. квт при 10,5 кв. Допустимый ударный ток короткого замыкания можно считать равным 100 000 а (при этом отталкивающее усилие между шинами достигает около 10 000 кг). Допустимый по термической устойчивости установившийся ток короткого замыкания при фиктивном времени отключения 10 сек., начальной температуре шин 90° С и максимальной температуре 150° С равен 24 000 а.

В Институте электротехники АН УССР были сделаны два трансформатора описанной выше конструкции. Изолировка шин для этих ТНП произведена на ХЭМЗ им. Сталина, причем каждая шина прошла на заводе испытание напряжением 40 кв переменного тока в течение 1 мин.

При испытании трансформаторов совместно с реле ЭТД 551/60 получены чувствительность и прочие параметры, соответствующие вышеприведенным данным. Ток небаланса от подмагничивания не превосходил 5 ма.

² В эксплуатации рекомендуется периодически осматривать покровным лаком доступные поверхности изолированных шин, прокладок 3 и пластин 4.

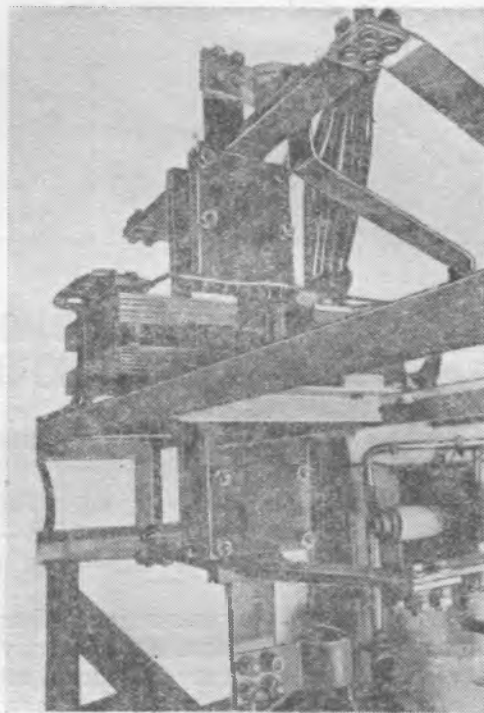


Рис. 3. Установка трансформатора тока нулевой последовательности шинного типа.

Оба ТНП были смонтированы на выводах генераторов одной из электростанций (один из них установлен в машинном зале, как указано на рис. 3, а другой — в камере холодного воздуха замкнутой системы охлаждения).

После окончания монтажа были снова проверены основные параметры защиты, а также изоляция фаз, и трансформаторы без сушки включены в эксплуатацию.

На основе этого опыта, безусловно, можно ставить вопрос о дальнейшем внедрении описанной защиты.

Дополнительному исследованию подлежит вопрос о целесообразности замены компаундировки шин другими видами изоляции. Целесообразно также проработать возможность конструктивного объединения ТНП с защищаемым генератором и комплектной их поставки заводами-изготовителями.

□ □ □

Скоростное внедрение автоматического повторного включения на линиях 110—220 кВ

Инж. В. И. Бойко, инж. Е. С. Габа и инж. В. С. Макогон

В энергосистеме до 1949 г. применялись, как правило, простейшие устройства АПВ — однократного действия с ручным возвратом на радиальных линиях 35 кВ.

Для выполнения указанных устройств АПВ использовались переделанные промежуточные реле типа РП-2а, и к началу реконструкции устройства АПВ с автоматическим возвратом составляли всего лишь 7,5% и устройства с ускорением защиты 6% от общего числа. Оснащенность линий электропередачи составляла: по линиям 35 кВ — 57%; по линиям 110 кВ — 3%.

Из приведенных данных видно, что в системе имелось большое отставание в оснащении линий электропередачи устройствами АПВ как по количеству, так и по качеству.

В 1949 г. в целях ускорения внедрения автоматического повторного включения на всех линиях электропередачи 110—220 кВ, особенно в сложных кольцевых сетях 110 кВ, Центральной службой релейной защиты и электроавтоматики энергосистемы было разработано комплектное устройство АПВ типа КУ-АПВЛ-1 и организовано массовое скоростное изготовление таких устройств в Центральной лаборатории¹.

Комплектное устройство КУ-АПВЛ-1 является собранным в одном кожухе устройством трехфазного автоматического повторного включения однократного действия с автоматическим возвратом, которое пускается от релейной защиты и содержит блокировки, контролирующие синхронизм или отсутствие напряжения на линии. Устройство предназначено для АПВ линий 35—110—220 кВ с двухсторонним питанием.

Внешний вид и схема цепей постоянного тока комплектного устройства приведены на рис. 1 и 2.

Устройство состоит из следующих элементов:

1 — пускового токового реле ЭТ-П типа ЭТ-521, предназначенного для пуска КУ-АПВЛ-1 при отключении линии от защиты;

2 — двухконтактного реле времени ЭВ типа ЭВ-187, предназначенного для: а) создания выдержки времени перед АПВ, б) обеспечения однократности действия и автоматического возврата схемы в исходное положение;

¹ Разработка производилась по инициативе и под руководством инж. В. И. Бойко с участием инж. В. С. Макогон, а массовое изготовление с участием инж. Ф. И. Дзюба.

3 — рсле контроля синхронизма ЭН-2, разрешающего повторное включение при наличии синхронизма между напряжением на линии и на шинах подстанции;

4 — реле контроля напряжения ЭН-1, разрешающего повторное включение при отсутствии напряжения на линии;

5 — блинкера ЭС, фиксирующего действие устройства АПВ;

6 — промежуточного реле ЭП-1 типа РПМ или ЭП-101, имеющего следующее назначение:

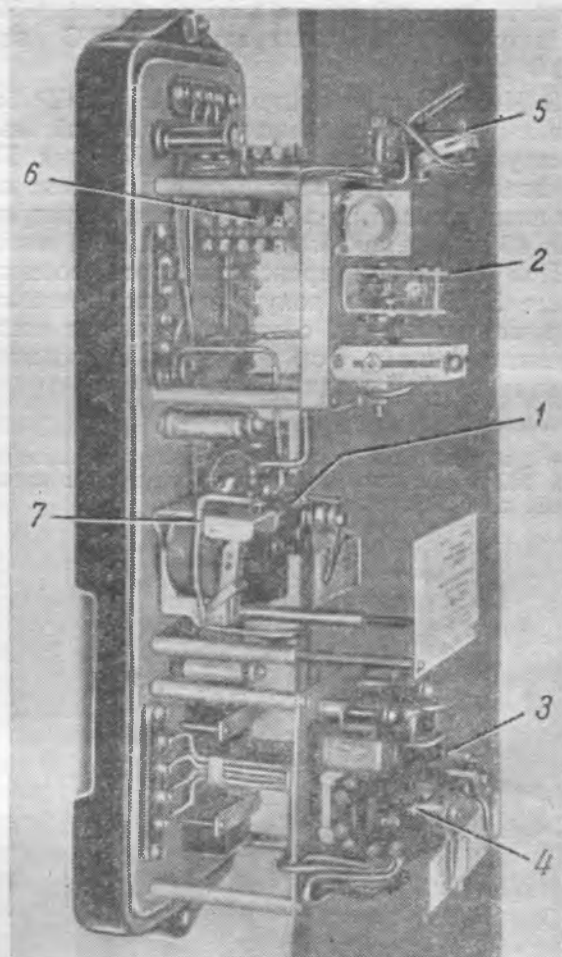


Рис. 1. Комплектное устройство типа КУ-АПВЛ-1.

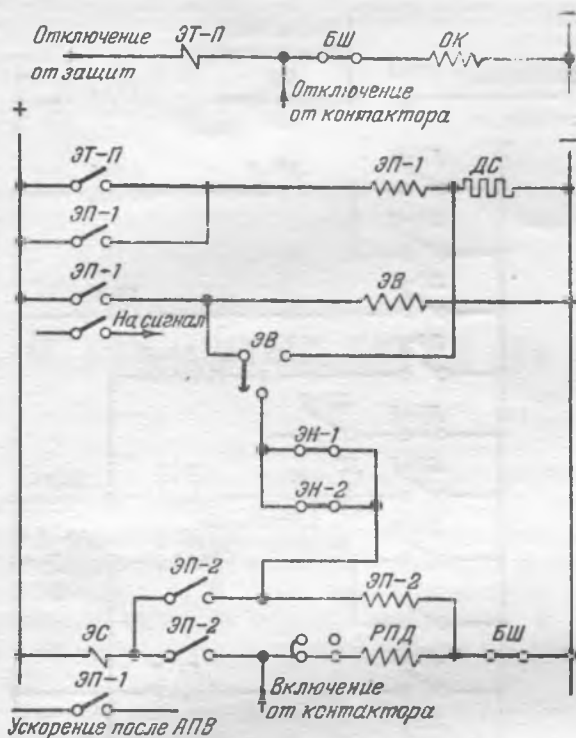


Рис. 2. Развернутая схема цепей постоянного тока комплектного устройства КУ-АПВЛ-1.

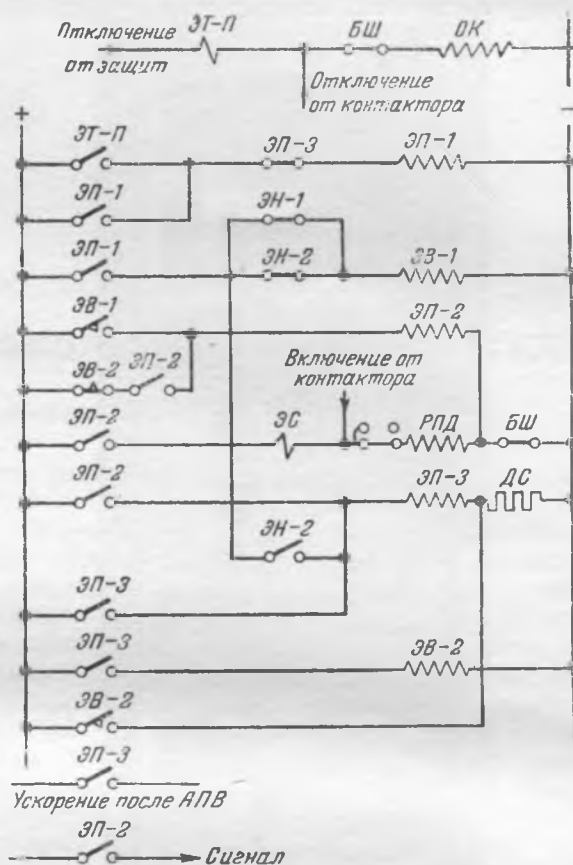


Рис. 4. Развернутая схема цепей постоянного тока комплектного устройства КУ-АПВЛ-2.

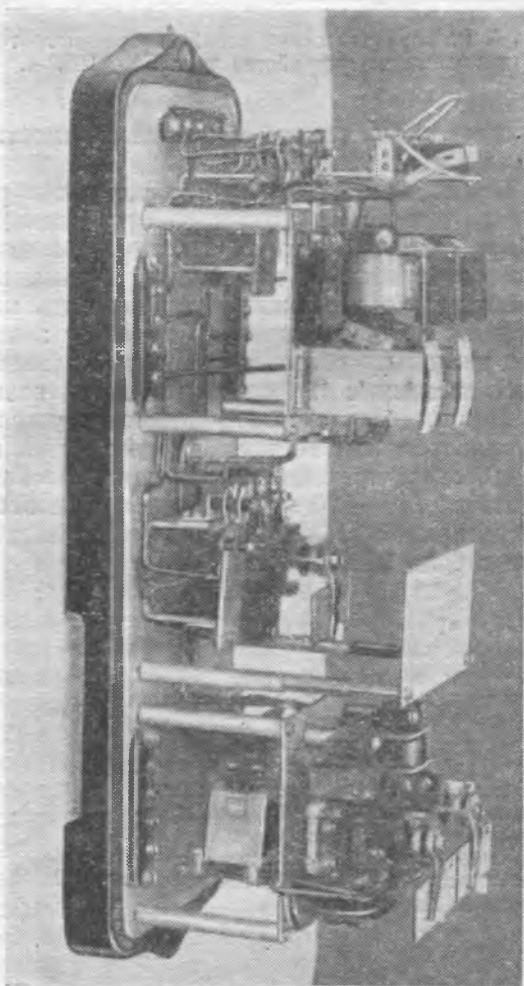


Рис. 3. Комплектное устройство типа КУ-АПВЛ-2.

а) пуск реле времени, б) ускорение защиты после АПВ, в) сигнализация о работе АПВ;
7 — промежуточного реле ЭП-2 типа ЭП-246 в цепи включения выключателя.

Кроме устройств КУ-АПВЛ-1, выпускались аналогичные по назначению комплектные устройства типа КУ-АПВЛ-2, в которых, вместо реле времени типа ЭВ-187, использованы по два реле времени типа РВ-73 завода «Энергоприбор»².

Внешний вид и схема цепей постоянного тока комплектного устройства типа КУ-АПВЛ-2 приведены на рис. 3 и 4.

Отбор напряжения для присоединения элементов контроля синхронизма и отсутствия напряжения осуществлялся от конденсаторов связи и вводов масляных выключателей с приборами измерения напряжения (ПИН) и трансформаторами НОМ-6 на тех выключателях, на которых нет ПИН. На подстанциях с двумя линиями выполнялось сравнение напряжения одной линии относительно другой. При таком исполнении схемы получаются весьма простыми, так как не требуется выравнивание напряжения по величине и фазе. На подстанциях с количеством линий более двух выполнялось сравнение напряжения ввода выключателя со стороны линии относительно ввода того же выключателя со стороны шин.

В случаях невозможности осуществления этих простых схем выполнялось сравнение напряжения от линии (например, от конденсатора связи) относительно напряжения шин, которое берется от основного трансформатора напряжения.

² В системе имелись реле времени типа РВ-73 только первого выпуска без проскальзывающего контакта¹.

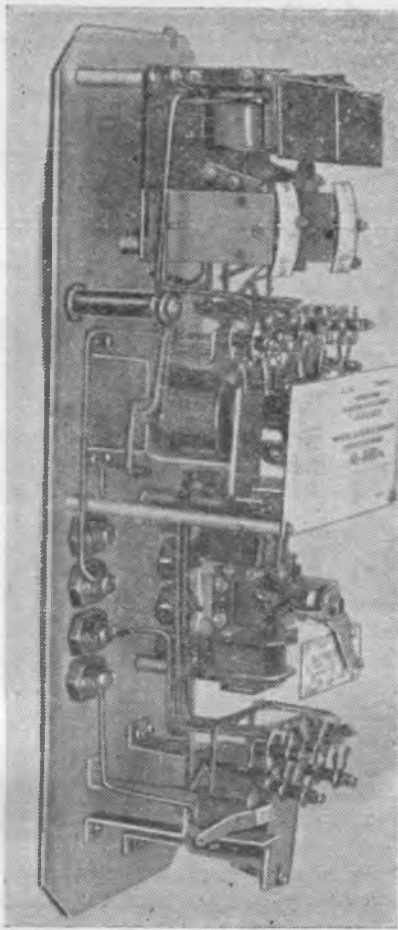


Рис. 5. Комплектное устройство типа КУ-АПВЛ-4.

АПВ на линиях с двухсторонним питанием уже работали несколько раз успешно, обеспечивая сохранение значительных перетоков мощности.

Для радиальных линий и линий, работающих в кольце с одной точкой питания, изготавливались более простые комплектные устройства типа КУ-АПВЛ-4. Внешний вид и схема цепей постоянного тока устройства КУ-АПВЛ-4 приведены на рис. 5 и 6.

Выводы

1. Разработка комплектных устройств и организация их централизованного массового изготов-

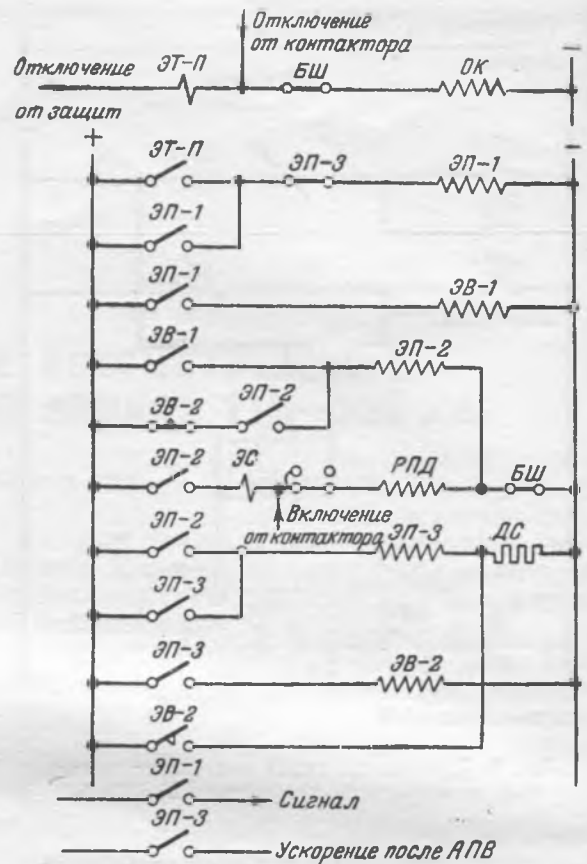


Рис. 6. Развернутая схема цепей постоянного тока комплектного устройства типа КУ-АПВЛ-4.

ления дали значительное снижение стоимости одного комплекта.

2. Применение комплектных устройств резко сократило объем монтажных работ и расход материалов (провод, зажимы). Благодаря относительно небольшим габаритам комплектных устройств стало возможным монтировать их на имеющихся релейных панелях вместе с защитой или по нескольку устройств на одной панели.

3. Проведенные мероприятия дали возможность организовать скоростной монтаж устройств АПВ одновременно во всех районах сетей и на станциях энергосистемы. В результате оснащение линий 110—220 кВ автоматическим повторным включением за II половину 1949 г. была увеличена с 3 до 94%.

ОТ РЕДАКЦИИ

Описанный в статье опыт массового изготовления и монтажа комплектных устройств АПВ в энергосистеме является весьма ценным. Вместе с тем редакция считает необходимым отметить, что приведенные схемы не являются достаточно совершенными. Включение в общий кожух пускового серийного реле заставляет заводить в комплектное устройство все цепи отключения выключателя от защиты. Правильнее было бы это реле располагать отдельно, непосредственно на панели защиты. Контроль синхронизма выполнен недостаточно надежно и схемы не исключают в отдельных случаях автоматического повторного включения при несинхронной работе. При некоторых нарушениях схем возможно многократное включение выключателя на устойчивое повреждение на линии. Таким образом, еще потребуется работа по улучшению этих схем с целью повышения надежности их действия.

□ □ □

О замкнутых сетях на промышленных предприятиях

Инж. В. А. Козлов

В журнале «Электричество» была опубликована серия статей канд. техн. наук Б. Л. Айзенберга, посвященных разработке замкнутых электрических сетей без сетевых автоматов. В 1948 г. вышла книга Б. Л. Айзенберга «Замкнутая электрическая сеть без сетевых автоматов», в которой автор подвел итоги своей работы по данному вопросу.

По мнению автора книги (стр. 117—127), открываются весьма широкие возможности для внедрения замкнутых сетей без сетевых автоматов на промышленных предприятиях первой категории, для которых требуется особо высокая бесперебойность энергоснабжения. В книге приводится проект замкнутой сети низкого напряжения, разработанный под руководством Б. Л. Айзенберга, для одного из предприятий металлургической промышленности.

Внимательное рассмотрение указанного проекта показывает, что содержащиеся в книге выводы о высокой надежности работы замкнутой сети являются ошибочными, так как можно указать ряд режимов работы, при которых имеет место полный перерыв в энергоснабжении предприятия, не говоря о других отрицательных моментах, связанных с эксплуатацией этого вида сетей.

Как известно, энергоснабжение промышленных предприятий первой категории требует наличия двух независимых источников питания с возможностью их взаимного резервирования. Таким образом, применение на промышленных предприятиях первой категории замкнутой сети низкого напряжения будет приводить к параллельной работе через нее источников питания.

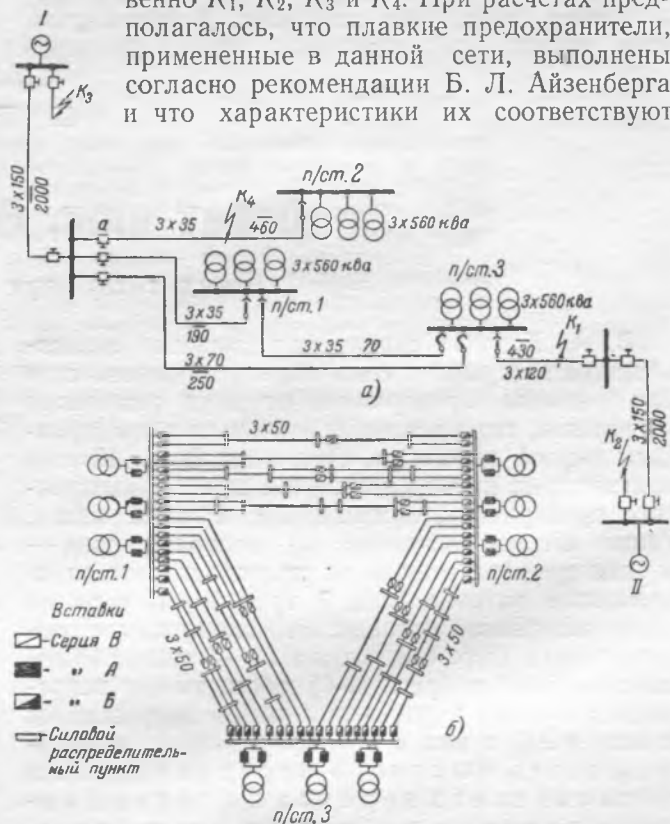
В связи с этим появляется ряд совершенно новых вопросов, связанных с параллельной работой источников питания через сеть низкого напряжения. Прежде всего встают вопросы, затрагивающие непосредственно режим работы самих источников питания. Кроме того, возникают вопросы селективности работы релейной защиты питающих сетей среднего напряжения, а также селективности работы плавких предохранителей замкнутой сети.

Необходимо отметить, что в работе Б. Л. Айзенберга эти вопросы совершенно не затрагиваются. В упомянутом выше проекте питание замкнутой сети намечено от двух заводских подстанций, связанных с двумя различными источниками питания, однако селективность работы плавких предохранителей рассмотрена при усло-

вии энергоснабжения предприятия только от одного источника питания.

В целях решения вопроса селективности плавких предохранителей нами была произведена проверка их работы при условии работы замкнутой сети предприятия от двух источников питания. В качестве исходных данных для расчетов послужили данные того же проекта. Недостающие данные приняты по укрупненным параметрам, взятым из практики Ленинградской кабельной сети. В качестве нормального режима принято, что трансформаторы подстанции 3 (см. рисунок) питаются от источника II, трансформаторы подстанции 1 и 2 — от источника I. Расчет произведен для условий трехполюсного короткого замыкания.

Рассмотрены были четыре режима короткого замыкания, обозначенные на рисунке соответственно K_1, K_2, K_3 и K_4 . При расчетах предполагалось, что плавкие предохранители, примененные в данной сети, выполнены согласно рекомендации Б. Л. Айзенберга и что характеристики их соответствуют



Схемы электроснабжения при питании замкнутой сети низкого напряжения промышленного предприятия от двух независимых источников I и II.

а — схема сети 6 кв; б — схема замкнутой сети низкого напряжения.

данным статья инж. Германа в «Сборнике докладов I Всесоюзной сессии по городским электрическим сетям» (выпуск III, стр. 19). Результаты расчетов показывают следующее:

1. При повреждении в точках K_1 , K_2 и K_3 предохранители, установленные на низком напряжении для защиты трансформаторов подстанции 3, будут перегорать через 0,12 сек. Селективность между данными и остальными предохранителями замкнутой сети соблюдается.

Как видно из рисунка, повреждения K_2 и K_3 являются внешними повреждениями по отношению к сети энергоснабжения данного предприятия. Следовательно, всякие внешние повреждения сети среднего напряжения любого источника питания продолжительностью более 0,12 сек. будут вызывать неселективное перегорание предохранителей низкого напряжения трансформаторов (в данном случае трансформаторов подстанции 3), что является совершенно неприемлемым для эксплуатации и тем более для энергоснабжения предприятия первой категории.

2. При повреждении в K_4 через 0,14 сек. перегорят предохранители трансформаторов подстанции 3, затем после соответствующей выдержки времени (1,0—1,5 сек.) отключится выключатель a кабельной линии, питающей подстанцию 2.

После отключения этого выключателя, через трансформаторы подстанции 1 и 2, оставшиеся в работе, потечет к месту повреждения обратный ток короткого замыкания, по величине равный для обеих групп трансформаторов. В результате через 0,16 сек. перегорят предохранители низкого напряжения трансформаторов подстанции 1 или трансформаторов подстанции 2. Возможность перегорания совершенно одинакова. В том случае, если сгорят предохранители трансформаторов

подстанции 2, будем иметь частичное погашение предприятия, ибо останутся в работе трансформаторы подстанции 1. Если сгорят предохранители на трансформаторах подстанций 1, то будем иметь полное погашение питания предприятия.

Следовательно, замкнутая сеть без сетевых автоматов не создает требуемых условий бесперебойности энергоснабжения промышленных предприятий.

Аналогичные расчеты были произведены и для ряда других замкнутых сетей низкого напряжения без сетевых автоматов в режиме работы от двух источников питания и также подтвердили предыдущие выводы.

Необходимо добавить, что в свое время в литературе уже отмечалась недопустимость применения замкнутых сетей низкого напряжения с плавкими предохранителями при условии их работы от разных источников питания.

На основании изложенного можно прийти к заключению, что замкнутые сети без сетевых автоматов, если даже считать, что все остальные выводы автора указанной книги не вызывают возражений, могут применяться только при условии их питания от одного источника питания. Практически это значит, что для промышленных предприятий первой категории замкнутые сети не могут быть рекомендованы, ибо условия бесперебойности не улучшаются при применении замкнутой сети без сетевых автоматов, а, наоборот, ухудшаются. Высказывания автора о том, что более высокая стоимость замкнутых сетей против принятых в настоящее время схем оправдывается высокой бесперебойностью энергоснабжения и простотой эксплуатации, являются, таким образом, необоснованными.

□ □ □

Ответ инж. В. А. Козлову

Канд. техн. наук Б. Л. Айзенберг

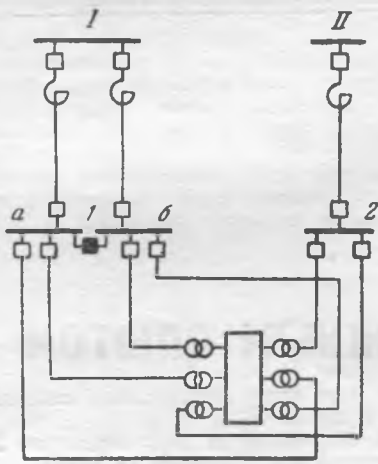
В. А. Козлов¹ ставит под сомнение целесообразность осуществления замкнутой схемы сети при питании предприятия от двух различных источников, что в основном относится к предприятиям первой категории. При этом В. А. Козлов ссылается на пример замкнутой сети промышленного предприятия, приведенный в моей книге. Такая ссылка основана на недоразумении, — в этом примере отнюдь не предполагается одновременное питание всех 9 трансформаторов от обоих источников питания. Это видно из следующего текста (стр. 123, строки 11—7 снизу): «Схема сети 6 000 в (рис. 41-б) обеспечивает непрерывное питание корпуса при любом повреждении в сети 6 000 в или в трансформаторах и возможность быстрого восстановления питания всего корпуса на случай выхода из строя любого из двух источников питания». Питание замкнутой сети

всего корпуса предположено от одной из подстанций с переключением его на другую при повреждении первой.

Можно все же допустить, что в некоторых исключительных случаях оказалось бы целесообразным питать замкнутую сеть цеха от разных источников. Как это следует из самой идеи о замкнутой сети без сетевых автоматов, селективную работу защиты предохранителями можно обеспечить только при наличии трех и более источников питания — при двух же источниках это невозможно.

Обеспечить селективную работу защиты при питании замкнутой сети без автоматов обратной мощности от двух разных районных подстанций I и II возможно, если создать три источника питания, как это показано на рисунке. По этой схеме подстанция I делится на две секции, каждая из которых питается через отдельное присоединение, имеющее реактор. Правда, в случае короткого замыкания в сети подстанции 2, 1-а

¹ См. выше.



или 1-б будут перегорать плавкие вставки трансформаторных предохранителей низшего напряжения у трансформаторов, питаемых соответственно от подстанции 2, 1-а или 1-б, но это не вызовет перерыва электроснабжения, будет случаться крайне редко и немедленно будет обнаружено и устранено эксплуатационным персоналом завода. Таким образом, вопреки утверждению В. А. Козлова, и при питании сети цеха от двух разных районных подстанций возможность осуществления в этом цехе замкнутой сети без сетевых автоматов отнюдь не исключается.

Утверждение В. А. Козлова о том, что осуществление замкнутой сети якобы неэкономично, неверно. Так, даже в примере, на который он ссылался, первоначальные затраты при радиальной схеме сети составляют 235,8 тыс. руб. при замкнутой 303 тыс. руб. Однако следует учесть

еще потери мощности в момент максимума нагрузки системы и потери электрической энергии.

Согласно указаний Министерства электростанций, стоимость каждого киловатта генераторной мощности, необходимой для покрытия этих потерь, следует принимать в 2 500 руб., тогда первоначальные затраты по варианту радиальной сети составляют $(53,3 - 31) \times 2\,500 + 235\,800 = 291\,550$ руб. По варианту радиальной сети годовые расходы на потери электрической энергии будут больше расходов по варианту замкнутой сети на $0,08 \times 67\,000 = 5\,360$ руб. и разница в первоначальных затратах окупится менее чем в 3 года. Следовательно, оба варианта построения сети экономически примерно равноценны, эксплуатационные же преимущества замкнутой схемы не вызывают сомнений.

Это подтверждается также на примере проектирования электрической сети крупного судостроительного завода, выполненный Гипроречтрансом², где в результате применения замкнутой схемы получена значительная экономия денежных средств и металла.

Таким образом, можно прийти к следующим выводам:

1. Наличие двух источников питания установки потребителя не является, как правило, препятствием к применению замкнутой схемы.

2. Экономически ковая схема не уступает в ряде случаев радиальной схеме, в отдельных же случаях может иметь значительные преимущества.

² Сообщение инж. Е. А. Ршес на секции электрических сетей ЛОНИТОЭ 27/IV 1950 г.

ОТ РЕДАКЦИИ

«Правила устройства электротехнических установок» обязывают осуществлять электроснабжение нагрузок промышленных предприятий первой категории от двух независимых источников питания. В целях уменьшения потерь наиболее целесообразно, чтобы при нормальных условиях нагрузку несли оба источника в соответствии с их пропускной способностью; в зависимости от местных условий такая схема может быть в некоторых случаях рациональна и для нагрузок второй категории.

В. А. Козлов правильно указал на затруднения при осуществлении указанной схемы в замкнутых сетях без сетевых автоматов при питании их от двух источников. Б. Л. Айзенберг, по существу, согласился с его замечанием, одновременно предложив новый вариант, устраняющий отмеченный недостаток.

Редакция публикует этот обмен мнений, рассчитывая, что высказанные обоими авторами соображения будут содействовать дальнейшей разработке экономических и надежных решений для распределительных сетей низкого напряжения.



ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ

Приспособление для испытания блоков

Для испытания блоков большой грузоподъемности требуется сооружение сложных, громоздких приспособлений, трудно осуществимых в условиях строительной площадки.

Союзпромонтаж по предложению т. Демат применил для этой цели очень простое приспособление, позволявшее провести в условиях строительства испытание блоков грузоподъемностью до 50 т.

Приспособление (рис. 1) состоит из жесткой сварной рамы 1, из труб диаметром 300/328 опирающихся на стойки 2, приваренные к ее углам.

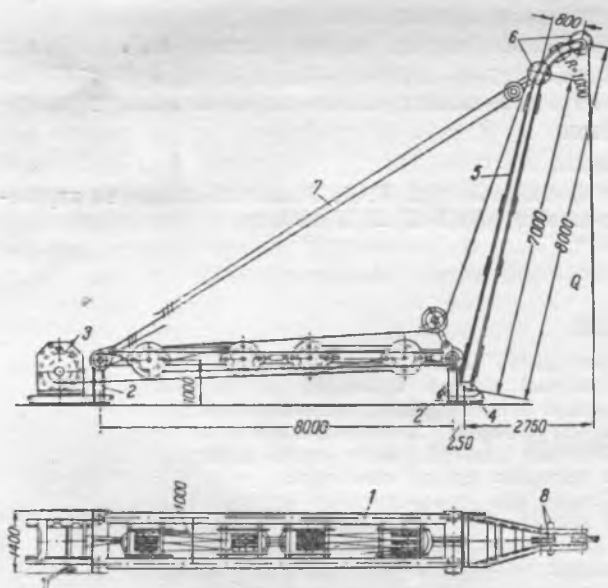


Рис. 1. Приспособление для испытания блоков.

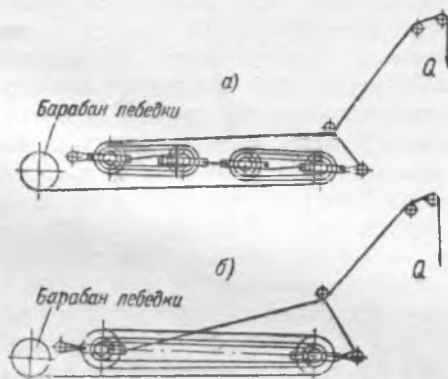


Рис. 2. Схема запасовки тросов.

а — при испытании одновременно четырех полиспастных блоков; б — при испытании двух полиспастных блоков.

К одной паре стоек прикреплены лебедка 3, к другой — опора 4 стрелы 5.

Стрела 5 выполнена из двух швеллеров 24а, каждый из которых шарнирно закреплен на опоре.

На конце стрелы укреплены два блока 6, через которые пропущен грузовой трос.

Стрела удерживается в необходимом положении тросом 7 диаметром 13 мм, один конец которого при спуске или подъеме стрелы крепится к барабану лебедки, и расщеливается для устойчивости тросами 8 диаметром 13 мм.

Блоки, подлежащие испытанию, запасовываются в полиспасты и строятся к поперечным элементам рамы. Запасовка производится с таким расчетом, чтобы при выборе троса на лебедку груз, подвешенный к стреле, поднимался (рис. 2).

Величина груза определяется по формуле

$$Q = \frac{1,25G}{2 \cdot n},$$

где G — грузоподъемность испытуемого блока;

1,25 — коэффициент запаса;

n — количество роликов в блоке;

2 — количество включенных в схему полиспастов

Способ подачи оборудования в котельную при одновременном сооружении фундаментов котлов

При расширении электростанции предстояло смонтировать шесть котлоагрегатов с цепными решетками производительностью по 70 т/час (станционные № 9, 10, 11, 12, 13 и 14).

К началу монтажа котла № 9 основные строительные работы по зданию в пределах четырех котельных ячеек были закончены; в последних двух ячейках закончен монтаж металлоконструкций здания и сооружение фундаментов под котлы № 9 и 10. Фундаменты котлов имеют отметку 5,0 м.

Проектом организации работ был намечен монтаж котлоагрегатов при помощи монтажных стрел.

Транспортировка оборудования со склада, расположенного на расстоянии 1,5 км, первоначально намечалась на железнодорожных платформах широкой колеи. По середине котельной был проложен железнодорожный путь на шпальной выкладке, доходивший до фундамента котла № 10 (см. рисунок).

В связи с необходимостью последовательного монтажа котлов, с разрывом в 2 мес. встал вопрос о сооружении фундаментов под котлы № 11, 12, 13, 14 при одновременном продолжении монтажных работ по котлам № 9 и 10.

Было намечено производить параллельно сооружение фундаментов под котлы № 11 и 12, а затем с разрывом по времени под котлы № 13 и 14.

Для предоставления возможности строителям вести работы по фундаментам под котлы № 11 и 12 потребовалось укоротить на две котельных ячейки единственный железнодорожный путь в котельную, необходимый монтажникам для подачи оборудования и обмурочных материалов к монтируемым котлам № 9 и 10.

По ширине котельной сооружаемые фундаменты котлов не оставляют места для прокладки железнодорожного пути ни с фронта, ни сзади котлов.

Подача оборудования и материалов через фасадную стену котельной также не могла быть осуществлена из-за наличия пристройки, в которой размещено распределительное устройство собственных нужд, находившееся в процессе монтажа.

В результате рассмотрения ряда вариантов подачи оборудования в котельную было принято решение соорудить эстакаду из шпальных клеток с временного торца

здания на площадку на отметке 7,0 бункерно-деаэрационной этажерки.

Расположение эстакады представлено на рисунке. По эстакаде и по перекрытию бункерно-деаэрационной этажерки до котла № 9 прокладывается железнодорожный путь широкой колеи.

Платформы с оборудованием и обмуровочными материалами затаскиваются электролебедкой 5 т по эстакаде на перекрытие отметки 7,0 и подаются к монтируемому котлу.

Уклон эстакады был принят 15°; длина эстакады 23 м. Тяговое усилие троса при двух нитках составило 3,8 т. Потребное количество шпал для сооружения эстакады 2000 шт.

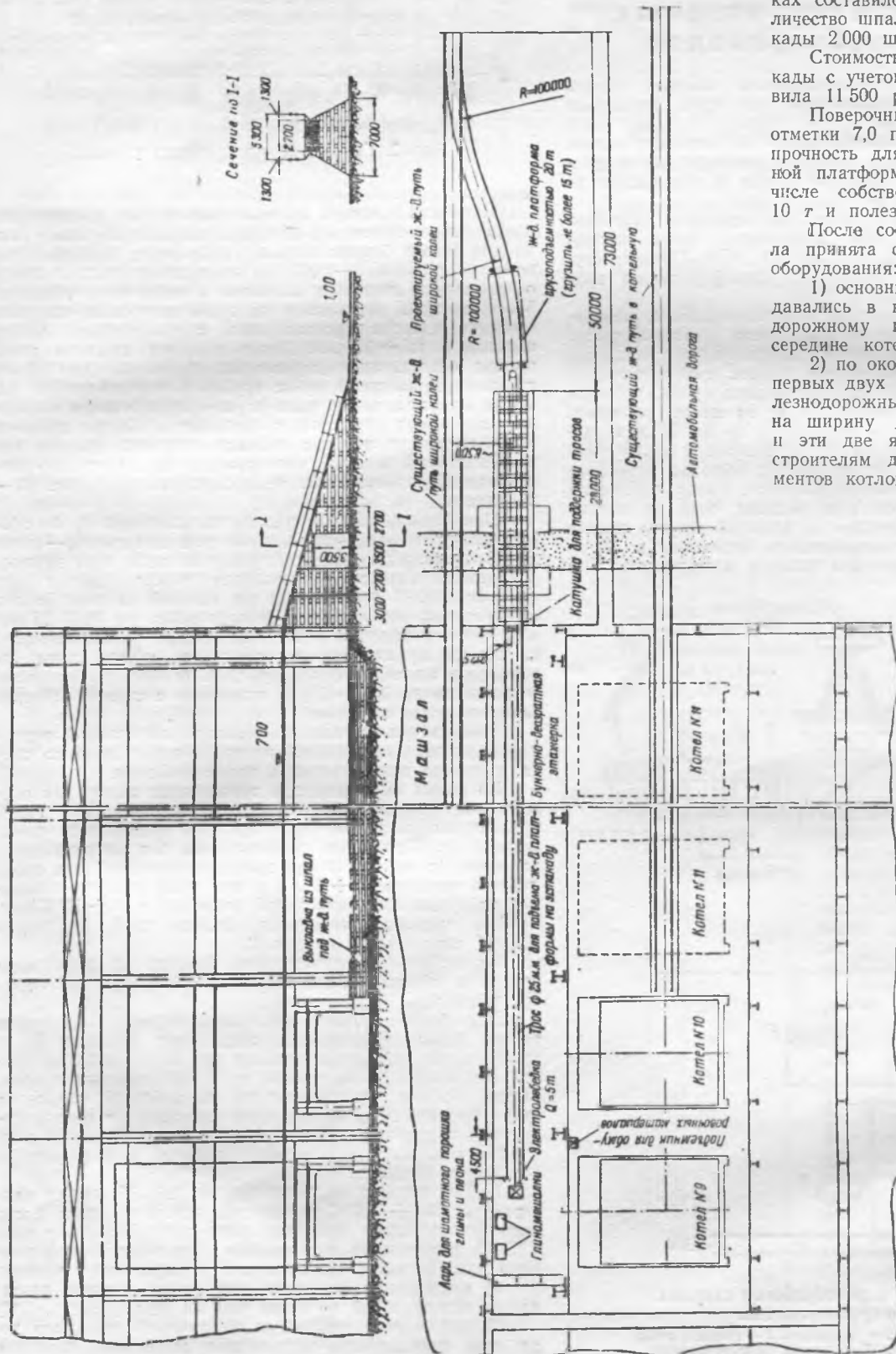
Стоимость сооружения эстакады с учетом возврата шпал составила 11 500 руб.

Поверочный расчет перекрытия отметки 7,0 показал достаточную его прочность для передвижения грузовой платформы весом 25 т (в том числе собственный вес платформы 10 т и полезный груз 15 т).

После сооружения эстакады была принята следующая схема подачи оборудования:

1) основные крупные блоки подавались в котельную по железнодорожному пути, проходящему по середине котельной;

2) по окончании монтажа блоков первых двух котлов (№ 9 и 10) железнодорожный путь укорачивался на ширину двух котельных ячеек, и эти две ячейки предоставлялись строителям для сооружения фундаментов котлов № 11 и 12.



Расположение эстакады и железнодорожных путей.

В это время остальное оборудование и все обмуровочные материалы для первых двух котлов подавались во эстакаде.

Подъемник для обмуровочных материалов был расположен с фронта между каждой парой котлов.

Растворный узел был расположен на перекрытии отметки 7,0 против фронта котла, подлежащего обмуровке.

Инж. Л. Д. Гинзбург-Шик

Термообработка сварных стыков трубопроводов

При монтаже тэц термообработка сварных стыков главного провода, изготовленного из труб диаметром 198/177 (61 стык) и диаметром 127/114 (3 стыка) стали марок 15М и 15ХМ производилась по режиму: нагрев до 680—710°С, выдержка при этой температуре из расчета 3 мин. на 1 мм толщины стенки и охлаждение со скоростью не более 13 ÷ 15°С в 1 мин.

Нагрев стыков производился индукционным способом. В качестве индуктора был использован голый провод марки ПРГ сечением 70 мм², длиной 18 м. Питание осуществлялось от трех сварочных трансформаторов типа СТЭ-23, включенных параллельно.

Сварные стыки, подлежащие термообработке, находились в радиусе не более 45 м от места установки трансформаторов. Для более полного использования мощности трансформаторов термообработка стыков производилась в три приема: сначала термообрабатывались стыки, расположенные в радиусе не более 15 м от места установки трансформаторов, затем в радиусе от 15 до 30 м и, наконец, в радиусе от 30 до 45 м. Благодаря этому провод, подводящий ток от вторичных обмоток трансформаторов до индукционного нагревателя, имели минимальную длину, требующуюся для подвода тока к стыкам данной группы; при переходе от ближней группы стыков к следующей провода наращивались отрезками в 15 м. Этим достигалось наименьшее падение напряжения.

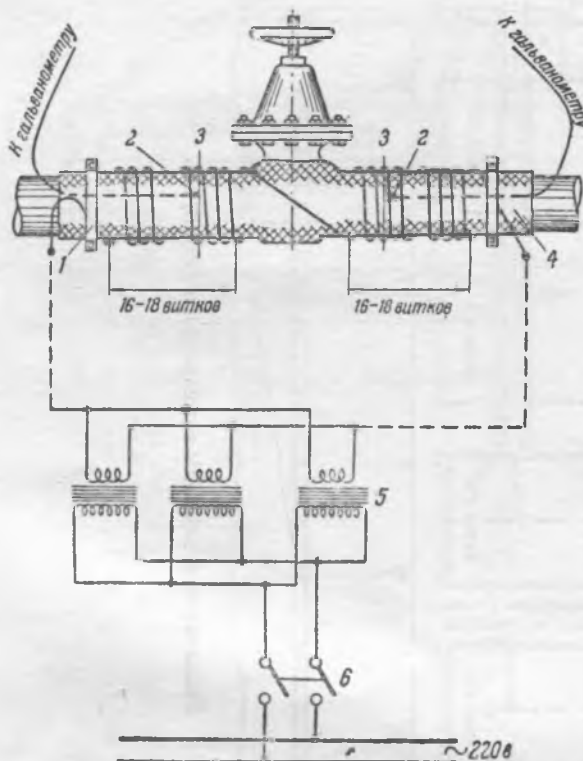


Рис. 1. Схема термообработки сварных стыков трубопроводов.

1 — стяжной хомут; 2 — термопара; 3 — сварной стык; 4 — листовая асбест; 5 — сварные трансформаторы СТЭ-23; 6 — рубильник.

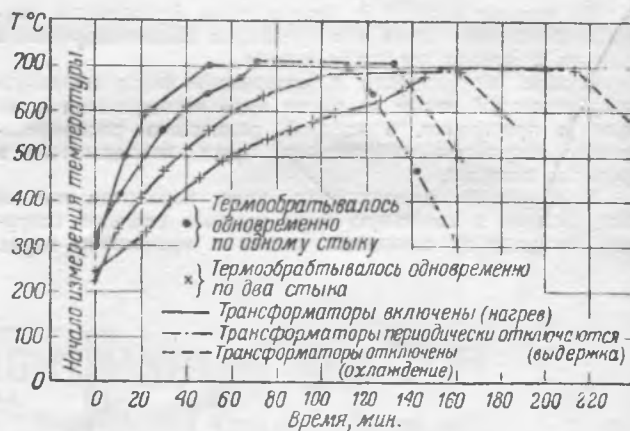


Рис. 2. График термообработки стыков.

К концам проводов припаивались медные наконечники, позволяющие обеспечить хороший контакт, что очень важно для такого большого тока. Труба перед намоткой провода, на длине 800—1000 мм по каждую сторону стыка, обертывалась листовым асбестом в один слой толщиной 5 мм, который укреплялся на трубе шнуровым асбестом. Намотка провода производилась с расстоянием между витками в 15 ÷ 30 мм. После намотки каждого витка провод обстучивался деревянным молотком для более плотного прилегания его к трубе. В случае слабой намотки при включении тока витки под действием магнитных сил могут стянуться и замкнуться. Концы проводов закреплялись на трубе с помощью стяжных хомутов или на ближайшей жесткой конструкции, предварительно изолированной асбестом. На один стык накладывалось 24—26 витков.

При термообработке стыков, соединяющих трубы с фасонными деталями — тройниками или арматурой, — ввиду невозможности произвести намотку на один стык нужного количества витков производился отжиг одновременно двух стыков. В этом случае на каждый из двух стыков одним и тем же проводом наматывалось по 16 ÷ 18 витков, как показано на рис. 1. Благодаря этому, несмотря на то, что время нагрева увеличилось, общее время, затраченное на термообработку двух стыков одновременно сократилось на 30 ÷ 40% в сравнении с термообработкой каждого стыка отдельно.

Температура нагрева замерялась прикладной термопарой, которая помещалась на трубе около сварного стыка и плотно прижималась к трубе асбестом.

Во время выдержки при температуре отжига для поддержания температуры стыка в пределах 680 ÷ 710°С приходилось несколько раз отключать и включать трансформаторы. Остывание производилось без искусственного подогрева (с отключенными трансформаторами) под слоем асбеста толщиной 5 ÷ 8 мм и при этом скорость остывания не превышала допустимой величины в 13 ÷ 15°С/мин. График нагрева нескольких стыков труб диаметром 198/177 мм приведен на рис. 2.

Термообработку производила бригада из двух человек, и на 64 стыка было затрачено 364 чел.-час при норме 482 чел.-час.

Для более полного использования трансформаторов работа была организована следующим образом. В то время, когда один стык остывал под слоем асбеста, другой нагревался, а на третий стык наматывался провод. Таким образом, трансформаторы не работали только во время переключения подводящих проводов от одного индуктора к другому, на что тратилось не более 30 мин.

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Для нагрева труб диаметром 198/177 мм до температуры 680 ÷ 710°С в качестве источника тока могут быть использованы три сварочных трансформатора типа СТЭ-23, включенных параллельно. При этом трансформаторы должны иметь одинаковые характеристики, а именно:

а) напряжения короткого замыкания должны различаться между собой не более чем на 3%;

б) расхождение вторичных напряжений холостого хода при параллельно включенных вторичных обмотках трансформаторов в сеть 220 в должно быть не более 0,5 в.

2. Трансформаторы должны включаться в одинаковые фазы сети через общий рубильник. Включение трансформаторов в сеть через индивидуальные рубильники может привести к перегрузке и выводу из строя одного или двух трансформаторов в случае невключения по каким-либо причинам рубильника от одного из трансформаторов.

3. Необходимо обеспечить хороший контакт всех токоведущих частей, для чего все провода должны быть снабжены медными припаянными наконечниками.

4. Намотку провода на трубу следует производить как можно туже во избежание замыкания витков обмотки.

Н. В. Соснин и инж. С. С. Якобсон

Контроль качества труб магнитно-эмульсионным способом

Для поверхностей нагрева котлов высокого давления применяются молибденовые трубы марки 15М диаметром 76 × 6. Эти трубы в соответствии с техническими условиями должны иметь чистую поверхность без дефектов. Допускается наличие рисок глубиной не более 0,6 мм.

Однако примерно 10–15% этих труб поступает на котлостроительные заводы с наличием на наружной поверхности закатов, плен и трещин глубиной до 3 мм. Эти дефекты на трубных заводах не обнаруживаются, так как они скрываются под тонким слоем окалины.

Для выявления поверхностных дефектов труб завод имени Орджоникидзе (по рекомендации Ленинградского института металлов) применяет проверку и отбраковку их магнитно-эмульсионным способом (до запуска их в производство).

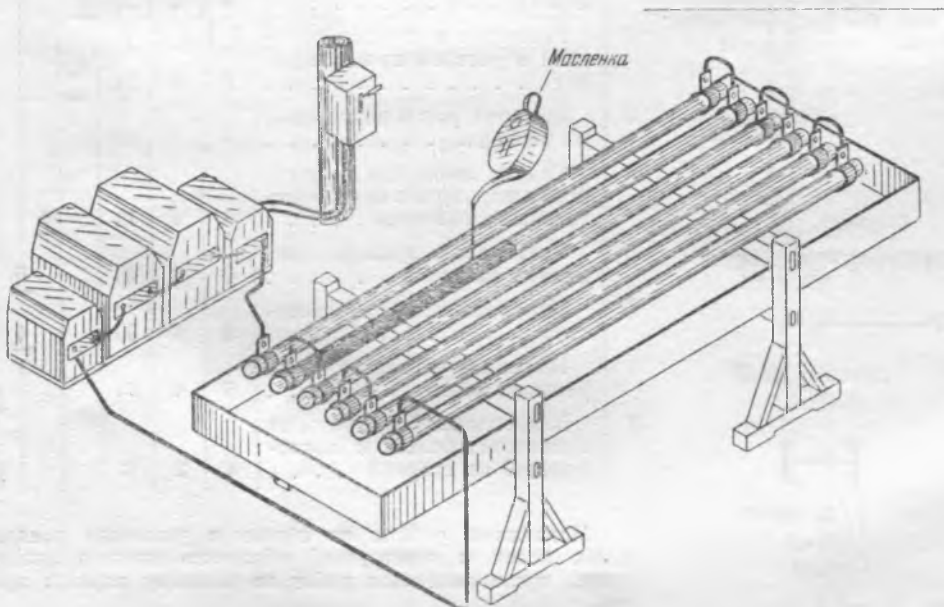
Способ этот заключается в следующем: готовые трубы, подлежащие проверке, укладываются на деревянные опоры и соединяются между собой последовательно при помощи концов гибкого кабеля с зажимами.

Выводные два конца кабеля через рубильник подводятся к низкой стороне параллельно соединенных сварочных трансформаторов СТ-32 (см. рисунок). При наличии мощных трансформаторов (1 000 кВА) электрическая схема упрощается, так как достаточно одного трансформатора.

При включении рубильника переменный ток напряжением 65 В проходит по цепи и образует магнитное поле.

Во время нахождения труб под током их поливают жидкой суспензией, состоящей из веретенного масла, керосина и чугунного порошка в следующей пропорции (на 100 л):

Масло веретенное 75 л
Керосин 25 л
Чугунные опилки 2,5 кг



Суспензию перед поливкой ею труб перемешивают. Под действием магнитного поля крупинки чугунного порошка притягиваются и скапливаются в местах расположения дефектов в виде фигурных узоров, копируя конфигурацию дефекта.

Суспензия при поливке стекает в металлический ящик и оттуда через горловину на дне собирается в бачок и используется повторно.

Таким образом, выявляются массовые дефекты, имеющиеся на поверхности труб, даже и скрытые под окалиной.

Трубы паровых котлов, проверенные описанным способом, работают вполне надежно, и случаев их выхода из строя не зарегистрировано.

Инж. А. И. Шиканян

Крупноблочный монтаж металлических конструкций

Трест «Кавказэнергострой» при расширении машинного зала тэц для установки двух дополнительных турбогенераторов мощностью по 25 тыс. кВт произвел монтаж металлоконструкций крупными блоками с применением простейших грузоподъемных механизмов.

Конструкция расширяемой части машинного зала видна из схемы рис. 1. Металлический каркас состоит из восьми несущих П-образных рам, раскрепленных стеновым фахверком и связями перекрытия. На отметке 15,00 м вдоль стен расположены подкрановые балки, а на отметке 7,00 м — обходной металлический мостик.

Конструкция П-образных рам (рис. 2) состоит из двух колонн весом в среднем 12 т и ригеля весом 4 т.

Средний вес отдельных элементов металлоконструкций, подлежащих изготовлению и монтажу, а также общий их вес приведены ниже:

	Один элемент, т	Всего, т
Колонны (16 шт.)	12,0	180
Ригели (8 шт.)	4,0	32
Прогоны и элементы фахверка (298 шт.)	0,35	110
Подкрановые балки и элементы мостика	—	40
Прочие элементы	—	20
Всего		382

Все металлоконструкции запроектированы и выполнены сварными.

Металлические конструкции изготавливались непосредственно на площадке строительства в специально организованной для этой цели мастерской открытого типа, оборудованной станками, а также тельферными и узкоколейными путями, связывающими рабочие места со складами металла и готовых изделий.

Все металлоконструкции общим весом около 400 т были в постройных условиях изготовлены в течение 3 мес. при среднем числе занятых рабочих в одну смену до 100 чел.

Монтаж металлических конструкций по проекту, разработанному на строительстве, выполнялся крупными блоками. Весь каркас здания разбивался на восемь блоков со средним весом 36 т в каждом. Блок состоял из П-образной рамы, фахверка, двух боковых стен, прогонов и связей потолка в пределах одного пролета.

Укрупнительная сборка блоков была запроектирована

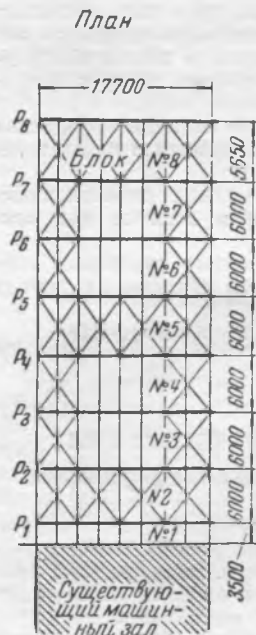


Рис. 1. Монтажная схема металлического каркаса машинного зала.

на четырех площадках (платформах) узкой колеи, прокладываемой по осям фундаментов машинного зала (рис. 3) При этом предполагалось одновременно собирать по три блока и, по мере их готовности подавать их на монтаж помощью лебедок.

Вследствие просадок и разрушения узкоколейных путей, при перемещении по ним площадок, груженных металлоконструкциями, пришлось от намеченного способа укрупнения конструкций в блоки отказаться и перейти к сборке их непосредственно на местах установки.

Работы по укрупнительной сборке элементов конструкций в указанные крупные блоки были организованы следующим образом. Элементы конструкций подвозились со склада готовых изделий к месту укрупнительной сборки на платформах нормальной колеи. Сборка блоков производилась железнодорожным и автомобильным кранами грузоподъемностью, соответственно, 3 и 7 т. Колонны и ригель укладывались на основание из шпальных клеток. При этом опорная часть колонны располагалась на заранее установленном и закрепленном на фундаменте металлическом башмаке с шарниром.

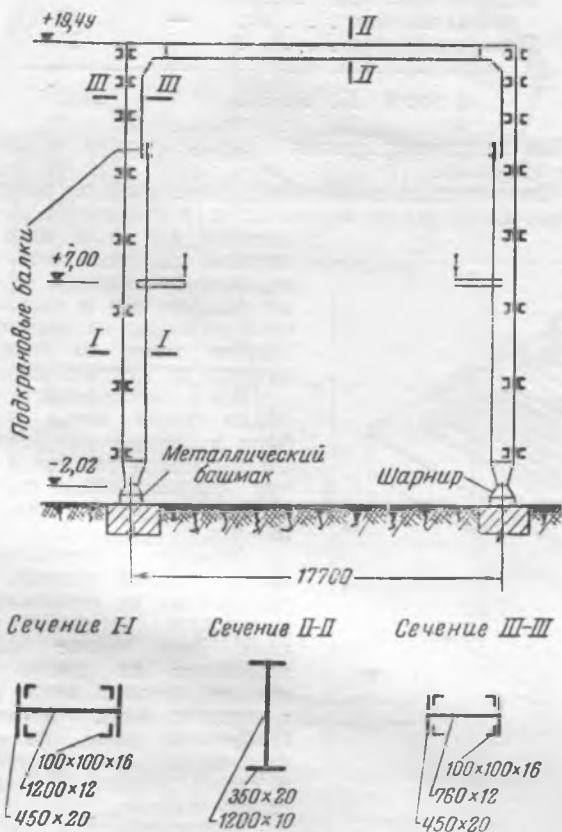


Рис. 2. П-образная рама (P₁-P₂).

К колоннам ригель приваривался после тщательной выверки всех геометрических размеров рамы. Элементы фахверка, прогоны и связи потолка подавались к рамам автокраном в виде предварительно собранных мелких блоков.

После приварки к раме все эти элементы раскреплялись временными подкосами, предохраняющими их от деформаций при установке блока на место.

По окончании укрупнительной сборки блоки поднимались и устанавливались на место пятитонными электролебедками при 6 роликовых полиспацах. Полиспацы закреплялись к существующим конструкциям машинного здания и по мере монтажа — к верхней части ранее установленных рам. Максимальное усилие, приходившееся на полиспац, составляло около 15 ÷ 16 т при горизонтальной составляющей 11 т.

На опорной части колонн, как указывалось выше, устраивались специальные временные шарниры, воспринимавшие горизонтальные усилия и препятствовавшие смещению блока при его подъеме (рис. 4).

В вертикальном положении блоки удерживались двумя трехтонными лебедками. Присоединение блока к ранее смонтированным конструкциям выполнялось помощью болтовых соединений, что было предусмотрено при изготовлении отдельных элементов каркаса. Все работы по укрупнительной сборке блоков и их установке на места были произведены за 49 рабочих дней.

При этом в результате улучшения организации работ и освоения процессов рабочими продолжительность сборки и монтажа по каждому блоку последовательно уменьшалась и составила для первого блока — 13 дней, для второго — 10 дней, для третьего — 7 дней, четвертого и пятого — по пять дней и, наконец, для последних трех блоков — всего по три дня.

Работы по сборке и монтажу этих последних блоков (№ 6, 7 и 8) производились комплексной бригадой по графику, приведенному в таблице.

График производства монтажа металлического каркаса здания машинного зала крупными блоками

№ по пор.	Наименование работ	Количество рабочих в бригаде	Количество часов работы бригады	Затрачено чел.-час.	Дни работы		
					1	2	3
1	Погрузка на складе и доставка на монтаж готовых конструкций	6	4	24	6		
2	Разгрузка и раскладка колонн и ригелей на месте работ	6	4	24	6		
3	Выверка рам и подготовка их к сварке	6	8	48	5		
4	Сварка швов рам и установка шарниров с подготовительными работами	9	8	72	9		
5	Установка и приварка элементов фахверка	6	8	48		6	
6	Перевешивание полиспацов	4	8	32		4	
7	Подъем и установка блока рамы на место	6	4	24			6
8	Закрепление блока рамы на монтажных балках с последующей их сваркой	4	2	8			4

Монтажные работы по сборке и установке подкрановых балок и конструкций обходного мостика выполнялись после окончания работ по монтажу каркаса здания.

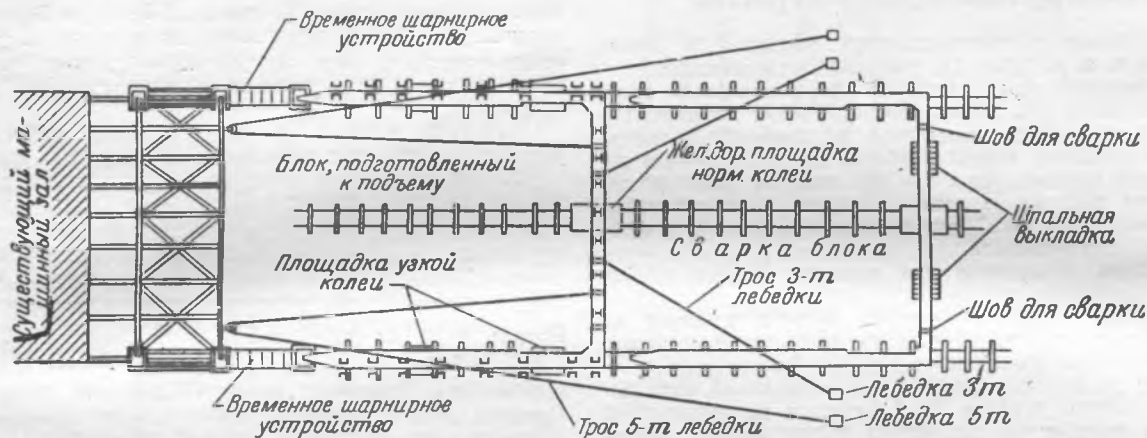
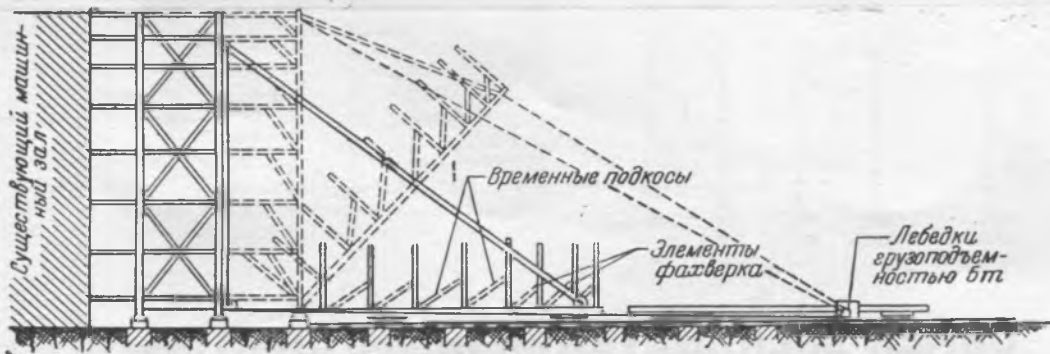


Рис. 3. Подъем металлических конструкций машинного здания крупными блоками.

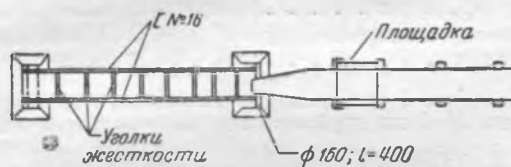
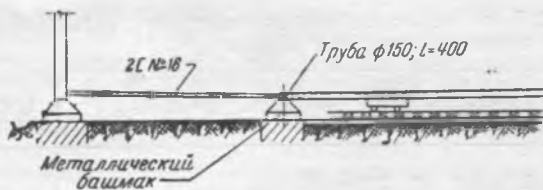


Рис. 4. Временное шарнирное устройство.

Продолжительность монтажа аналогичных металлических конструкций каркаса в существующей части машинного здания составила около 8 мес. При этом конструкции изготовлялись на специализированном заводе и в готовом виде поступали на строительство. Монтаж же проводился с помощью передвижных кранов.

Выводы

Описанный крупноблочный монтаж металлических конструкций показывает, что при удачном выборе габаритов и веса блоков и продуманной организации работ значительно упрощается процесс монтажа, сокращается его продолжительность, а работы выполняются меньшим количеством рабочих при более низкой квалификации их.

Возможность выполнения монтажа крупных блоков простейшими механизмами (лебедками и пр.) делает этот способ производства работ в отдельных случаях еще более эффективным.

Инж. Б. И. Киркор



ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ

Опыт повышения к. п. д. теплоэлектроцентрали

Проведенные на электростанции мероприятия, повысившие ее к. п. д. (рис. 1), состояли в следующем:

1. Последовательный пропуск циркуляционной воды через конденсаторы. Вода, охлаждающая конденсатор одной турбины, пройдя через него, не сливается, а поступает в конденсатор второй турбины (рис. 2), причем на станции, как правило, одна или обе машины работают на ухудшенном вакууме, с использованием циркуляционной воды температурой 50°C для технологических нужд фабрик и подпитки теплосети.

Возможны следующие два варианта работы турбин (рис. 3):

Первый вариант — одна машина работает на глубоком вакууме, другая — на ухудшенном; использование горячей воды 200 т/час .

1. При раздельном пропуске циркуляционной воды через конденсаторы турбина № 2 работает на ухудшенном вакууме с полным использованием тепла циркуляционной воды; турбина № 3 работает на глубоком вакууме с пропуском пара в конденсатор $9,34 \text{ т/час}$. Тепло циркуляционной воды в количестве $9,34 \times 0,535 = 5,0 \text{ мкал/час}$ (где $0,535 = t_k - t_c$ теряется. При этом из характеристических графиков турбин № 2 и 3, составленных на основе испытаний 1945 и 1949 г., имеем:

Наименование	Турбина № 2	Турбина № 3	Турбины № 2 и 3
Расход пара на турбины, $D_m, \text{ т/час}$	61,5	56,5	118
Отбор пара $D_0, \text{ т/час}$	45	47	92
Пропуск пара в конденсатор $D_k, \text{ т/час}$	16,5	9,34	24,84
Выработка электроэнергии, $\mathcal{E}, \text{ квтч}$	6 350	5 300	11 650

2. При последовательном пропуске циркуляционной воды через конденсаторы турбина № 2 работает на ухудшенном вакууме, турбина № 3 — на глубоком вакууме. Вся циркуляционная вода в количестве 200 т/час , пройдя сначала конденсатор турбины № 3, поступает в конденсатор турбины № 2 без потерь. При этом из характеристических графиков турбин № 2 и 3, составленных на основе испытаний 1945 и 1949 г., имеем:

Наименование	Турбина № 2	Турбина № 3	Турбины № 2 и 3
Расход пара на турбины, $D_m, \text{ т/час}$	61,5	56,5	118
Отбор пара $D_0, \text{ т/час}$	54,34	47,16	101,5
Пропуск пара в конденсатор $D_k, \text{ т/час}$	7,16	9,34	16,5
Выработка электроэнергии, $\mathcal{E}, \text{ квтч}$	5 850	5 300	11 150

При одинаковом в обоих случаях расходе пара на турбины в случае 2 отбор возрастает на величину использованного конденсатного хвоста турбины № 3. За счет

изменения некоторого соотношения выработки электрической энергии и отпуска тепла в случае 2 имеем экономию тепла против случая 1, равную: $t_0 (D_0^2 - D_0^1) - 0,86 \times (3^1 - 3^2) = 0,670$; $(101,5 - 92) - 0,86 (11,650 - 11,150) \approx 5,9 \text{ мкал/час}$, или $5,9 \times 0,188 = 1,1 \text{ т/час}$ условного топлива, где $0,188$ — удельный расход условного топлива т/мкал .

Второй вариант — обе турбины работают на ухудшенном вакууме; использование воды 200 т/час .

1. При раздельном пропуске циркуляционной воды через конденсаторы имеем:

Наименование	Турбина № 2	Турбина № 3	Турбины № 2 и 3
Расход пара на турбину $D_m, \text{ т/час}$	55,25	55,25	110,5
Отбор пара $D_0, \text{ т/час}$	47	47	94
Пропуск пара в конденсатор $D_k, \text{ т/час}$	8,25	8,25	16,5
Выработка электроэнергии, $\mathcal{E}, \text{ квтч}$	5 150	5 050	10 200

2. При последовательном пропуске циркуляционной воды через конденсаторы имеем:

Наименование	Турбина № 2	Турбина № 3	Турбины № 2 и 3
Расход пара на турбины $D_m, \text{ т/час}$	55,25	55,25	110,5
Отбор пара $D_0, \text{ т/час}$	46,65	47	93,65
Пропуск пара в конденсатор $D_k, \text{ т/час}$	8,60	8,25	16,85
Выработка электроэнергии, $\mathcal{E}, \text{ квтч}$	5 150	5 250	10 400

В случае 2 при всех равных условиях за счет работы турбины № 3 на глубоком вакууме выработка электриче-

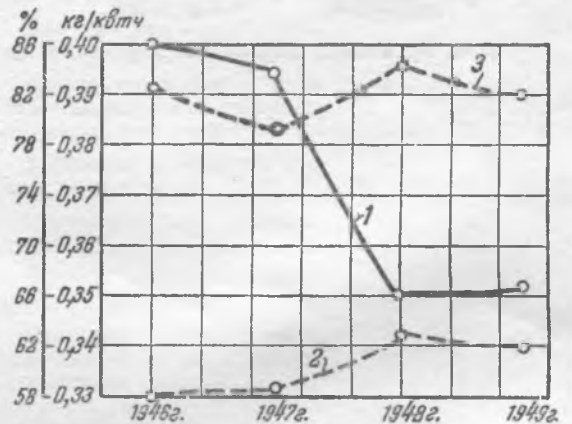


Рис. 1. Изменения к. п. д. и удельного расхода топлива тэц за послевоенные годы.

1 — удельный расход условного топлива; 2 — к. п. д. станции; 3 — к. п. д. машинного зала (тепловой).

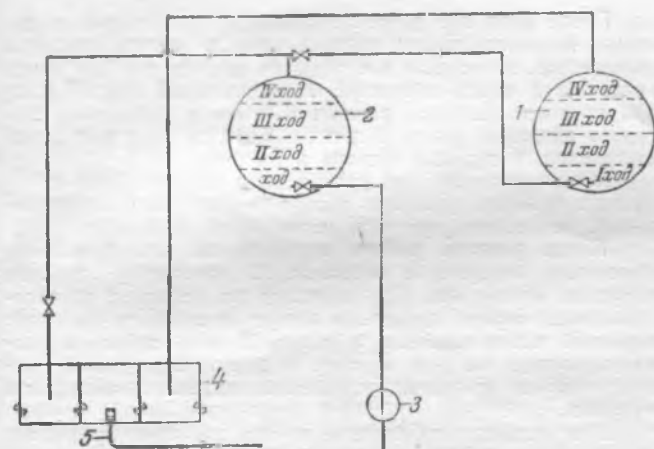


Рис. 2. Схема последовательного пропуска циркуляционной воды в конденсаторы турбин № 2 и 3.

1—конденсатор турбин № 2; 2—конденсатор турбины № 3; 3—циркуляционный насос; 4—сборник циркуляционной воды; 5—линия подачи циркуляционной воды на использование.

ской энергии возросла на 200 кВтч, что дает экономию $0,86 \times 0,2 \times 0,188 = 0,032$ т/час условного топлива.

II. Удаление последней 10-й ступени цилиндра низкого давления одной турбины.

В связи с устойчивым режимом работы станции на турбинах с ухудшенным вакуумом и, как правило, с ухудшенным вакуумом одной турбины, на основании проведенных ЦКТИ испытаний, выявлено, что последняя ступень цилиндра низкого давления турбин при этом режиме работает с отрицательной мощностью.

Удаление последней ступени повышает при тех же пропусках пара через цилиндр низкого давления электрическую мощность его; так, по данным испытаний ЦКТИ можно сделать вывод, что:

а) при максимальном пропуске пара через цилиндр низкого давления, равном 26 000 кг/час, мощность цилиндра низкого давления до удаления последней ступени равнялась 2 354 кВт и соответственно после удаления последней ступени — 2 464 кВт, т. е. выигрыш составляет 110 кВт; то же по электрической мощности 104,5 кВт;

б) при минимальном пропуске пара через цилиндр низкого давления мощность цилиндра низкого давления до удаления последней ступени равнялась 403 кВт и соответственно после удаления последней ступени — 459 кВт, т. е. выигрыш составляет 56 кВт; то же по электрической мощности 53 кВт.

Экономия в расходе топлива, принимая среднегодовой удельный расход его равным 0,4 кг/кВтч, составила в месяц (соответственно по вариантам):

I вариант $0,4 \times 720 \times 104,5 = 30$ т условного топлива;

II вариант $0,4 \times 720 \times 53 = 15,6$ т условного топлива.

III. Перевод на сульфуголь катионитовых фильтров водоподготовки питательной воды.

В целях использования тепла циркуляционной воды конденсаторов, уменьшения слива ее и повышения этим к. п. д. турбинного цеха катионитовые фильтры были переведены с глауконита на сульфуголь.

Как известно, сульфуголь допускает применение горячей воды до 70—80°С, что невозможно при работе на глауконите. Осуществление этого мероприятия дало:

а) увеличение использования на 30 т/час циркуляционной воды турбин, которая ранее сливалась в реку;

б) значительное облегчение работы деаэратора питательной воды.

При внедрении этого мероприятия экономия топлива составляет:

$$\frac{30 \times 720 (70 - 50) \cdot 0,188}{1000} \approx 81 \text{ т условного топлива в месяц,}$$

где 30 — количество использованной циркуляционной воды, т/час;

720 — число часов работы в месяц;

(70—50) — увеличение используемого тепла воды, ккал/кг;

0,188 — удельный расход топлива, т/мгкал.

IV. Перевод подогревателей теплосети на пар пониженных параметров.

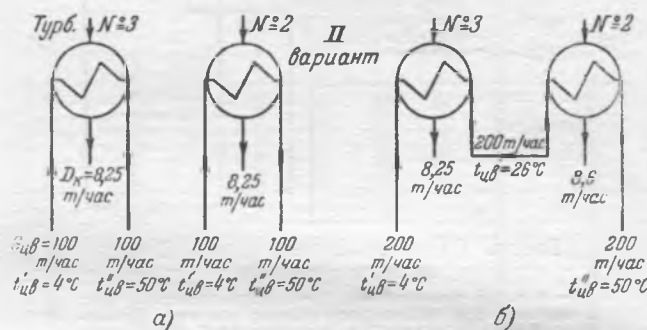
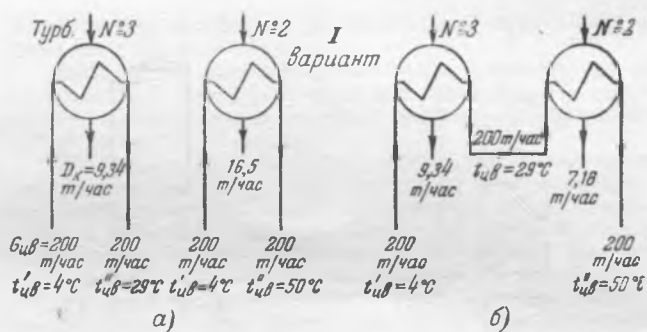


Рис. 3. Варианты пропуска циркуляционной воды в конденсаторы турбин.

а—раздельный пропуск; б—последовательный пропуск.

В соответствии с диспетчерским графиком нагрузки для тэц работа турбин в зависимости от выработки электроэнергии отклоняется от теплового графика.

Особенно значительное отклонение от теплового графика бывает в вечерние и утренние максимумы. Чтобы поднять электрическую мощность турбины, можно перевести часть нагрузки с цилиндра низкого давления на цилиндр высокого давления, понизив давление пара на выходе из цилиндра высокого давления или в отборе. При наличии регулятора давления на турбине такая настройка режима работы не представляет трудностей. Затруднение заключается лишь в поддержании постоянного давления пара для технологических целей фабрик. Теплосеть не предъявляет таких претензий.

Тэц для работы по тепловому графику турбин разделила отъемы от машин, дав с одной турбины постоянное давление фабрикам, с другой — переменное, зависящее от расхода тепла, для теплосети.

Экономия условного топлива при этом составляет около 80 т в месяц (по данным тэц).

Кроме указанного выше, в турбинном цехе было выполнено следующее: использование тепла отсоса пара от штоков дроссельных клапанов турбин; использование тепла пара продувок турбин при их пусках; учет слива циркуляционной воды помощью автоматической записи и др.

Весь комплекс проведенных мероприятий, а также повышение квалификации персонала и работа оборудования на основе введенных режимных карт и т. п. позволили цеху повысить $\eta_{\text{мен. тэц}}$ до 92% (среднемесячный), а в отдельные дни до 94—95%.

Для увеличения к. п. д. котельного цеха был включен в работу утилизатор тепла отходящих газов котла (рис. 4), который представляет собой набор стальных змеевиков, собранных в два коллектора. Он расположен за воздухоподогревателем в зоне температуры уходящих газов около 170—200°С. Змеевики утилизатора вместе с трубопроводами заполнены постоянно циркулирующим конденсатом. Убыль конденсата (из-за неплотностей и т. д.) периодически пополняется. Конденсат по выходе из утилизатора отдает свое тепло в водо-водяном бойлере катионированной воде.

Благодаря установке утилизатора температура уходящих газов на котле снизилась до 135—140°С; к. п. д. котла повысился на 2—2,5%, температура катионированной воды, идущей от фильтров, поднялась с 50 до 70—75°С,

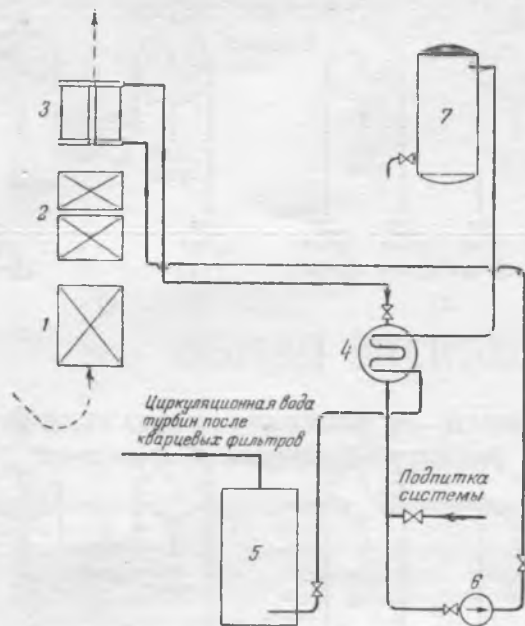


Рис. 4. Схема включения экономайзера низкого давления.

1 — водяной экономайзер; 2 — воздухоподогреватель; 3 — змеевиковый экономайзер низкого давления (утилизатор); 4 — водо-водяной подогреватель; 5 — на-катионный фильтр; 6 — насос; 7 — деаэрактор.

что улучшило условия работы станционного деаэратора питательной воды. Экономия топлива составила:

$$0,02 \frac{18 \times 720 \times 2600}{2,5 \times 7000} = 38 \text{ т условного топлива в месяц,}$$

где 18 — паросъем с котла, т/час;
720 — число часов работы котла;
2600 — теплотворная способность торфа, ккал/кг;
2,5 — испарительность торфа;
0,02 — повышение к. п. д. котла.

В результате проведенных мероприятий в январе 1950 г. к. п. д. составил 71%.

Инж. И. Я. Ершов
и инж. С. С. Рябиков

Вибрация паровых турбин из-за коробления роторов во время работы

Как известно, прямолинейность оси ротора турбины, проверенная в холодном состоянии, в некоторых случаях оказывается нарушенной даже при равномерном прогреве ротора.

Причиной термической нестабильности оси ротора являются внутренние напряжения в материале. Вследствие возникающей при этом неуровненности ротора появляется вибрация турбины.

Указанный дефект устраняется при помощи термической стабилизации ротора. Однако, по видимому, эта операция не считается обязательной у зарубежных турбостроительных фирм, как это показывают приведенные ниже примеры. Следует отметить, что термическая нестабильность оси ротора может обнаружиться также после длительной эксплуатации, если ротор подвергается при ремонте механической обработке, например проточке участков концевых уплотнений.

Ниже описываются три случая обнаружения термической нестабильности оси роторов, имевшие место в практике монтажной организации. Все эти случаи относятся к цельнокованным или барабанным роторам.

Случай 1. Цельнокованный ротор турбины Бергман с параметрами свежего пара 30 ата, 350°С и противодавлением 1,8 ата, работающий при 6500 об/мин, был погнут в районе уплотнения высокого давления и выправлен способом местного нагрева.

После пяти лет работы турбины при капитальном ремонте были проточены участки вала в местах угольных уплотнений, после чего все попытки пустить турбину были неудачными ввиду вибрации. Максимальный прогиб вала при проверке оказался равным 0,03 мм в уплотнении высокого давления рядом с диском Кертиса. Вал был снова выправлен, и турбина пущена в работу.

Спустя два года при капитальном ремонте была обнаружена сработка участков вала в местах угольных уплотнений, вследствие чего эти места были проточены.

После ремонта работа турбины на холостом ходу протекала следующим образом. В атмосферу турбина работала нормально. При переходе на работу с противодавлением спустя несколько минут начиналась вибрация передней части турбины, а через 10 мин. вибрация распространялась на всю машину и делалась настолько резкой, что от вибрации отключался автомат безопасности турбины.

При переводе турбины с противодавления на работу в атмосферу вибрация постепенно прекращалась, и турбина работала нормально.

При некоторых условиях — пониженной температуре свежего пара или пониженном противодавлении — турбина работала нормально, и оказывалось возможным ее нагружать. Однако при повышении указанных параметров работа делалась невозможной вследствие вибрации.

Для проверки оси ротора турбины во время работы на конце его со стороны низкого давления, имеющем в холодном состоянии биение 0,01 мм, был установлен указатель биения. Проверка биения дала результаты, приведенные в таблице. На основании этих результатов причиной вибрации турбины было признано искривление оси ротора под действием высокой температуры пара.

Режим работы	Температура в выхлопном патрубке, °С	Скорость вращения, об/мин	Биение ротора, мм
В атмосферу	160	6500	0,075
	145	0	0,04
С противодавлением	230	5500	Нельзя измерить вследствие отставания штифта индикатора от вала
	223	5000	0,20
	210	0	0,09

Случай 2. Конденсационная турбина фирмы Томсон Гаустон мощностью 500 квт, 8000 об/мин с параметрами свежего пара 16 ата, 270°С. Привод генератора осуществляется через редуктор, скорость вращения генератора 1000 об/мин. Цельнокованный ротор турбины имеет двухвенечный диск Кертиса и 7 активных дисков. Материал ротора — марганцовистая сталь (С — 0,45%; Si — 0,20%, Mn — 0,7%, Ni — 0,10%).

На заводе-изготовителе турбина была испытана вхолостую при параметрах свежего пара 11 ата и 185°С, причем ненормальностей в ее работе не было отмечено. После монтажа на месте установки турбина при расчетных параметрах пара на холостом ходу работала нормально, однако после приема нагрузки или на холостом ходу при повышении температуры свежего пара до 290°С, появлялась недопустимая вибрация.

Неоднократные попытки наладить работу турбины, сопровождавшиеся вскрытием цилиндра, не дали результата. При вскрытии цилиндра на роторе были обнаружены односторонние натирки в маслозащитных кольцах. Максимальное биение ротора в холодном состоянии составляло 0,03 мм.

Причиной вибрации была признана термическая нестабильность оси ротора, и ротор был подвергнут стабилизации. После стабилизации максимальное биение оказалось равным 0,05 мм.

Случай 3. Конденсационная турбина фирмы Броун-Бовери мощностью 2750 квт, 3000 об/мин, с параметрами свежего пара 22 ата и 380°С, 1942 г. выпуска.

Конструкция ротора — барабанная, обычная для турбин указанной фирмы. Приемка турбины на заводском стенде была произведена при работе ее на холостом ходу.

При пробных пусках после монтажа выявилась значительная вибрация в области переднего подшипника, увели-

чивающаяся с повышением нагрузки до 0,35 мм. Было установлено, что повышение вибрации наступает спустя несколько минут после увеличения нагрузки или включения регулируемого отбора пара.

Проверка работы турбины при пониженном до 230° С перегреве пара при разных режимах показала отсутствие вибрации.

Произведенные измерения биения барабана ротора сквозь лючок в крышке цилиндра позволили обнаружить, что в горячем состоянии биение больше, чем в холодном (0,09 мм вместо 0,02 мм).

Таким образом, было установлено, что причиной вибрации является термическая неустойчивость оси ротора.

Выводы

1. Признаком термической неустойчивости роторов является резкое увеличение вибрации турбины с повышением нагрузки, или, точнее, температуры пара в цилиндре.

2. Проверка термической неустойчивости ротора может быть произведена пробным пуском турбины при пониженной температуре свежего пара.

3. Термическая неустойчивость ротора иногда возникает после механической обработки его при ремонте.

Инж. А. С. Калинин
и инж. М. А. Случаев

Царговые разборные леса для ремонта обмуровки топок

Многие существующие конструкции разборных лесов не находят широкого применения вследствие сложности сборки и большой затраты труда и времени на их сборку и разборку.

Испытывая острую нужду в разборных лесах при ремонтах камерных топок котлов, в условиях дефицита лесных материалов, Харьковэнергоремонт разработал конструкцию разборных металлических лесов (рис. 1). Основанием для них служит настил, сооружаемый на нескольких фермах (рис. 2), которые опираются на скаты холодной

воронки. Фермы сделаны из кипятильных труб с растяжками из полосовой стали.

Вдоль ферм ставятся стойки лесов, состоящие из 4-м отрезков труб диаметром 44/51 или 76/83 мм. По высоте стойки защищаются с помощью простых шиповых соединений до требуемой высоты.

На стойках (рис. 3) предусмотрены гнезда для царговых связей, расположенных поперек рабочих проходов и имеющих постоянную длину, рассчитанную на образование прохода шириной 1500 мм. Поперечные связи изготовляются из одной трубы диаметром 44/51 мм или из двух труб диаметром 32/38 мм, как показано на рис. 4.

Размеры продольных связей (рис. 5) зависят от размеров топki в плане. Предельная длина их не должна превышать 3 м.

Продольные связи делаются из труб диаметром 76/83 мм или из фермочек, сваренных из труб 32/38 мм, как пока-

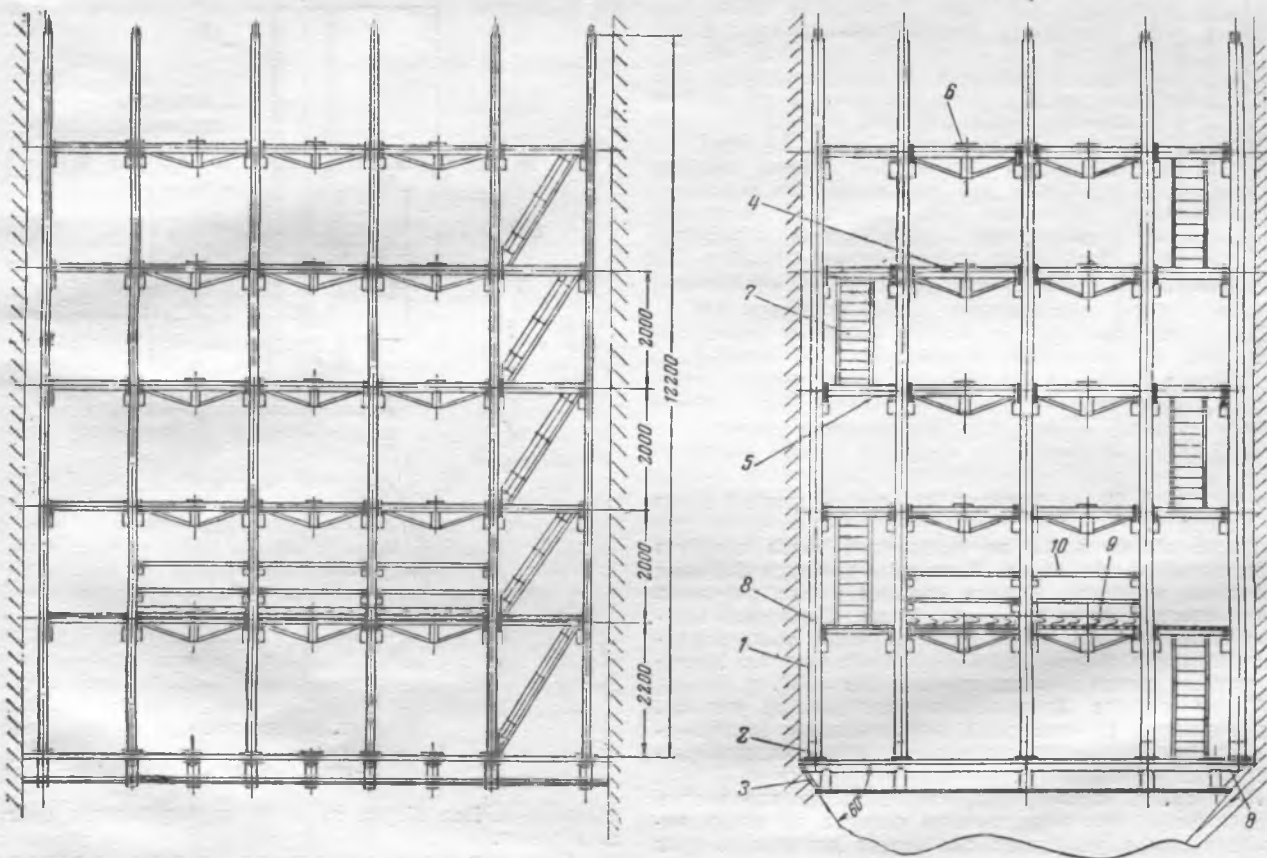
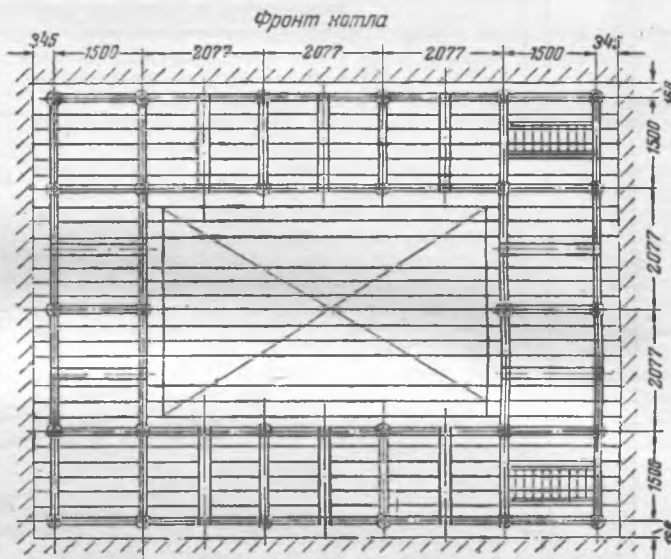


Рис. 1. Конструкция разборных металлических лесов.

1 — стойка (кипятильная труба); 2 — башмак; 3 — опорная ферма; 4 — продольная связь (ферма); 5 — поперечная связь; 6 — поперечина; 7 — лестница; 8 — настил, доска 250×40; 9 — бортовая доска 150×30; 10 — поручень.

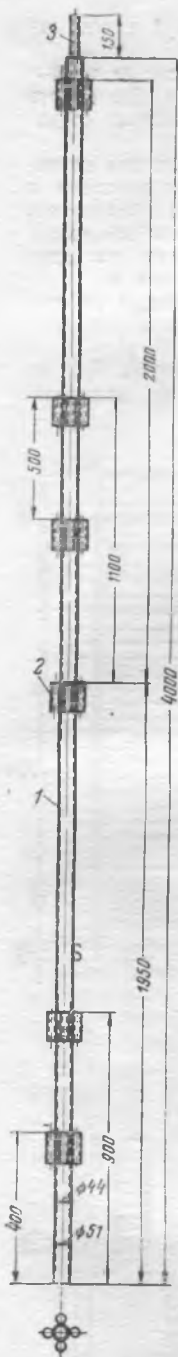


Рис. 3. Стойка.
1—кипятильная труба; 2—газовая трубка 3/4"; 3—стык.

зано на рис. 5. Эскиз башмака под стойку деталей стыка дан на рис. 6.

После сборки яруса на поперечные связи кладутся доски толщиной 30—40 мм. К настилу крепятся бортовое ограждение из досок. Перила сделаны также царгового типа из круглой стали диаметром 18 мм. Сообщения между ярусами, которых допускается не более трех, осуществляются при помощи легких переносных лестниц. Условная нагрузка площади яруса принята 250 кг/м².

Трубы следует брать некондиционные, из отходов. Сварка должна производиться качественными электродами квалифицированными сварщиками. Все элементы рассчитываются на прочность.

Леса данной конструкции, изготовленные для котлов электростанции, при обмуровочных работах оказались целесообразными и удобными: они имеют длительный срок службы.

Сборка лесов для котла паропроизводительностью 120 т/час потребовала 4 часа, разборка лесов — меньшее время. Быстрота сборки объясняется отсутствием болтовых

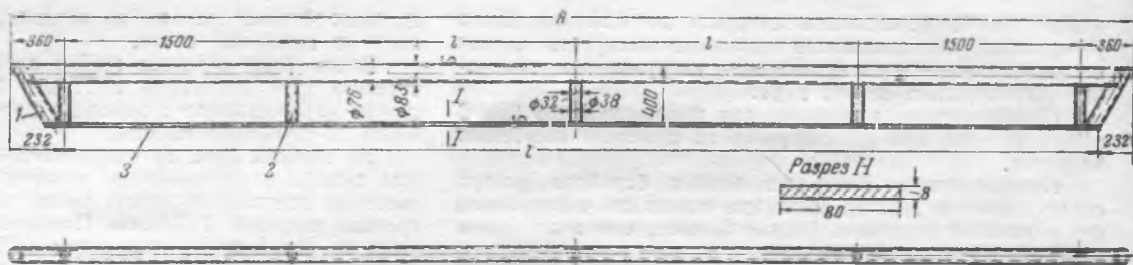


Рис. 2. Опорная ферма.
1—кипятильная труба; 2—пароперегревательная труба; 3—нижняя полка.

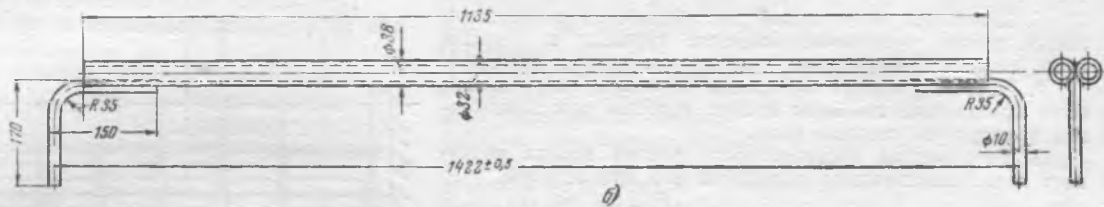


Рис. 4. Поперечная связь.

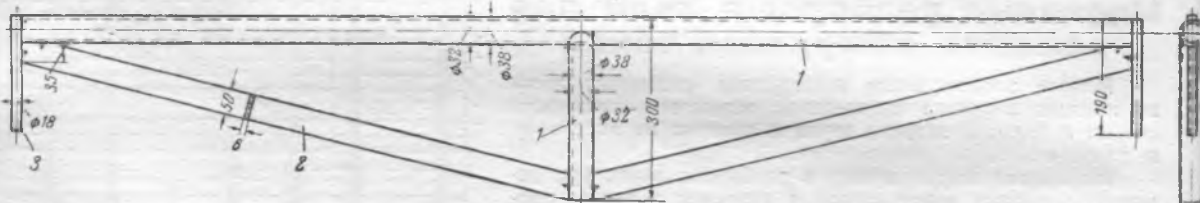


Рис. 5. Продольная связь.
1—пароперегревательная труба; 2—распор; 3—штырь.

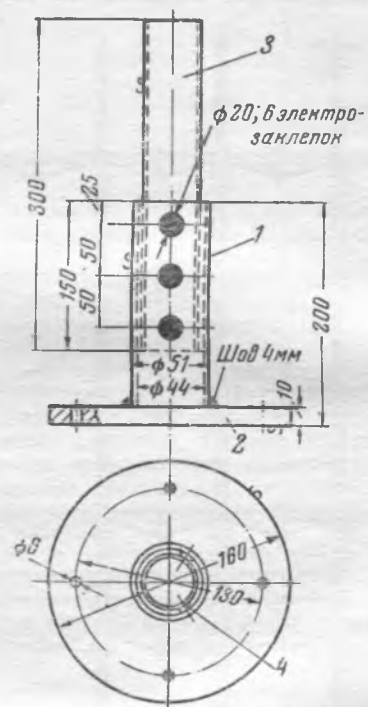


Рис. 6. Башмак.
1—кипятильная труба; 2—плитка; 3—стык; 4—планка.

соединений. Вся сборка заключается в установке царг на свои места.

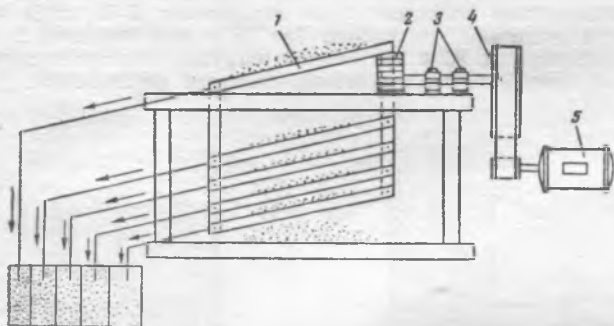
Стоимость изготовления комплекта лесов не превышает 10 тыс. руб., что быстро окупается благодаря значительной экономии пиломатериалов.

Инж. В. Л. Ляхов

Механизация отсева фильтрующего материала

На электростанции при капитальном ремонте механических фильтров водоподготовительных установок был применен механический способ отсева кварца по фракциям.

Устройство для механического отсева кварца (см. рисунок) представляет собой изготовленное из уголковой стали металлическое основание, на котором укреплены пять сит с ячейками соответствующих размеров.



Устройство для механического отсева кварца.

1 — сито; 2 — зубчатка; 3 — подшипники; 4 — ременная передача; 5 — двигатель.

Все сита скреплены между собой; верхнее сито связано с зубчаткой, которая приводится в движение двигателем мощностью 0,8 кВт при помощи ременной передачи. От вращения зубчатки приводятся в движение все пять сит; таким образом, одновременно происходит сев шести фракций кварца.

Применение механизированного отсева фильтрующего материала освобождает значительную часть рабочей силы и позволяет улучшить условия труда персонала на отсевах.

Инж. А. В. Мольнер

Из опыта эксплуатации автоматов разгрузки энергосистем по частоте

Многолетний опыт эксплуатации энергосистем Советского Союза показал высокую эффективность автоматической разгрузки по частоте для обеспечения устойчивой работы энергосистем при резком нарушении баланса мощностей. Опыт эксплуатации также показал, что в тех энергосистемах, где аварийная разгрузка по частоте была выполнена в соответствии с решениями Технического управления Министерства электростанций, аварийный выход 25—30% установленной мощности системы не приводил к расстройству и развалам системы. С другой стороны, в тех энергосистемах, где автоматической разгрузки не было или мощность нагрузки, отключаемая автоматически, была недостаточна, происходили расстройства систем, а в некоторых случаях развалы и погашения.

Несмотря на относительную простоту автоматов разгрузки по частоте процент их правильной работы (96,7% за 1948 г.) остается ниже общего процента правильной работы релейной защиты (99,02% за 1948 г.). Это происходит главным образом вследствие несовершенства реле понижения частоты — основной части автоматов аварийной разгрузки по частоте (АРЧ).

В настоящее время в автоматах АРЧ в основном применяются реле частоты типа ЭЧ и RF. Так, по данным десяти наиболее крупных энергосистем число автоматов с реле типа ЭЧ составляет 49,7%, с реле типа RF — 41,2% и с другими типами реле — 9,1%.

В результате длительной эксплуатации можно установить, что реле типа ЭЧ-1 имеет следующие параметры: диапазон изменения уставок 0,5 пер/сек; потребление 15 в; погрешность по напряжению от 80 до 120 в — 0,25—

0,6 пер/сек (0,5—1,2%); температурная погрешность при изменении от 0 до +40°С составляет 0,5—0,6 пер/сек (1—1,2%); время срабатывания реле до 0,7 сек; давление на контактах при частоте срабатывания равно нулю. Последнее обстоятельство ставит под сомнение указанную ЦЛЭМ Мосэнерго мощность контактов на замыкание, равную 40 в. Контакты реле ЭЧ-1 предназначены для замыкания цепи кодового реле.

На основании опыта эксплуатации можно отметить следующие основные недостатки реле типа ЭЧ:

1. Малый диапазон уставок по шкале ($\pm 0,5$ пер/сек). Для изменения диапазона уставок требуется изменение параметров вспомогательного устройства (ВУ). В этом устройстве применены дроссели с постоянным воздушным зазором, а обмотки сделаны без ответвлений, поэтому в тех случаях, когда требуется изменить частоту резонанса (диапазон уставок), необходимо перематывать обмотки или заменять конденсаторы.

Этот недостаток очень усложняет эксплуатацию автоматов разгрузки, так как реле частоты получаются не взаимозаменяемыми.

2. Большая погрешность от колебания приложенного напряжения; так, при изменении напряжения от 80 до 120 в частота срабатывания изменяется до 0,6 пер/сек. Это приводит к увеличенным диапазонам между отключаемыми очередями или к неправильной работе. Как в первом, так и во втором случае не представляется возможным выполнить автоматическую разгрузку в соответствии с решениями Технического управления МЭС.

3. Большая температурная погрешность (до 0,6 пер/сек), что может привести к неправильной работе автоматов.

4. При частоте срабатывания давление на контактах равно нулю, в силу чего они искрят. Медленный процесс аварийного снижения и послеаварийного восстановления частоты в энергосистемах еще более ухудшает условия работы контактов. Опыт показывает, что без применения специальных усложненных схем автоматы отказывают в работе даже при частоте на 1,5 пер/сек ниже частоты трогания (Калининэнерго).

5. Большое время срабатывания. К тому же оно в большой степени зависит от установки по шкале, что затрудняет селективную настройку отключения очереди.

6. Сравнительно большое потребление реле.

На основании сказанного ряд энергосистем и в первую очередь Мосэнерго приходят к правильному выводу о том, что дальнейшее внедрение в эксплуатацию реле типа ЭЧ следует признать нежелательным.

Реле RF имеет следующие параметры: диапазон возможных уставок 3—5 пер/сек; потребление 17—19 в; погрешность по напряжению при изменении от 80 до 120 в равняется 1 пер/сек, при настройке, рекомендованной ЦНИЭЛ, погрешность значительно меньше (до 0,2 пер/сек); температурная погрешность при изменении температуры на 20°С не превосходит 0,15—0,2 пер/сек.

На основании опыта эксплуатации можно отметить следующие основные недостатки реле типа RF:

1. Очень чувствительно к вибрациям. В силу этого нельзя устанавливать на обычных металлических панелях вместе с реле времени и промежуточными реле.

2. Очень чувствительно к перекосам, поэтому требуется весьма точная установка по отвесу. Неправильная установка реле ведет к значительным погрешностям в характеристиках. В силу этого наладка, настройка и эксплуатационная проверка реле требуют большой затраты времени и труда.

3. Реле не имеет шкалы уставок, и поэтому при изменении уставки требуется полная перерегулировка реле.

4. Реле может неправильно сработать при включении, отключении и перегорании предохранителей в цепи трансформаторов напряжения. Для устранения указанного недостатка должна вводиться дополнительная выдержка времени, что усложняет схему автомата.

5. Реле может неправильно сработать при внезапных снижениях напряжения (при коротких замыканиях).

6. Сравнительно большое потребление реле.

7. При частоте срабатывания давление на контактах равно нулю.

Указанные недостатки снижают эксплуатационную надежность реле, ведут к усложнению схемы автомата и являются причиной неправильной работы автоматов АРЧ. Желательно также реле типа RF заменить более совершенным и надежным.

Отсутствие в настоящее время освоенного в производстве заводами удовлетворительного реле понижения частоты приводит к необходимости временно эксплуатировать реле типов ЭЧ и RF. Устранение некоторых из указанных недостатков было достигнуто применением специальных схем включения реле частоты.

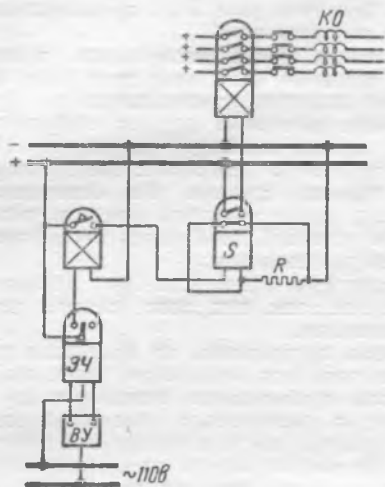


Рис. 1. Принципиальная схема автомата разгрузки по частоте с реле типа ЭЧ (схема Мосэнерго).

Опыт эксплуатации показывает, что при применении реле типа ЭЧ наиболее приемлемой является схема Мосэнерго (рис. 1). Реле времени в данной схеме должно быть термически устойчивым. Выдержка времени на возврат промежуточного реле должна быть порядка 0,1—0,2 сек., чтобы предотвратить неправильное действие автоматического устройства при восстановлении предохранителей. Потребление промежуточного реле с замедленным возвратом должно быть минимальным во избежание сильного подгорания контактов реле частоты.

В автоматах разгрузки с реле RF при настройке, устраняющей зависимость от напряжения, необходимо иметь реле минимального напряжения; в этом случае может применяться схема, приведенная в информационном письме ЦНИЭЛ № Ц-1 (фиг. 6), а также схема Донбассэнерго (рис. 2). В последней схеме контакты реле RF работают в более благоприятных условиях. Реле времени также должно быть термически устойчивым.

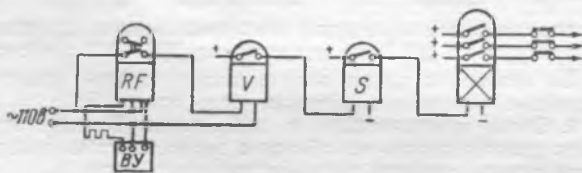


Рис. 2. Принципиальная схема автомата разгрузки по частоте с реле типа RF (схема Донбассэнерго).

Несмотря на то, что с применением специальных схем удалось частично устранить некоторые недостатки реле ЭЧ и RF, все же автоматы с данными реле не удовлетворяют эксплуатации и требуют замены в них реле более совершенными и надежными.

Канд. техн. наук А. Г. Москалев

Изменение характеристики холостого хода возбудителя Е-51

В качестве генератора собственных нужд на электростанции работал генератор завода «Электросила» типа Т-2110/70 3 000 квт с возбудителем типа Е-51.

Нормальной схемой возбуждения для таких генераторов являлась схема с магнитным регулятором. Однако с точки зрения надежности эксплуатации наличие магнитного регулятора является нежелательным, — в цепи возбуждения появляются лишние кабели, соединяющие возбудитель с магнитным регулятором; магнитный регулятор вводит в цепь возбуждения ряд контактов, увеличивающих вероятность неполадок; на пульте управления генератора имеются два штурвала для регулировки, что усложняет действия дежурного персонала. Поэтому Техническое управление МЭС рекомендует исключить из схемы возбуждения магнитный регулятор.

Однако в данном случае простое исключение из схемы магнитного регулятора было невозможно, так как характеристика холостого хода возбудителя Е-51 почти на всем диапазоне его работы (от 35 в при холостом ходе генератора до 85 в при полной нагрузке) совпадает с прямой линией и, следовательно, является неустойчивой.

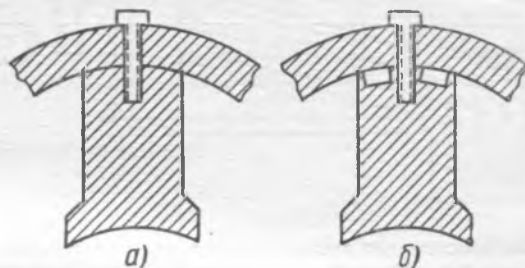


Рис. 1. Профиль полюсов до переделки (а) и после переделки (б).

Для возможности исключения из схемы магнитного регулятора требовалось изменить характеристику холостого хода возбудителя так, чтобы насыщение в магнитной цепи возбудителя начиналось до рабочего диапазона напряжений возбудителя. С этой целью в полюсах возбуди-

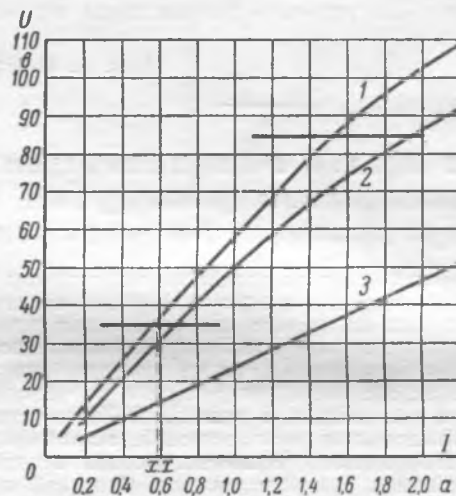


Рис. 2. Характеристика возбудителя генератора собственных нужд при холостом ходе.

1—снятая до переделки; 2—снятая после переделки; 3—снятая при $R_{дол} = 23 \text{ ом}$.

теля были сделаны вырезы в месте примыкания полюсов к ярму, как показано на рис. 1. Этим действием удалось изменить характеристику возбудителя в требуемом направлении. Старая и новая характеристики приведены на рис. 2.

Работа возбудителя с такой магнитной системой без магнитного регулятора получилась вполне устойчивой, удовлетворяющей требованиям эксплуатации.

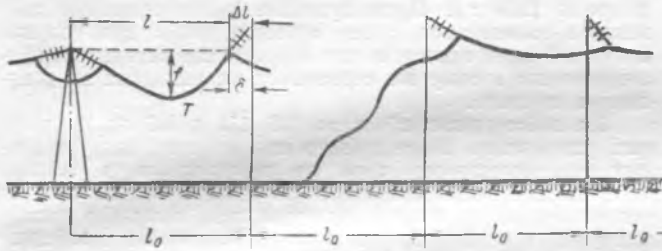
Инж. В. Н. Гуревич

Расчет габаритов при обрыве проводов

«Правилами устройства электротехнических установок» (Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1000 в) разрешается применение промежуточных опор в населенной местности и на пересечениях некоторых других линий. Однако указываемые «Правилами» габариты в пролете должны быть проверены расчетным путем при условии обрыва провода в соседних пролетах, допуская их снижение. Ниже приводится метод расчета, дающий требуемые результаты при относительно малой затрате времени.

Рассматривается случай обрыва провода в анкерном пролете с несколькими промежуточными опорами на участке трассы, идущем по населенной местности (следующие ниже выводы и формулы действительны и для расчета габаритов до пересекаемых линий).

Очевидно, что в отличие от расчетной схемы обрыва для определения тяжения на промежуточную опору с учетом отклонения гирлянды в данном случае расчетным явится обрыв не в первом, а во втором пролете, считая от анкерной опоры (см. рисунок).



Обрыв во втором пролете дает максимальный из возможных при обрывах в других пролетах провесов, причем этот максимальный провес имеет место в первом от анкерной опоры пролете. Общеизвестны соотношения¹

$$\delta = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{\sqrt{(g_{np} + 0,5g_{zup})^2 + \Delta T^2}}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{l\gamma^2}{24(L_0 - l)}}, \quad (2)$$

где λ — длина гирлянды, м;
 g_{np} — вес пролета провода, кг;

¹ См. А. А. Глазунов, Электрические сети, Механическая часть. Госэнергоиздат.

g_{zup} — вес гирлянды изоляторов, кг;

γ — удельная нагрузка, зависящая от метеорологических условий, сопутствующих обрыву по Правилам, кг·м·мм²;

L_0 — длина провода, м;

ΔT — разность тяжений в смежных пролетах, кг; значения $l, \Delta l, \delta, T, f, l_0$ ясны из рисунка;

$\sigma = \frac{T}{q}$, где q — сечение провода в мм²,

$$\Delta l = l_0 - l.$$

И вот, если присмотреться к схеме, можно вывести имеющие место в данном случае такие соотношения:

$$\Delta l = \delta \quad (3)$$

$$\Delta T = T, \quad (4)$$

которые и позволяют просто решить задачу.

При наличии расчета по определению тяжения провода на промежуточную опору при обрыве, что, как правило, и имеет место, можно на основании соотношений (3) и (4) определить Δl и T по точке пересечения кривых $\delta = f(\Delta T)$ и $T = \varphi(\Delta l)$ из упомянутого расчета.

Далее — по T находим $\sigma = \frac{T}{q}$;

по σ и Δl определяем $f = \frac{\gamma(l_0 - \Delta l)^2}{8\sigma}$.

Отсюда и габарит — $G = H - f$, где H — высота точки крепления провода на опоре.

Если почему-либо расчет по определению тяжения провода на промежуточную опору при обрыве отсутствует, то решение задачи может быть произведено аналитическим путем.

Перепишем уравнения (1) и (2) с учетом соотношений (3) и (4):

$$\Delta l = \frac{\lambda \cdot T}{\sqrt{(g_{np} + 0,5g_{zup})^2 + T^2}}, \quad (1a)$$

$$T = q \sqrt{\frac{(l_0 - \Delta l)^2 \gamma^2}{24(L_0 - l_0 + \Delta l)}}. \quad (2a)$$

В последних двух уравнениях 2 неизвестных (T и Δl), которые и определяются решением этих уравнений (удобнее других — методом подбора). Далее определяются σ, f и G , как и в первом случае.

Инж. М. Д. Глейзер

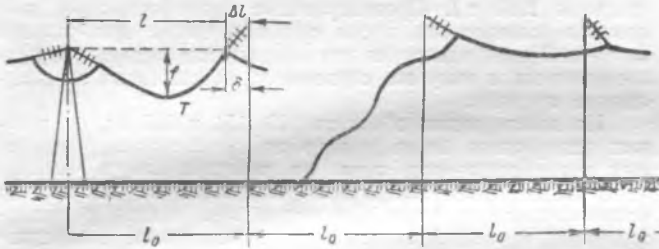


Расчет габаритов при обрыве проводов

«Правилами устройства электротехнических установок» (Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1000 в) разрешается применение промежуточных опор в населенной местности и на пересечениях некоторых других линий. Однако указываемые «Правилами» габариты в пролете должны быть проверены расчетным путем при условии обрыва провода в соседних пролетах, допуская их снижение. Ниже приводится метод расчета, дающий требуемые результаты при относительно малой затрате времени.

Рассматривается случай обрыва провода в анкерном пролете с несколькими промежуточными опорами на участке трассы, идущем по населенной местности (следующие ниже выводы и формулы действительны и для расчета габаритов до пересекаемых линий).

Очевидно, что в отличие от расчетной схемы обрыва для определения тяжения на промежуточную опору с учетом отклонения гирлянды в данном случае расчетным явится обрыв не в первом, а во втором пролете, считая от анкерной опоры (см. рисунок).



Обрыв во втором пролете дает максимальный из возможных при обрывах в других пролетах провесов, причем этот максимальный провес имеет место в первом от анкерной опоры пролете. Общеизвестны соотношения¹

$$\delta = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{\sqrt{(g_{np} + 0,5g_{zup})^2 + \Delta T^2}}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{T\gamma^2}{24(L_0 - l)}}, \quad (2)$$

где λ — длина гирлянды, м;
 g_{np} — вес пролета провода, кг;

g_{zup} — вес гирлянды изоляторов, кг;

γ — удельная нагрузка, зависящая от метеорологических условий, сопутствующих обрыву по Правилам, кг·м·мм²;

L_0 — длина провода, м;

ΔT — разность тяжений в смежных пролетах, кг;
 значения l , Δl , δ , T , f , l_0 ясны из рисунка;

$$\sigma = \frac{T}{q}, \text{ где } q \text{ — сечение провода в мм}^2,$$

$$\Delta l = l_0 - l.$$

И вот, если присмотреться к схеме, можно вывести имеющие место в данном случае такие соотношения:

$$\Delta l = \delta \quad (3)$$

и

$$\Delta T = T, \quad (4)$$

которые и позволяют просто решить задачу.

При наличии расчета по определению тяжения провода на промежуточную опору при обрыве, что, как правило, и имеет место, можно на основании соотношений (3) и (4) определить Δl и T по точке пересечения кривых $\delta = f(\Delta T)$ и $T = \varphi(\Delta l)$ из упомянутого расчета.

Далее — по T находим $\sigma = \frac{T}{q}$;

по σ и Δl определяем $f = \frac{\gamma(l_0 - \Delta l)^2}{8\sigma}$.

Отсюда и габарит — $\Gamma = H - f$, где H — высота точки крепления провода на опоре.

Если почему-либо расчет по определению тяжения провода на промежуточную опору при обрыве отсутствует, то решение задачи может быть произведено аналитическим путем.

Перепишем уравнения (1) и (2) с учетом соотношений (3) и (4):

$$\Delta l = \frac{\lambda \cdot T}{\sqrt{(g_{np} + 0,5g_{zup})^2 + T^2}}, \quad (1a)$$

$$T = q \sqrt{\frac{(l_0 - \Delta l)^2 \gamma^2}{24(L_0 - l_0 + \Delta l)}}. \quad (2a)$$

В последних двух уравнениях 2 неизвестных (T и Δl), которые и определяются решением этих уравнений (удобнее других — методом подбора). Далее определяются σ , f и Γ , как и в первом случае.

Инж. М. Д. Глейзер



¹ См. А. А. Глазунов, Электрические сети, Механическая часть, Госэнергоиздат.

ХРОНИКА

В Техническом управлении Министерства

О дополнении п. 6 „Инструкции о мерах безопасности при про- изводстве профилактических испытаний в устройствах высо- кого напряжения с подачей вы- сокого напряжения от посторон- него источника тока“

Техническое управление МЭС и Техническая инспекция профсоюза рабочих электростанций вынесли следующее, утвержденное президиумом ЦК профсоюза, решение (№ 30/Э от 20 июня 1950 г.) о добавлении к п. 6 «Инструкции о мерах безопасности при производстве профилактических испытаний в устройствах высокого напряжения с подачей высокого напряжения от постоянного источника тока» (см. № 83 «Сборника директивных материалов Технического отдела МЭС СССР», Электрическая часть, ГЭИ, 1950 г.):

К концу 2-го абзаца п. 6 «Инструкции» добавить:

«За исключением случаев вывода из схемы испытуемого оборудования, т. е. полного демонтажа его спусков, ошиновки и т. д.».

О сокращении количества отдельных трансформаторов тока 110 ÷ 220 кВ

В связи с внедрением воздушных и малообъемных масляных выключателей, не имеющих встроенных трансформаторов тока, в настоящее время проектируются и устанавливаются отдельные трансформаторы тока типа ТНФ и др. При этом из-за наличия в отдельных трансформаторах тока только двух сердечников и необходимости разделять цепи некоторых защит и измерений в ряде случаев проектируются и устанавливаются по два комплекта трансформаторов тока на выключатель.

Техническое управление МЭС считает (решение № 29/Э от 13 июня 1950 г.) такую практику неправильной, ведущей к необоснованному удорожанию установок и к увеличению потребного количества дефицитного высоковольтного оборудования, и предлагает:

1. Во всех случаях установки отдельных трансформаторов тока 110, 154 и 220 кВ и при недостаточном количестве сердечников ставить только по одному комплекту этих трансформаторов на выключатель.

2. При необходимости размножение цепей выполнять на вторичной стороне трансформаторов тока путем включения на один из сердечников или на каждый сердечник двух-трех промежуточных трансформаторов тока (в зависимости от необходимости разделения цепей и величины потребления в токовых цепях защиты).

3. Для повышения надежности работы основных трансформаторов тока промежуточные трансформаторы тока устанавливать в непосредственной близости от основных, не включать никаких реле и приборов непосредственно во

вторичную цепь основного трансформатора, питающую промежуточные трансформаторы. При отсутствии заводских промежуточных трансформаторов тока изготавливать их на месте по разработке ТЭП (см. «Отчет по разработке и испытанию промежуточного трансформатора тока для защиты к трансформатору тока типа ТФН», инв. № 2695/Э, февраль 1950 г.). Промежуточные трансформаторы тока должны выполняться таким образом, чтобы при разрыве вторичной цепи одного из них погрешность остальных, присоединенных к тому же сердечнику, не выходила за допустимые пределы.

На действующих объектах 110, 154 и 220 кВ, на которых установлено более чем по одному комплекту отдельных трансформаторов тока на выключатель, в течение 1950 г. перевести защиту и измерения на питание от одного комплекта трансформаторов тока помощью промежуточных трансформаторов тока с тем, чтобы освободившиеся высоковольтные трансформаторы тока использовать на других объектах.

О заземлении фазы, по которой осуществляется высокочастот- ная передача

В дополнение гл. II, ч. 1 «Правил безопасности при эксплуатации воздушных линий высокого напряжения» Техническое управление МЭС и Техническая инспекция ЦК профсоюза рабочих электростанций приняли следующее решение (№ 31/Э от 20 июня 1950 г.), утвержденное президиумом ЦК профсоюза:

При производстве работ на отключенных линиях электропередачи 110, 152, 220 кВ, по которым осуществляется высокочастотное телефонирование и телемеханика, допускается выполнение на месте работ заземления фазы по которой осуществляется высокочастотная передача через переносные заземляющие заградители (дроссельные катушки).

Заземляющие заградители должны удовлетворять следующим условиям:

1) падение напряжения на заградителе не должно превышать $150 \text{ в}_{эфф}$ при максимально допустимом для данного заградителя токе короткого замыкания;

2) заземление, осуществленное помощью заземляющего заградителя, не должно быть нарушено в результате динамического или термического воздействия токов короткого замыкания.

Новые технические условия на трубы для котлов и трубопро- водов высокого давления

Министерством металлургической промышленности совместно с министерствами тяжелого машиностроения и электростанций разработаны и утверждены в июне 1950 г. новые технические условия на трубы высокого давления.

Новые технические условия МПТУ-2579-50 заменяют собой технические условия ТУ-777 и распространяются на

бесшовные трубы для поверхностей нагрева котлов и перегревателей высокого давления. Против старых технических условий ТУ-777 несколько расширен сортамент труб по наружному диаметру и особенно по толщине стенки.

Технические условия МПТУ-2580-50 заменяют ТУ-778 и 779 и распространяются на толстостенные бесшовные трубы из легированной и углеродистой стали для всех трубопроводов и коллекторов установок высокого давления. Размеры труб, изготавливаемых по МПТУ-2580-50, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Размер труб, мм	
	Наружный диаметр	Толщина стенки
Из катаной заготовки	114÷121	До 20
	127÷133	25
	140÷159	30
	168÷180	35
	194	40
	219	45
Из ковальной, ободранной и сверленной заготовки	245; 273; 299; 325	55
	245, 273, 299, 325, 351, 377, 426	60

Паропроводные трубы поставляются длиной от 5 до 12 м.

В отличие от ранее действовавших технических условий в новые технические условия введены трубы новой марки стали 12 МХ (углерод не более 0,15; кремний — 0,15÷0,30; хром — 0,4÷0,6; в остальном как 15М).

В целях уменьшения склонности сталей к графитизации новые технические условия предусматривают при раскислении стали алюминием расход его не более 0,25 кг/т для молибденовых сталей и не более 0,5 кг/т для хромо-молибденовых сталей.

В МПТУ 2579-50 и 2580-50 ужесточены нормы плавленного контроля по макроструктуре на 1 балл; предусматривается проба на аномальность структуры металла труб (на величину аустенитового зерна). В технические условия изготовления легированных труб внесены новые требования — обязательная обдирка катаной заготовки для удаления поверхностных трещин, подкорковых пузырей и прочих пороков. Катаная заготовка труб углеродистой стали подлежит зачистке от наружных пороков.

Механические свойства металла труб, поставляемых по новым техническим условиям, не отличаются от ранее принятых в ТУ-777.

Механические свойства для стали марки 12МХ, принятые до накопления опыта факультативно, приведены ниже:

Предел прочности, кг/мм ²	не менее 42
Предел текучести, кг/мм ²	не менее 26
Относительное удлинение:	
а) для 10-кратного образца, не менее:	
на продольных образцах	18
на поперечных образцах	—
б) для 5-кратного образца, не менее:	
на продольных образцах	21
на поперечных образцах	19
Поперечное сужение, % не менее:	
на продольных образцах	45
на поперечных образцах	45
Ударная вязкость, кг/см ² , не менее:	
на продольных образцах	7
на поперечных образцах	5
Твердость по Бринелю:	
диаметр отпечатка не менее	4,8

Все легированные трубы, поставляемые как по МПТУ 2579-50, так и по МПТУ 2580-50, должны пройти термическую обработку, которая должна обеспечить однородность структуры металла.

Трубы углеродистой стали могут поставляться без обработки при условии сохранения температуры конца проката не ниже 875°С и удовлетворения требований по структуре и по механическим свойствам стали.

Холоднокатанные и холоднотянутые трубы, изготавливаемые по МПТУ 2579-50, подвергаются термообработке в баллонах.

Новые технические условия предъявляют повышенные требования к внешнему виду труб. Как на наружной, так и на внутренней поверхности труб не допускаются пленки, трещины, закаты, глубокие риски. Замеченные подобные дефекты подлежат удалению путем зачистки. На поверхности труб не допускается окалина; для полного удаления окислы и возможности тщательного осмотра все трубы, отожженные на подду, подвергаются травлению, что не было предусмотрено в ранее действующих технических условиях. На холоднотянутых и холоднокатанных трубах, отожженных в баллонах, допускается легкая окалина, удаляемая наждачной бумагой и не препятствующая осмотру труб.

МПТУ 2579-50 почти не отличаются по допускаемым отклонениям от номинальных размеров труб от старых ТУ-777. Допуски на размеры труб по МПТУ 2580-50 отличаются от ранее действующих ТУ-778 и 779, как это видно из табл. 2.

По сравнению с ранее действовавшими техническими условиями в новых МПТУ 2579-50 и 2580-50 несколько уточнены разделы о методах химического анализа и испы-

Таблица 2

	ТУ-778 и ТУ-779	МПТУ 2580-50
По наружному диаметру	± 1,5%	Для труб диаметром 114÷219 мм: + 1,25%, — 1% Для труб диаметром 245÷426 мм: + 1,5%, — 1%
По толщине стенки	+ 20% — 10% с согласия заказчика ± 15%	Для труб с толщиной стенки до 20 мм: + 25%, — 5% Для труб с толщиной стенки свыше 20 мм: + 20%, — 5%
По овальности	В одном сечении трубы не более 80% допусков (суммы отклонений) соответственно по наружному диаметру и по толщине стенки	В пределах допускаемых отклонений по наружному диаметру не более 80% суммы допускаемых отклонений по толщине стенки
По разностенности		
По кривизне:		
при толщине стенки до 20 мм	Не более 2 мм на 1 пог. м	Не более 1,5 мм на 1 пог. м
при толщине стенки более 20 и до 30 мм	Не более 3 мм на 1 пог. м	Не более 3 мм на 1 пог. м
при толщине стенки более 30 мм	Не более 5 мм на 1 пог. м	Не более 5 мм на 1 пог. м
Общая стрела прогиба для коллекторных труб	Не более 15 мм на 1 пог. м	Не более 15 мм на 1 пог. м

таний и о технологических пробах. Каждая труба, изготовленная из стали марок 15М, 20М, 12МХ и 15ХМ, подвергается контролю на молибден капельной пробой, а на хром — стилоскопом. Оценка загрязненности металла немагнитными включениями производится по шкале ГОСТ 1778-42.

Технологическими пробами считаются: проба на сплюсывание, испытание на раздачу и гидравлическое испытание.

Предусматривается такая же, что и в старых технических условиях, окраска одного конца трубы, а для новой марки стали 12МХ установлены цвета зеленый + белый.

Инж. С. П. Гончаров

Научно-исследовательские работы ЦНИЭЛ

В конце 1944 г. при Наркомате электростанций была организована Центральная научно-исследовательская электротехническая лаборатория (ЦНИЭЛ) — с правами научно-исследовательского института.

Перед лабораторией была поставлена задача: обобщить большой опыт эксплуатации и достижения передовиков-новаторов в энергетике, разработать и внедрять новые, наиболее совершенные методы эксплуатации, профилактики и защиты электрооборудования энергосистем.

Поставленные задачи определили характер и направление научно-исследовательских работ ЦНИЭЛ. Нельзя было ограничиться только теоретическими и чисто лабораторными исследованиями. Был выбран путь проведения массовых экспериментов в реальных условиях энергосистем и анализа практического опыта эксплуатации.

Прошедшие годы с момента организации ЦНИЭЛ подтвердили правильность ориентации на тесную связь с эксплуатацией, на использование передового опыта и на проверку и смелое внедрение новых передовых разработок.

Улучшение профилактики и эксплуатации электротехнических машин

Работы в области профилактики. В 1945 г. был разработан простой метод расчета намагничивающей обмотки для сушки трансформаторов в собственном кожухе индукционным методом, который в настоящее время широко используется в эксплуатации.

ЦНИЭЛ изучила, проверила в условиях эксплуатации и рекомендовала методы сушки генераторов в неподвижном состоянии: методом потерь в стали статора при вынужденном и вставленном роторе и методом потерь в роторе, которые создаются в нем постоянным током, протекающим через обмотку, или токами, индуктированными в стали бочки ротора.

Сушка этими методами оказалась значительно экономичнее сушки на оборотах: ускоряется ввод в эксплуатацию оборудования, монтаж которого закончен, и устраняется работа турбины в режиме холостого хода.

Технический совет при Министре Электростанций рекомендовал эти методы сушки, и они теперь широко применяются энергосистемами и монтажными организациями.

Московским трансформаторным заводом им. В. В. Куйбышева на основе экспериментов был предложен метод контроля влажности изоляции по изменению емкости от температуры. Теоретическое и экспериментальное изучение ЦНИЭЛ этого метода показало, что он может быть рекомендован для трансформаторов и вращающихся машин с изоляцией класса А и непригоден для миканитовой изоляции. Было установлено, что измерения емкости должны производиться на промышленной частоте, и доказана целесообразность применения для этой цели звуковых частот.

На основании теоретических и экспериментальных данных был сделан вывод, что возможен иной, более удобный в условиях эксплуатации метод контроля влажности изоляции по изменению емкости от частоты при неизменной температуре, не прибегая к нагреву испытуемого объекта. Разработан прибор для контроля влажности изоляции по этому методу, позволяющий производить измерения емкости изоляции без нагрева при частотах 2 и 50 пер/сек с целью определения влажности ее при 15—20°С. Эти приборы выпущены ЦНИЭЛ мелкой серией для ряда энергосистем и передаются в заводское производство.

Самосинхронизация генераторов. До последнего времени включение синхронных генераторов на параллельную работу производилось по методу так называемой точной синхронизации. Автоматизация процесса включения по этому методу сложна.

Указанного недостатка лишено включение генератора по методу самосинхронизации. Хотя этот способ включения давно известен, но теоретически и экспериментально он не был достаточно изучен. Он применялся только в редких случаях для гидрогенераторов мощностью до 5000 кВт, снабженных успокоительными обмотками. Испытания, проведенные ЦНИЭЛ и энергосистемами на различных турбогенераторах мощностью от 1 до 50 тыс. кВт и гидрогенераторах мощностью от 1 до 55 тыс. кВт, показали, что этот метод включения может применяться как для турбогенераторов, так и для гидрогенераторов, причем наличие успокоительной обмотки не обязательно. Техническим советом и Техническим управлением МЭС этот метод рекомендован к внедрению в эксплуатацию.

Упрощение схем пуска и повышение надежности работы синхронных компенсаторов и двигателей. Существовавшие схемы пуска синхронных компенсаторов и двигателей при помощи автотрансформатора или разгонного двигателя сложны и требуют большого количества аппаратуры и реле.

Исследования ЦНИЭЛ показали, что возросшая мощность систем и внедрение автоматической регулировки возбуждения позволяют в большинстве случаев отказаться от автотрансформаторного пуска и применять схему прямого пуска или пуска через реактор с приключенным возбудителем. При этом упрощаются схемы первичной коммутации и автоматика, повышается надежность работы установки и упрощается ее обслуживание. Синхронные двигатели, как правило, снабжаются защитой минимального напряжения без выдержки времени, и поэтому при посадках напряжения в сети происходит массовое их отключение. Исследования показали, что защита должна иметь выдержку времени порядка 5—10 сек., двигатели должны иметь форсировку возбуждения, а при помощи несложной релейной схемы может быть осуществлена ресинхронизация и самозапуск синхронных двигателей после посадки напряжения в системе.

Асинхронные режимы турбогенераторов. До 1946 г. широко было распространено мнение о том, что турбогенератор не может оставаться приключенным к сети, если по какой-либо причине произошла потеря возбуждения, и требовалось немедленное отключение его от сети. Опыты, проводимые ЦНИЭЛ и энергосистемами на турбогенераторах мощностью от 1 до 50 тыс. кВт, показали, что турбогенератор, имеющий цельнокованный массивный ротор, при потере возбуждения, как правило, может работать в асинхронном режиме и нести активную нагрузку порядка 50—70% от номинальной, если только напряжение на его зажимах не понижается слишком сильно из-за недостатка реактивной мощности в энергосистеме. Установка на генераторах и синхронных компенсаторах автоматических регуляторов напряжения и устройств форсировки возбуждения обеспечивает во многих энергосистемах возможность покрытия дефицита реактивной мощности, получаемого в случае потери возбуждения на одном из генераторов. Поэтому в большом числе случаев асинхронный режим может быть допущен и по условиям работ энергосистемы. Технический совет отметил большое практическое значение этой работы для эксплуатации, а ряд энергосистем уже неоднократно использовал в случаях потери возбуждения возможность работы генераторов в асинхронном режиме.

Переделка фазных двигателей. Сложность эксплуатации и высокая аварийность фазных двигателей, установленных на оборудовании электростанций, вызвала необходимость переделки этих двигателей в короткозамкнутые. В ЦНИЭЛ была разработана простая методика расчета и переделки двигателей без изменения формы роторных пазов с использованием меди фазной обмотки; все связанные с этим работы могут быть осуществлены силами персонала электростанций.

Защиты генераторов, трансформаторов и линий

Токовое высокочувствительное реле без подвижных систем. В 1947 г. в ЦНИЭЛ разработана схема высокочувствительного токового реле без подвижных систем с применением магнитных усилителей.

Чувствительность разработанных ЦНИЭЛ бесконтактных реле значительно превышает чувствительность всех существующих электромеханических реле. По-новому был решен ряд актуальных вопросов релейной защиты с применением разработанных ЦНИЭЛ кабельных трансформаторов тока нулевой последовательности с кольцевым пермаллоевым сердечником в сочетании с реле указанного выше типа. Стало возможным осуществление надежной и чувствительной токовой защиты генераторов от замыканий на землю, с использованием емкостных токов небольшой величины взамен защиты максимальной мощности нулевой последовательности с компенсацией тока небаланса, требующей значительных активных токов замыканий на землю.

Защита генератора от замыканий на землю находится в эксплуатации с начала 1948 г. и изготовлена в ЦНИЭЛ для Кировэнерго, Латвэнерго, Мосэнерго, Крымэнерго и Белорусэнерго.

Получилась возможность выполнить чувствительную защиту линий от замыканий на землю с использованием емкостного тока порядка 1—2 а, которая необходима, например, на линиях, питающих торфоразработки, где важно по условиям техники безопасности иметь малые токи замыкания на землю. Техническим управлением МЭС эти защиты рекомендованы для установки на действующих и вновь строящихся электростанциях.

Постановлением Совета Министров СССР эта работа удостоена Сталинской премии.

Повышение надежности работ дифференциальных защит. Анализ эксплуатации релейной защиты в энергосистемах показывает, что дифференциальные защиты имеют еще достаточно высокий процент неправильного действия. Большинство неправильных действий дифференциальных защит происходит из-за больших токов небаланса, вызванных погрешностями трансформаторов тока при переходных процессах.

Для отстройки от токов небаланса было предложено применять вспомогательные быстро насыщающиеся трансформаторы тока.

ЦНИЭЛ исследовала в энергосистемах причины больших токов небаланса, возникающих в цепях дифференциальных защит при переходных процессах, что позволило разработать быстро насыщающиеся трансформаторы с такими параметрами, при которых уже при токе трогания защиты аperiodическая составляющая, содержащаяся в токах переходных процессов, практически не трансформируется на вторичную сторону, а периодическая составляющая значительно уменьшается. Чувствительность защиты при этом может быть обеспечена для генераторов порядка 30—50%, а для трансформаторов — порядка 100—150% от номинального тока.

ЦНИЭЛ выпущена серия реле с быстро насыщающимися трансформаторами, которые используются более чем в 20 энергосистемах МЭС в дифференциальных защитах генераторов и трансформаторов. В энергосистемы разосланы информационные материалы, что позволило организовать производство реле непосредственно на местах для замены устаревших типов дифференциальных защит более совершенными.

Постановлением Совета Министров СССР эта работа удостоена Сталинской премии.

Высокочастотная дифференциально-фазная защита линий. Эта защита не требует питания от трансформаторов напряжения и блокировки при качаниях и имеет преимущества перед другими на линиях с пофазным отключением. Дифференциально-фазная защита может оставаться включенной и продолжает правильно защищать линию при ее работе двумя фазами, например, во время цикла пофазного АПВ. Принципы этой защиты не новы и известны из литературы с 1927 г. Высокочастотная дифференциально-фазная защита ЦНИЭЛ по своим параметрам и простоте схемы обладает рядом существенных преимуществ перед защитами, известными из иностранной литературы и используемыми этот принцип. Эта защита проста в наладке и эксплуатации. В ней применен стандартный отечественный высокочастотный пост, предназначенный для работы с направленными защитами с высокочастотной блокировкой, разработанный в ЦНИЭЛ, а затем с некоторыми изменениями принятый к производству на одном из ленинградских заводов. Защита обладает высокой чувствительностью ко всем видам несимметричных коротких замыканий. Время действия защиты для линий, покрытых тросами, равно $1,5 \div 2$ пер., для линий с разрядниками — $3,5 \div 4$ пер.

Эта защита введена в промышленную эксплуатацию в Мосэнерго, которое для своей системы изготавливает по материалам ЦНИЭЛ серию комплектов такой защиты.

Исследование грозозащиты линий. Исследование грозозащиты охватило данные трех грозовых сезонов. Выявилась необходимость по иному подходить к исчислению уровней грозоупорности. Получена новая кривая вероятности токов молнии, проходящая значительно ниже принимавшейся до этого. Определены уровни грозоупорности тросовых линий и выявлена вероятность прямого поражения проводов, минуя тросы, при различных защитных углах. Для бестросовых линий с деревянными опорами установлена решающая роль самопогасания дуги, было установлено, что условия самопогасания дуги до сих пор учитывались совершенно недостаточно.

Исследование защиты трубчатыми разрядниками показало их ограниченную эффективность в силу недостаточности шунтирующего действия и опасности затяжного гашения при параллельной работе нескольких трубок. Показатели работы линии на деревянных опорах при защите трубчатыми разрядниками оказываются близкими к показателям линий, использующих лишь изоляцию дерева. Выявилась нецелесообразность их применения для массовой защиты линий, за исключением отдельных точек с ослабленной изоляцией. Установлена большая эффективность автоматического повторного включения линий, которое необходимо рассматривать как одно из основных средств грозозащиты.

Исследование грозозащиты подстанций показало, что при использовании рекомендаций «Руководящих указаний» обеспечивается полная надежность их работы.

Практическим результатом работы по анализу грозозащиты и специально проведенному исследованию открытых дуг явилось предложение применять для защиты линии электропередачи 110 кВ на деревянных опорах вместо троса так называемые координирующие подкосы, обеспечивающие самопогасание возникающих дуг. С 1948 г. такими подкосами были оборудованы сильно поражаемые открытые участки ряда линий одной из энергосистем общей длиной до 300 км. Применение координирующих подкосов дало резкое снижение грозовых отключений, которое видно из следующих данных:

1937 г.	9 отключений
1938 г.	4 отключения
1939 г.*	10 отключений
1940 г.	5 "
1946 г.	7 "
1947 г.	6 "
1948 г.*	1 отключение
1949 г.*	1 "

В соответствии с приказом Министерства в 1949 г. подобными подкосами были оборудованы линии ряда других энергосистем. Несмотря на сильные грозы в 1949 г., в этих энергосистемах не было ни одного грозового отключения. Применение координирующего подкоса позволяет отказаться от защиты тросом линий на деревянных опорах, что значительно удешевляет линии при сохранении высокого уровня грозозащиты, последнее особенно важно для сильно грозовых районов и поражаемых участков, а также для магистральных линий, где подкосы позволяют ориентироваться на пофазное автоматическое повторное включение.

Предупреждения о гололеде

Организовано наблюдение за образованием гололеда на высоковольтных линиях электропередачи. В течение нескольких лет энергетические системы, главные эксплуатационные управления и, в первую очередь, районы, особо подверженные гололеду, получают от ЦНИЭЛ предупредительные сообщения о предполагаемом возникновении гололеда, с указанием его длительности и интенсивности. Для проектных и строительных организаций проведена работа по метеорологическому районированию значительной части СССР в направлении гололедообразования.

Разработка и выпуск новых приборов и аппаратов

Импульсные измерители линий. Приборы для импульсных измерений высоковольтных линий и линий связи, определяющие на расстоянии место и характер повреждений, разработанные и выпущенные мелкой серией в ЦНИЭЛ, а затем одним из московских заводов — круп-

* Сильно грозовые годы.

ной серией, эксплуатируются во всех энергосистемах Министерства электростанций и на многих линиях связи других министерств. Разработаны и выпущены первые опытные образцы аналоговных приборов для кабельных линий, которые находятся в опытной эксплуатации.

Аппаратура телеметрии, телеуправления и телесигнализации. ЦНИЭЛ разработала устройство телеуправления и телесигнализации ВРТ-48, рассчитанное на сигнализацию положения 18 выключателей и управления 9 выключателями. Каналом связи для него могут служить как телефонные пары, так и токи высокой частоты, передаваемые по высоковольтной линии. Эти устройства были изготовлены для Горэнерго, Ивэнерго, а также Узбекэнерго, где ими оборудованы 4 гидростанции. За 10 мес. 1949 г. эти установки произвели 37 000 операций управления и регулирования.

Разработаны, изготовлены и установлены в опытную эксплуатацию в системе Мосэнерго многоканальные высокочастотные посты типа ТМП-48 и ТМД-48, позволяющие обеспечить передачу сигналов телемеханики по линиям электропередачи. Посты показали помехоустойчивость и надежность в эксплуатации и обеспечивают 8 независимых одновременных передач телеизмерений или телесигнализации в одном направлении. Передача сигналов не прерывается даже при ремонтных работах на линии благодаря большому запасам установки и хорошо действующей системе автоматической регулировки усиления. В СССР до сих пор такие посты не изготавливались.

Разработана, изготовлена и установлена в эксплуатацию в ряде энергосистем частотная телеизмерительная система переменного тока, которая позволяет осуществить телеизмерение как по проводам связи, так и по высокочастотным каналам линий электропередачи.

Однополосные дуплексные высокочастотные посты телемеханики — ТДО, разработанные лабораторией связи ЦНИЭЛ, являются первыми в Европе, специально предназначенными для передачи сигналов телеуправления и телесигнализации по проводам высоковольтных линий. Благодаря применению кварцевой стабилизации и кварцевых фильтров они обеспечивают надежную передачу сигналов по наиболее протяженным каналам — до 300—400 км (перекрывают застухание до 7 непер). Скорость передачи — до 30 импульсов/сек. В постах предусмотрена возможность безрелейной модуляции или модуляции несущих частот. Посты могут применяться для передачи частотных систем телеизмерения; в них имеются приспособления для передачи служебного телефонного разговора.

Опытные образцы ТДО успешно работают на высокочастотном канале по линиям 220 кв длиной 300 км с одним обходным устройством.

Кварцевые приемопередатчики высокочастотной защиты типа КНЗ-1, разработанные лабораторией высокой частоты и связи, имеют кварцевую стабилизацию частоты передатчика и однополосный кварцевый фильтр в приемнике. Новые аппараты, обладая вдвое меньшим количеством ламп и большой простотой схемы, обеспечивают такую же дальность передачи, как и серийные приемопередатчики ПВЗ. Благодаря применению узкополосного кварцевого фильтра в приемнике аппарата КПЗ-1, они значительно легче отстраиваются от мешающего действия соседних высокочастотных каналов по сравнению с ПВЗ. Опытные комплекты из двух приемопередатчиков КПВ в 1950 г. включены в эксплуатацию на одной высоковольтной линии.

Усилитель для телефонии. Разработан промежуточный усилитель для телефонии по линии электропередачи высокого напряжения, назначением которого является усиление высокочастотных токов (поднятие уровня передачи) на промежуточных подстанциях высокочастотного канала при сквозном разговоре для повышения надежности работы, помехоустойчивости и увеличения длины канала.

Регуляторы и реле частоты. Разработаны, изготовлены и установлены в эксплуатацию регуляторы и быстродействующие реле частоты. Эти реле необходимы для автоматической разгрузки по частоте. Время срабатывания реле при медленном изменении частоты равно от 0,4 до 0,09 сек., а при скорости изменения частоты 3—4 пер/сек время срабатывания равно нулю.

Приборы для измерения частоты и проверки частотно-измерительных приборов. Для ряда энергосистем разработана и изготовлена

малая серия точных стрелочных частотомеров детекторной системы, которые до сих пор в СССР не изготавливались. Завод «Энергоприбор» в 1949 г. начал серийно выпускать эти приборы.

Разработана и проверена в действии установка для проверки частотомеров, автоматических регуляторов и реле частоты с использованием несущей частоты вещательных радиостанций. Для ряда энергосистем изготовлена мелкая серия таких установок.

Электронный миллисекундомер. Разработан и изготовлен электронный миллисекундомер для проверки и наладки релейной аппаратуры. Прибор питается от сети переменного тока и допускает колебания питающего напряжения на 15—20%. Этот прибор выпущен малой серией для некоторых энергосистем и передан в серийное производство на завод «Энергоприбор».

Приборы для самосинхронизации. Разработаны, изготовлены и проверены в эксплуатационных условиях схемы и устройства для ручного, полуавтоматического и автоматического включения генераторов на параллельную работу методом самосинхронизации.

Для ручной самосинхронизации разработан ламповый усилитель—стабилизатор остаточного напряжения генератора для измерения частоты невозбужденного генератора обычным щитовым вибрационным частотомером.

Для полуавтоматической и автоматической самосинхронизации разработаны реле разности частот индукционного типа на основе реле мощности типа ИМБ или ИМ, с включением их непосредственно на остаточное напряжение генератора.

Для автоматической самосинхронизации гидрогенераторов средней и большой мощности (более 5 тыс. квт) разработан режим пуска по сниженной характеристике механизма регулирования скорости вращения, с последующим импульсом «прибавить» на электродвигатель этого механизма и разгоном до подсинхронной скорости с заданной величиной ускорения, без применения специального уравнивателя частот. Реле разности частот этого типа принято к серийному производству в 1951 г.

Виброизмерительная аппаратура. Для измерения вибрации машин с широким диапазоном скорости вращения (от 60 до 3 000 об/мин) разработаны, изготовлены мелкой серией и переданы для эксплуатации в энергосистемы несколько типов виброизмерительной аппаратуры. Первый тип дает возможность измерять вибрацию тихоходных гидротурбин и получать развертку картины вибрации на фотопленке или фотобумаге. Другие типы дают возможность дистанционного измерения вибрации машин: одна конструкция — до 1 500 об/мин и другая конструкция — до 3 000 об/мин.

Итоги теоретических и экспериментальных работ ЦНИЭЛ показали, что некоторые, казалось бы непреложные, понятия, глубоко вкоренившиеся в практику эксплуатации, были неверны. Представления о режимах работы, характеристиках и предельных параметрах ряда машин и аппаратов основывались на недостаточных знаниях и иногда на принятых «на веру» положениях, навязанных нам далеко не передовой иностранной техникой.

Это относится к асинхронному режиму турбогенераторов, к методу самосинхронизации генераторов, к методу сушки генераторов и трансформаторов после монтажа и ремонта, к некоторым схемам гуска компенсаторов и двигателей, к массовой установке трубчатых разрядников, считавшейся основным грозозащитным мероприятием, широко применявшимся в эксплуатации, и др.

Развитие техники релейной защиты в течение многих лет шло не по пути коренной переработки защитных устройств, а по пути приспособления этих устройств к новым изменившимся условиям. Это приводило к усложнению защиты в целом. Например, постепенное усложнение высокочастотной защиты, основанной на импедансных реле типа НЗ фирмы Вестингауз, привело к тому, что количество элементов, входящих в комплект этой защиты, превысило в некоторых случаях 70.

Широкое обобщение опыта эксплуатации, эксперименты в эксплуатационных условиях, создание новых приборов и аппаратов, обеспечивающих более совершенное управление, защиту энергоустановок и контроль за их работой, дали возможность смело внедрять новые разработки.

Инж. С. М. Гортинский



ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВО ЗА РУБЕЖОМ

Экранные трубы котлов с продольными ответвлениями

Существует несколько типов экранных труб котлов, имеющих обычно сравнительно толстые стенки и большой диаметр. Последнее обстоятельство приводит к ряду конструктивных затруднений при сплошных экранах, так как ввод многочисленных экранных труб в коллекторы требует больших размеров коллекторов или установки двойных коллекторов. На рисунке приведены четыре типа выполнения экранных труб.

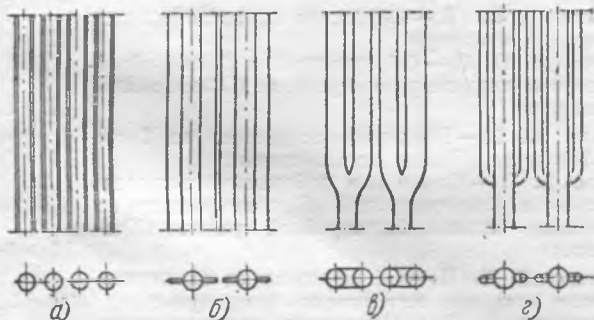
Тип *a* применяется при сплошном экранировании. Такие трубы экрана содержат в себе большое количество воды, вызывающее сравнительно большие потери в период пуска котлоагрегата из-за длительного времени растопки. Эта особенность весьма неблагоприятно сказывается при эксплуатации пиковых котлоагрегатов, почему и значительно снижается экономичность их работы.

Другие два приведенных на рисунке типа экранных труб (*b* и *в*) дают возможность ослабить указанные выше недостатки сплошного экранирования с обычными трубами. Для выполнения сплошного экранирования иногда вдоль экранных труб привариваются плавники (тип *b*) или трубки раздвигаются в виде вилки (тип *в*). В последнем случае трубки объединяются в одну трубку перед самым коллектором.

Новую конструкцию экранных трубок представляет собой тип *г*, примененный на одной шведской электростанции. В этой конструкции две продольные трубы небольшого диаметра привариваются к основной экранной трубе большого диаметра, которая заводится в коллектор экрана. Этим значительно облегчается конструкция каждого коллектора и развальцовка в них экранных труб.

Надежность работы экранов, составленных из таких труб, зависит от устойчивой циркуляции как в главной трубе, так и в продольных ее ответвлениях. Может казаться, что поток воды в главной трубе полностью загрузит потоки воды в ее продольных ответвлениях. Однако практически образование пара в продольных ответвлениях происходит быстрее, чем в главной трубе. Расчет показывает, что экран данного типа, имеющий главные трубы диаметром 102 мм, с двумя продольными ответвлениями на каждой из них, производит 62% пара в главных трубах и 19% в каждой отдельной трубе продольного ответвления.

Экран последней конструкции состоит из главных труб, расположенных друг от друга на расстоянии 200 мм.



Расположение экранных труб.

a — сплошное экранирование обычными гладкими трубами; *b* — экранные трубы с приваренными плавниками; *в* — раздвоенные в виде вилки экранные трубы; *г* — экранные трубы с продольными ответвлениями.

Сечение каждой трубы продольного ответвления составляет только 9,15% от полного сечения, количество же пара, произведенное в ней и отнесенное к единице площади сечения, приблизительно в $2\frac{1}{2}$ раза больше, чем в главной трубе.

Нужно указать, кроме того, и на то, что в продольных трубах, даже при наличии более высоких сопротивлений, чем в главных трубах, циркуляция может быть обеспечена благодаря более интенсивному парообразованию в первых.

Расчет котла паропроизводительностью ~ 30 т/час показал, что кратность циркуляции в продольных ответвлениях достигает 23. Практика эксплуатации такого котла с 1937 г. показала полную надежность работы экранных труб с продольными ответвлениями (Combustion, VII 1950 г.).

Обраб. инж. И. И. Квирин

Исследование явления короны на экспериментальной линии электропередачи 500 кв во Франции

В конце 1946 г. во Франции была введена в эксплуатацию экспериментальная линия электропередачи 500 кв, состоящая из одного пролета длиной 500 м, подвешенного на металлических промежуточных опорах, с высотой подвеса провода в гирлянде в 24 м и междуфазовым расстоянием в 14,5 м.

Провода линии по ее концам закреплены через сдвоенные натяжные гирлянды с помощью закопанных в землю якорей. Подвесные и натяжные гирлянды состоят из 24 изоляторов (диаметром 285 мм и высотой 153 мм) каждая и снабжены защитными кольцами. Линия имеет два горизонтальных троса, расположенных на высоте 14 м над проводами.

О целью исследования влияния диаметра проводов на величину потерь на корону проводились измерения для сталеалюминиевых проводов с наружным диаметром 40, 45 и 50 мм, а также расщепленных проводов, состоящих из двух сталеалюминиевых проводов с наружным диаметром 26,5 мм (сечением 412 мм^2 , в том числе сечением алюминиевых жил 326 мм^2), могущих быть подвешенными как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости.

Питание линии осуществлялось от группы из трех однофазных трансформаторов мощностью $3 \times 106 \text{ кв}$, соединенных по схеме треугольник/звезда с наглухо заземленной нейтралью.

На стороне низшего напряжения 11 кв у трансформаторов предусмотрены устройства с 64 ступенями для переключения ответвлений без нагрузки, позволяющие регулировать напряжение на стороне высшего напряжения в пределах от 308 до 500 кв (междуфазовое) и соответственно от 178 до 289 кв (фазовое).

Кроме описанной линии была сооружена другая однофазная линия длиной 11 м, каждый провод которой помещен внутри заземленной цилиндрической сетки диаметром 2 м, питающаяся от тех же трансформаторов.

С целью изучения влияния плотности воздуха на явление короны были дополнительно сооружены две однофазные линии 230 кв с пролетом 100 м, одна из которых расположена на высоте 92 м, а вторая на высоте 1 830 м над уровнем моря.

В результате проведенных исследований получены следующие выводы:

1. Потери на корону при сухой погоде.

В случае расщепленных проводов (два провода диаметром 26,5 мм на фазу), подвешенных на расстоянии 40 см, потери на корону на 1 км трехфазной линии составляют при напряжении 400 кв — 0,5 квт, 420 кв — 0,7 квт, 440 кв — 1,0 квт, 460 кв — 1,7 квт.

Для одиночного провода диаметром 45 мм эти потери соответственно выше почти в 10 раз.

2. Влияние грозозащитных тросов на величину потерь

Наличие тросов повышает поверхностный градиент на 1—2%, что подтверждается измерениями величины потерь на корону.

3. Потери через гирлянды изоляторов

Суммарные потери, вызываемые наличием гирлянд изоляторов, при работе линии при напряжении 400 кв не превышают 10% от потерь на корону.

4. Потери на корону при плохой погоде

Максимальные величины потерь на корону, наблюдавшиеся за период 16 мес., для двух проводов 26,5 мм на фазу, подвешенных на расстоянии 40 см, составляют на 1 км линий при напряжении 397 кв — 65 квт; 413 кв — 80 квт.

Для одиночного провода диаметром 45 мм эти величины выше примерно в два раза.

При напряжении линии в 400 кв потери энергии на корону в период дождя составляют 40 квтч на 1 км трехфазной линии на 1 мм осадков (для двух проводов на фазу).

5. Влияние плотности воздуха на величину потерь

Потери на корону на 1 км трехфазной линии, работающей при напряжении 400 кв, для двух проводов на фазу, подвешенных на расстоянии 40 см, составляют при отметке относительно уровня моря:

	При сухой погоде	При дожде средней интенсивности
92 м	0,5 квт	12,5 квт
100) "	1,3 "	17,5 "
1830 "	4,5 "	25,0 "

6. Соприкосновение расщепленных проводов в результате механических усилий

В целях предупреждения длительного соприкосновения расщепленных проводов одной фазы в результате электродинамических усилий, вызываемых протеканием номинального тока, и ветровых нагрузок, необходимо предусмотреть распорки. Для пролета длиной 500 м количество распорок составляет при расстоянии между проводами одной фазы:

	Горизонтальное расположение проводов фазы	Вертикальное расположение проводов фазы
30 см	2	1
40 "	2	—
50 "	1	—
60 "	1	—

(Trans. of the AIEE, vol. 67, II, 1948).

Образ. инж. Ю. А. Якуб



Содержание журнала „Электрические станции“ за 1950 г.¹

I. Общие вопросы

Обращение участников Всесоюзного совещания по скоростным ремонтам оборудования ко всем рабочим и инженерно-техническим работникам электростанций, сетей и специализированных ремонтных организаций Министерства электростанций.

Передовая — За успешное завершение послевоенной Сталинской пятилетки

Передовая — Образцово выполнить задание по строительству электростанций и сетей

Передовая — Неуклонно улучшать топливоиспользование на электростанциях

Передовая — Образцово выполнить капитальный ремонт

Передовая — За безаварийную работу электростанций и сетей

Передовая — За снижение стоимости строительства

Передовая — Улучшить работы по автоматизации электростанций и электросетей

Передовая — Выполнить решения Всесоюзного совещания по обмену опытом скоростного ремонта

Передовая — Неуклонно снижать расход электроэнергии на собственные нужды тепловых электростанций

Передовая — Великие стройки коммунизма

Передовая — Использовать передовой опыт для дальнейшего улучшения работы электростанций и сетей

Передовая — От плана ГОЭЛРО к величайшим победам электрификации СССР

Шкуцко Л. А. — Больше внимания вопросам экономики

Энергетики — лауреаты Сталинской премии

II. Вопросы работы энергосистем и станций

Айзенберг Б. Л., Клебанов Л. Д. и Константинов Б. А. — Электрические нагрузки жилых домов Ленинграда VI 36

Белинский С. Я. и Виндман Р. Н. — Некоторые вопросы развития тэц IV 10

Гурьев В. П. и Папир А. Н. — Обратимые гидроагрегаты в энергосистеме VI 14

Дубинчик А. Д. — 25-летие Шатурской государственной районной электростанции им. В. И. Ленина XII 5

Ершов И. Я. и Рябиков С. С. — Опыт повышения к. п. д. теплоэлектроцентрали (Обмен экспл. опытом) XII 44

Залогин Н. Г. — Борьба с абразивным износом оборудования электростанций II 6

Иванов Е. С. — О системе капитальных ремонтов оборудования электростанций XI 27

Кедрин В. М. — О работе с эксплуатационным персоналом электросетей (Обмен экспл. опытом) III 48

Комиссаров Ю. П. — Образцово провести осенне-зимний максимум X 6

Коновалов Ю. М. — Об организации безаварийной работы оперативного персонала (Обмен экспл. опытом) II 57

Ласкин М. Н. — Внедрение хозрасчета на I гэс Ленэнерго (Обмен экспл. опытом) I 50

Лошак Б. О. — Совещание работников энергосистем и электростанций Главцентрэнерго по обмену опытом безаварийной работы (Хроника) XI 57

Медведский Н. И. — Об определении электрических нагрузок сети низкого напряжения VI 38

Мительная Л. М. — Показатели топливоиспользования на электростанциях с высокими параметрами пара XI 23

Михайлов А. П. (рефер.) — Оборудование английских и американских электростанций IX 61

Москалев А. Т.— Из опыта эксплуатации автоматов разгрузки энергосистемы по частоте (Обмен экспл. опытом)	XII	49	Гончаров С. П.— Новые технические условия на трубы для котлов и трубопроводов высокого давления (Хроника)	XII	52
Назаров А. И.— Поведение механизмов собственных нужд электростанций при снижении частоты	X	39	Дерикочма Г. И.— Сооружение железобетонной гиперболической градирни	VI	21
Н. П. Г. (рефер.) — Электростанция Sewaren	III	62	Джурехин П. Ф.— Кислородная рампа, оборудованная индивидуальными редукторами (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II	46
Об инструкции по приемке в эксплуатацию тепловых электростанций (Хроника Техуправления по строит.)	VII	59	Он же — Монтажный железнодорожный электрический кран грузоподъемностью 7,5 т (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VIII	43
Островский Я. М. и Комков П. И. — К вопросу о системе капитальных ремонтов оборудования электростанций	XI	29	Киравковский Н. Ф.— О способах ремонта обрванных фундаментных болтов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	43
О централизованном исполнении ремонта энергетического оборудования (Обсуждение статьи инж. Бронникова, «Электрические станции», № 1, 1949 г.)	VIII	18	Киркор Б. И.— Крупноблочный монтаж металлических конструкций (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII	41
Рыцлин А. М.— Из практики проведения общерайонных аварийных учений в электросетях (Обмен экспл. опытом)	VII	53	Лашук А. В.— Прибор для замера равномерного затягивания болтов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II	47
Сербиновский Г. В.— Электрические нагрузки жилых домов Москвы	VI	39	Лившиц Ш. Г.— Подъем Г-образного крана (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VII	44
Стратонов Н. Г. и Улицкий М. С.— Работа теплового оборудования электростанций при снижении частоты в сети	X	31	Макушин А. В.— Подъем порталного крана (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IV	42
Сыромятников И. А.— Влияние частоты на характеристики центробежных насосов	X	36	Новые технические условия на изготовление и монтаж металлических конструкций (Хроника Техуправления по строит.)	III	59
С. Ф. (рефер.) — Пути развития тепловых электростанций	VI	61	Об изыскании естественных строительных материалов (Хроника Техуправления по строит.)	V	58
Тарасов И. В.— О запасных частях оборудования электростанций	XI	20	Об объеме и содержании проектов организации строительства (Хроника Техуправления по строит.)	I	58
Чупраков Н. М.— Об экономии электроэнергии на обогрев сороудерживающих решеток гидростанций	VI	11	Об особенностях проектирования электростанций для районов Сибири (обсуждение статьи инж. Небрата и инж. Ясникова, «Электрические станции», № 11, 1949 г.)	VI	26
Якуб Ю. А. (рефер.) — Развитие схемы электрических соединений гидростанции Грэнд-Кули	XI	62	О временном жилищном строительстве при сооружении гидроэлектростанций (Хроника Техуправления по строит.)	III	60
Якуша Г. Б.— О повреждаемости оборудования электрической части в одной энергосистеме	I	42	О применении в строительстве древесины мягколиственных пород (Хроника Техуправления по строит.)	V	58
III. Проектирование, вопросы строительства и монтажа электростанций и сетей					
Альбом типовых проектов временных сооружений (Хроника Техуправления по строит.)	II	59	Отливной И. Ф. и Турчин Н. Я.— Стальная переставная опалубка при сооружении временной торцевой стены котельной (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IV	44
А. П.— Из опыта поточного строительства поселков (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IX	46	Они же — Применение хлорированных растворов при производстве бетонных работ в зимнее время (Обмен строит.-монтажн. опытом)	X	51
Бондаренко И. М.— Пути рационализации строительства гиперболических железобетонных градирен	X	22	Приспособление для испытания блоков (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII	38
Боровой А. А. и Зайдель В. А.— Об основных положениях скоростного строительства тепловых электростанций	V	20	Сварка трубопроводов высокого давления с вкладным разъемным кольцом (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	49
Бутенко Н. Л.— Забивка фундаментных свай рядом с работающими турбинами (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IV	41	Свердлов П. М.— Компоновка служебных помещений при главном здании тепловых электростанций	I	23
Бутенко Н. Л. и Гинзбург-Шик Л. Д.— Способы строповки при подъеме барабанов котлов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	48	Смирнов В. Ф.— Сооружение фундамента под турбогенератор (Обмен строит.-монтажн. опытом)	X	52
Выбор конструкций схемы металлоконструкций главного корпуса тепловых электростанций (Хроника Техуправления по строит.)	II	59	Солнцев М. П.— Приспособления для погрузочно-разгрузочных работ и рытья грунта на подвижных стреловых кранах (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VI	44
В. З.— Приборы для внутреннего вакуумирования бетона (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II	44	С. Я.— Сопоставление монтажных организаций по вопросам сварки (Хроника)	IX	62
Он же — Из опыта применения хлорированных незамерзающих растворов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	V	47	Турчин Н. Я.— Сооружение брызгального бассейна скоростными методами (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	46
Он же — Решетчатые стальные балки из прокатных профилей (Обмен строит.-монтажн. опытом)	X	51	Цемент для строительных растворов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	44
Он же — Местный термозоляционный материал для утепления перекрытий (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XI	48	Штукатурные работы при отрицательных температурах (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II	45
Гаврилов Л. Г.— Устройство шпунтового ряда с размывом грунта (Обмен строит.-монтажн. опытом)	V	45	Экслер М. Б.— Станок для тески и резки кирпича (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VII	45
Гаврилов Л. Г. и Гурвич К. А.— Применение водопонизительной установки	III	18	IV. Топливо, транспорт его, хранение, приготовление и сжигание		
Гинзбург-Шик Л. Д.— Способ подачи оборудования в котельную при одновременном сооружении фундаментов котлов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII	38	Г. К. (рефер.) — Поведение золы в пылеугольных топках	IV	57
Гончаров А. Н.— Скоростной монтаж крупных гидрогенераторов	IX	26	Гостев С. Т.— Эксплуатация скреперных складов угля на электростанциях в Западной Сибири	VII	16
Он же — Выбор чалочных канатов и стропов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XI	47			

Деев И. Т.—О наборе и разделке товарных проб твердого топлива	V	18	Восстановление изношенных бил шахтных мельниц наплавкой твердым электродным сплавом (Хроника)	V	58
Диденко В. М., Зубков Г. А. и Лишек П. Ф.—Опыт сжигания пыли богословского угля грубого помола (Обмен эксл. опытом)	VIII	48	Выморков Б. М.—Улучшение схемы движения воды в экономайзере (Обмен эксл. опытом)	II	54
Зудин Б. А.—О качестве топочных мазутов (Обмен эксл. опытом)	I	51	Он же—Об уменьшении штата водосмотров	III	11
Л. и Ш.—Совещание по экономическому сжиганию топлива на электростанциях Донбасса (Хроника)	III	60	Герштейн Е. Г., Крюков А. И. и Степанова В. А.—Метод повышения эксплуатационной надежности пароперегревателей	I	15
Савиновский Д. А. и Ухин Б. Н.—О работе механических отборников проб топлива на уральских электростанциях (Обмен эксл. опытом)	V	48	Гуляев М. А.—Приспособление конструкции котлов к сжиганию мазутов повышенной зольности (Обмен эксл. опытом)	X	54
Спейшер В. А., Кучерук А. Е., Маевский П. Н. и Новиков В. М.—Беспламенное сжигание природного газа в крупнокалиберных горелках	VII	6	Гусейнов М. Х. и Петросян Г. А.—Ремонт секционного водяного экономайзера (Обмен эксл. опытом)	VIII	50
Ширинкин Н. А. и Штейнберг А. М.—Приготовление и сжигание грубой пыли бурых углей	VIII	6	Гушин А. И. и Шабаров А. М.—Реконструкция котлов с шахтными мельницами для сжигания фрезерного торфа	IX	6
Шулецов В. Ф. (рефер.)—Реконструкция топливного тракта на основе моделирования	I	62	Дасаев Ф. Е.—Новый метод установки зажигательных поясов (Обмен эксл. опытом)	I	50
V. Улавливание, удаление и использование золы и шлаков			Дельва О. Л. и Рысаков Н. Ф.—Двухступенчатое испарение и сепарация пара в котельном агрегате типа ТКП-3 (Обмен эксл. опытом)	VI	48
Беренштейн С. А.—Об использовании золы и шлаков электростанций	VI	24	Зайцев В. Г.—Об уменьшении штата водосмотров (Обмен эксл. опытом)	X	55
В. З.—Плиты из шлаковаты (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VIII	45	Зудин Б. А.—Паровой сифон в котельной передвижной электростанции (Обмен эксл. опытом)	IV	51
Он же—Получение пластичных цементов методом мокрого помола шлака (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IX	45	И. В.—Дополнительная защита шахтных мельниц от перегрузки (Обмен эксл. опытом)	IX	56
Дубницкий В. П.—Установка под котлоагрегатами с жидким шлакоудалением для производства шлакоагата	VI	20	Квириш И. И. (рефер.)—Экранные трубы с продольными ответвлениями	XII	57
Егорычев Н. П.—Дренаж ограждающих дамб золоотстойников	X	27	Комаров А. М. и Невельсон М. И.—Повышение экономичности тяго-дутьевых установок	I	7
Зологин Н. Г.—О работе батарейного циклона	V	10	Комиссаров В. А.—Поперечная связь по тяге между котлами (Обмен эксл. опытом)	VII	48
Калянов Н. Н.—Получение минеральной ваты из жидких шлаков электростанций	VI	18	Кот А. А.—Об образовании соединений кремниевой кислоты на лопатках паровых турбин	VII	19
Паскевич П. А.—Малогобаритные жалюзийные золоуловители системы ВТИ	V	14	Он же—Качество пара и отложение солей в пароперегревателях и на лопатках турбин	XI	21
Рабинов Б. С.—Совещание по газоочистке (Хроника)	VII	60	Латынин И. Г., Макушин А. В. и Миличенко С. Л.—Сварка труб поверхностей нагрева котлов высокого давления в защитной муфте (Обмен эксл. опытом)	VIII	41
Ромин М. М.—Эксплуатация систем гидрозолоудаления с багерными насосами	IX	14	Лившиц Э. М.—Компоновка хвостовых поверхностей нагрева котельного агрегата и выбор скоростей газов	X	9
VI. Котлы и котельное оборудование			Линдквист Б. А. и Ратников Е. Ф.—Замена волнистых камер секционного котла (Обмен эксл. опытом)	X	54
Абезгус В. И.—Из опыта проведения скоростного комплексного ремонта котлоагрегата (Обмен эксл. опытом)	II	49	Логунов Ф. Г.—Изоляция топочной камеры котла огнеупорным бетоном и матрацами	II	20
Абрамович Я. З. и Мейер Л. А.—Применение сульфата закиси меди с φ -нафтолом при газовом анализе (Обмен эксл. опытом)	II	55	Минаков И. Т. и Холмогоров М. И.—Термическая обработка сварных стыков труб поверхностей нагрева	XI	31
Астапович Г. X.—Регулировка пружинных предохранительных клапанов (Обмен эксл. опытом)	IV	49	Наймарк И. К.—Случай золowego износа труб водяного экономайзера (Обмен эксл. опытом)	VI	51
Барановский Я. Я. и Нахалов В. А.—Наладка сепарации пара в трехбарабанном котле (Обмен эксл. опытом)	III	53	Наймарк И. Г. и Холмогоров М. И.—О некоторых особенностях монтажа котла ПК-10 блоками	VII	23
Безмазутные растопочные устройства (Хроника)	II	60	О применении заглушек в барабанах и коллекторах паровых котлов (Хроника)	III	61
Безопасный режим периодических продувок соленых отсеков барабанов котлов (Хроника)	I	59	Островский Я. М. и Березнеговская В. Н.—Некоторые итоги освоения котлов высокого давления ТКЗ на электростанциях Мосэнерго	XII	15
Березнеговская В. Н., Крюков А. И. и Суслов А. С.—Наладка и исследование щелевых пылеугольных горелок	VII	12	Плотников В. С. (рефер.)—Промежуточный перегрев пара	II	62
Блинов К. А. и Молоканов С. И.—Использование продувки котлов (Обмен эксл. опытом)	XI	50	Письмо в редакцию С. И. Ивянского по поводу статьи А. М. Комарова и М. И. Невельсона «Повышение экономичности тяго-дутьевых машин», помещенной в № 1, 1950 г.	IX	64
Бутенко Н. Л.—Из опыта ремонта котла парового крана (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II	46	Радошинский Б. И.—О растопочных устройствах топок с шахтными мельницами (Обмен эксл. опытом)	II	51
Бычковский А. Л. и Шагин М. Н.—Устранение разверки температур в перегревателях котельных агрегатов высокого давления	XI	6	Самусенко А. П. и Кулишов П. М.—Уплотнение горловин шаровых барабанных мельниц (Обмен эксл. опытом)	II	52
Варашицкий И. Б. и Локшин В. А.—Эксплуатационный контроль воздушного баланса котельного агрегата	II	10	Слуцкий А. М. (рефер.)—Котлы высокого давления с промежуточными перегревателями	IX	62
Васин Д. М. и Долговский Н. М.—Реконструкция дымососных установок	I	12	Сухарев Е. И.—Исследование и разработка способов отбора проб пара	X	14
Владимиров Н. М. (рефер.)—Работа котлов высокого давления Бенсона на германских электростанциях	I	61			
Он же (рефер.)—Эксплуатация мельниц КСГ	VI	60			
Он же (рефер.)—Эксплуатация шахтно-мельничных топок в Германии	VIII	61			

Турчин Н. Я.—Применение импульсных предохранительных клапанов на котлах высокого давления (Обмен эксл. опытом)	IX	48	Корчинский Е. К.—Трубчатый компенсатор выходного патрубка паровой турбины (Обмен эксл. опытом)	VI	51
Чабан Н. М.—Улучшение работы аэробильных мельниц (Обмен эксл. опытом)	XI	52	Лиленцаль Г. Г.—Затяжка болтов, крепящих фланцы цилиндров паровых турбин (Обмен эксл. опытом)	IV	48
Чернявский В. М.—Опыт борьбы с коррозией водяных экономайзеров (Обмен эксл. опытом)	II	53	Литвиненко В. А.—Особенности центровки трехопорных агрегатов (Обмен эксл. опытом)	VIII	51
Чугунные ребристые воздухоподогреватели Рижского завода Главэнергозапчасти (Хроника)	XI	59	Макарян С. Н.—Контроль за работой конденсационных горшков (Обмен эксл. опытом)	X	56
Шицман С. Е.—Схема пылеприготовления со сбросом всего сушильного агента через холодные горелки	II	15	Михайлов А. П. (рефер.)—Газовая турбина полужамкнутого цикла	II	63
Эстеркин Р. И.—Схема подачи вторичного воздуха при сжигании фрезерного торфа в топках с шахтными мельницами (Обмен эксл. опытом)	IV	47	Молчанов И. И.—Применение суперфосфата в качестве стабилизатора в циркуляционных охлаждающих системах (Обмен эксл. опытом)	V	51
VII. Турбоустановки, насосы, арматура, трубопроводы, теплофикация					
Автономов Б. В.—Кованая арматура для пара высоких параметров (Обмен эксл. опытом)	IX	43	О притирке уплотняющих поверхностей седел арматуры высокого давления Венюковского арматурного завода (Хроника)	VI	57
Азбукин Ю. И.—Сравнительный анализ методов балансировки роторов одним и тремя пусками	IV	18	Полушкин К. П. и Полушкин Н. П.—Устранение перегрева в подпятниках гидротурбины (Обмен эксл. опытом)	V	49
Он же —Динамическая балансировка тяжелых роторов на станке с катающимися опорами	X	18	Равинский А. М.—Случай аварии турбины 5000 квт (Обмен эксл. опытом)	V	48
Александрова Л. П. и Аренштейн А. М.—Борьба с зарастанием водоемов	III	16	Савченко И. Е.—Реконструкция подшипников паровых турбин (Обмен эксл. опытом)	VII	51
Астапович Г. X.—Способ поверки центровки турбин Юнгстрем (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	45	Саликов А. П. (рефер.)—Новая конструкция горизонтального фланцевого соединения цилиндра высокого давления	V	62
Он же —Устройство для автоматического срыва вакуума (Обмен эксл. опытом)	III	49	Соколов В. С.—Ультразвуковой прибор для измерения толщины стенок труб	XII	21
Байрамзаде А. Б.—Автоматический запуск циркуляционных насосов (Обмен эксл. опытом)	VII	53	Соснин Н. В. и Якобсон С. С.—Термообработка сварных стыков трубопроводов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII	40
Берман Л. Д.—Оценка воздушной плотности вакуумной системы турбоагрегата	VI	6	С. Ф. (рефер.)—Комбинированные газо-паротурбинные установки	X	62
В. З.—Новый способ прокладки трубопроводов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VII	46	Травин Н. Н.—Наладка регуляторов давления турбин с отбором пара (Обмен эксл. опытом)	XI	51
Виленский Н. М.—Режим экономического вакуума в паротурбинных установках при оборотном водоснабжении	IV	13	Умрихин Д. Г.—Предупреждение образования накипи в замкнутой циркуляционной системе кислотно-фосфатным способом (Обмен эксл. опытом)	V	50
Владиславлев Л. А.—Определение комбинаторной зависимости у гидротурбин Каплана	III	14	Чулков Е. И.—Реконструкция багерного насоса (Обмен эксл. опытом)	IX	53
Герасимов В. Н. и Колесник Н. В.—Балансировка роторов при помощи аппарата системы инж. Колесника	IX	10	Шиканян А. И.—Контроль качества труб магнитно-эмульсионным способом (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII	41
Гончаров А. Н.—Ускорение процесса соединения валов вертикальных гидроагрегатов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II	48	Шифринсон Б. Л. и Леонтьева Т. К.—Трассирование тепловых сетей	III	6
Он же —Механизация смазки деталей направляющего аппарата гидротурбин (Обмен эксл. опытом)	V	49	Шляхин П. Н.—Работа турбины с удаленной диафрагмой промежуточной ступени	VI	9
Громов Н. К.—Применение температурного графика 150 70°С в московских тепловых сетях (Обмен эксл. опытом)	IX	51	Щегляев А. В., Смелыцкий С. Г. и Ермаков Д. А.—Новая система регулирования паровой турбины	VIII	13
Давидовский О. Н. (рефер.)—Коррозия-эрозия питательных насосов и выбор металла для их изготовления	IV	61	VIII. Водоподготовка, работа химцехов		
Он же (рефер.)—Американские газовые турбины промышленного типа	V	60	Брянский Б. Д. и Давыдов А. Т.—Обескремнивание воды обожженными доломитами (Обмен эксл. опытом)	I	52
Дьяков Ф. А.—Из опыта сварки труб высокого давления (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VI	45	Зильберман Р. Г.—Опыт эксплуатации Na-катионитовой установки (Обмен эксл. опытом)	VIII	50
Забродин И. А.—Авария облопачивания турбины высокого давления (Обмен эксл. опытом)	VIII	51	Зуев П. И. и Мусиенко М. М.—Улучшение работы отстойников (Обмен эксл. опытом)	VI	54
Зайцев А. В.—Из опыта эксплуатации тепловых сетей Ярославля (Обмен эксл. опытом)	III	54	Мамет А. П. и Глушенко В. В.—Удаление кислорода из питательной воды стальными стружками	I	19
Иванов И. Ф.—Ключи для затягивания седел в арматуре высокого давления (Обмен эксл. опытом)	VII	48	Мангушев И. X.—О фосфатировании воды в котлах высокого давления (Обмен эксл. опытом)	II	52
Калинин А. С. и Случаев М. А.—Вибрация паровых турбин из-за коробления роторов во время работы (Обмен эксл. опытом)	XII	46	Мольнер А. В.—Механизация рассева фильтрующего материала (Обмен эксл. опытом)	XII	49
Квирин И. И. (рефер.)—Использование в турбинных установках ротационных насосов вместо паровых эжекторов	VII	61	Мусатов Т. П.—Непрерывная регенерация масел для работающих трансформаторов	IX	31
Он же (рефер.)—Борьба с загрязнением поверхностей конденсаторов паровых турбин при охлаждении их морской водой	X	63	Наседкин В. В.—Использование непрерывной продувки котлов для регенерации H—Na-катионитовых фильтров	VII	50
Он же (рефер.)—Обнаружение течи в трубках конденсатора флуоресцентным раствором	XI	62	Соколов В. С.—Опыт исследования агрессивности котловой воды (Обмен эксл. опытом)	III	51
			Ухин Б. Н.—Опыт эксплуатации суспензионного сепаратора (Обмен эксл. опытом)	VI	52

Чернявский В. М.— Слив серной кислоты из дистерн помощью воздушного компрессора (Обмен эксл. опытом) V 52

IX. Автоматика и контрольно-измерительные устройства

Байрамзаде А. Б.— Автоматическое поддержание нормального уровня воды в конденсаторе (Обмен эксл. опытом) VIII 53
 Бейрах З. Я.— Автоматизация редукционно-охладительных установок IX 18
 Казаков Б. Е.— Наладка регуляторов питания котлов системы Трубкина (Обмен эксл. опытом) III 50
 Князев А. Г.— Сниженный указатель уровня воды в барабане (Обмен эксл. опытом) I 52
 Лихин Н. Т.— Схема установки для проверки электрических счетчиков (Обмен эксл. опытом) VII 56
 Фельдман Е. П.— Одноимпульсный изодромный регулятор уровня для котлов высокого давления XI 13
 Элькинд Ю. М.— Сравнительные данные магнитоэлектрических логометров II 40

X. Генераторы, трансформаторы, электродвигатели

Адоян А. Г.— Автоматическое тушение пожара электрических машин распыленной водой V 26
 Альтшуллер С. З.— Редкий случай потери возбуждения (Обмен эксл. опытом) VII 54
 Боголюбский К. Н.— Опыт эксплуатации заместителя маслоупорной резины (Обмен эксл. опытом) XI 55
 Божко-Степаненко Г. М.— Тушение пожара в генераторах водой, вводимой струями V 29
 Володин М. Н.— К статье инж. Тимофеенко «Установка для испытания междувитковой изоляции электродвигателей» (см. № 6, 1950 г.) VI 30
 Гуревич В. Н.— Изменение характеристики хода возбуждителя Е-51 (Обмен эксл. опытом) XII 50
 Замечания Московского трансформаторного завода по статье Т. П. Мусатова (см. № 2, 1950 г.) II 30
 Звездкин В. Н.— Опыт применения прибора для контроля влажности обмоток трансформаторов в Ленэнерго (Обмен эксл. опытом) VIII 53
 Изменение § 25 «Инструкции по эксплуатации трансформаторов» (Хроника Техотдела Министерства) III 59
 Испытание роторов генераторов с проволочными бандажами при повышенном числе оборотов (Хроника Техуправления Министерства) IX 59
 Кашцев А. Н. и Скоркин А. Т.— Транспортировка тяжеловесных трансформаторов (Обмен строит.-монтажн. опытом) V 46
 Киреев Г. А.— Упрощение схемы «частотного» пуска турбогенератора XII 25
 Клецкий В. П.— Автоматическая самосинхронизация генераторов (Обмен эксл. опытом) III 56
 Крикунчик А. Б.— Охлаждение электродвигателей собственных нужд тепловых электростанций X 42
 Кулаковский В. Б.— Испытание изоляции обмотки статора синхронного компенсатора 10 тыс. кВа VII 30
 Лейкфельд В. А. и Рыцлин А. М.— Фазировка линий и трансформаторов методом снятия векторных диаграмм и использования вспомогательных таблиц (Обмен эксл. опытом) VIII 56
 Лысаковский Г. И.— О возможности применения повышенных напряжений для испытания главной изоляции обмоток генераторов X 44
 Могилевкин Д. Л.— Опыты самосинхронизации синхронного компенсатора (Обмен эксл. опытом) V 53
 Монин В. Я. и Сапожников А. И.— Применение прибора для контроля влажности обмоток трансформаторов в Молотовэнерго (Обмен эксл. опытом) VIII 55

Мусатов Т. П.— Еще раз о работе переключателей ответвлений МТЗ II 28
 Оберучев М. К.— Об испытаниях изоляции электрических машин XI 35
 О гашении поля генератора (Хроника Техуправления Министерства) V 58
 XI 57
 О несимметричных нагрузках гидрогенераторов (Хроника Техотдела Министерства) II 59
 О пусковых испытаниях гидроагрегатов (Хроника Техуправления по строит.) VI 57
 Паздников М. А.— Применение электромагнитного синхроскопа для определения группы соединения обмоток трехфазного трансформатора (Обмен эксл. опытом) X 56
 Пленум секций ВНИТОЭ по электрическим машинам (Хроника) VI 57
 Сессия по вопросам сушки и контроля влажности изоляции электрических машин и трансформаторов (Хроника) IV 55
 Сыромятников И. А.— Влияние изменений частоты и напряжения на работу асинхронных двигателей III 23
 Тер-Газарян Г. Н.— Несимметричный режим гидрогенераторов VIII 29
 Термокраски и термокарандаши для измерения температур (Хроника) VIII 60
 Тимофеенко А. А.— Установка для испытания междувитковой изоляции электродвигателей VI 29
 Фидельман И. О.— Горизонтальная транспортировка трансформаторов (Обмен строит.-монтажн. опытом) VII 47
 Фрумкис Ш. Ю.— Включение турбогенераторов небольшой мощности методом самосинхронизации (Обмен эксл. опытом) V 53

XI. Распределительные устройства

Двоскин Л. И.— По поводу статьи Т. П. Мусатова «О сооружении гибких связей для многоамперных соединений» (см. № 5, стр. 37) V 38
 Мусатов Т. П.— О сооружении гибких связей для многоамперных соединений V 37
 Обсуждение вопроса о выборе рационального типа распределительного устройства I 26
 Славнин М. И.— Одиночная система шин на электрических станциях и подстанциях IV 33
 Техничко-экономическое сравнение открытых и закрытых распределительных устройств 110 и 35 кВ при применении новейшего оборудования (Хроника Техсовета при Министре) I 57
 Фидельман И. О.— Продавливание отверстий в шинах (Обмен строит.-монтажн. опытом) III 44

XII. Высоковольтная аппаратура

Гедима П. И.— Электрическая прочность внутрибаковой изоляции выключателей ВМ-35 V 34
 Горелик Х. Н.— Анализ эксплуатации бакелитовых изоляторов конденсаторного типа VI 31
 Об испытании масла в масляных выключателях (Обсуждение статьи Я. Г. Емельянова, см. № 7, 1949 г.) XI 40
 О сокращении количества отдельных трансформаторов тока 110 ÷ 220 кВ (Хроника Техуправления Министерства) XII 52
 Рапота Ф. И.— Осушка воздуха и выбор давления в установках сжатого воздуха II 24
 Семенов Г. И. и Юрьев П. И.— Анализ схем установок, вырабатывающих сжатый воздух для воздушных выключателей II 23
 Смирнов М. А.— Привод для пофазного включения выключателей 110 кВ типа МКП-160 VII 33

XIII. Воздушные и кабельные сети

Айзенберг Б. Л.— Ответ инж. В. А. Козлову (см. № 12, стр. 35) XII 36
 Антонов И. А.— Установка для сварки алюминиевых проводов и кабелей III 31
 Бобович Л. И., Гальперин М. Л. и Кузнецов А. Г.— Восстановление металлической опоры линии электропередачи 110 кВ под напряжением (Обмен эксл. опытом) IX 56
 Бобылков В. Г.— Контроль работы линейных обходчиков (Обмен эксл. опытом) IV 54

Бунин Ш. А.—Плавка гололеда на тросовых подходах к подстанциям	VIII	39	XIV. Релейная защита и электроавтоматика, вторичная коммутация, связь	
В. С.—Основания под опоры линий электропередачи (Обмен строит.-монтажным опытом)	VIII	47	Богина М. М. и Царев М. И.—Усовершенствование электрической блокировки высоковольтных выключателей (Обмен экспл. опытом)	IV 53
Глейзер М. Д.—Расчет габаритов при обрыве проводов (Обмен экспл. опытом)	XII	51	Бойко В. И., Габа Е. С. и Макогон В. С.—Скоростное внедрение автоматического повторного включения на линиях 110 ÷ 220 кВ	XII 32
Горстка А. К. и Кутovenko Г. П.—Эксплуатация кабельных шкафов наружной установки, оборудованных дыхательными трубками (Обмен экспл. опытом)	IX	57	Борисов В. Н. и Могилевкин Д. Л.—Автоматический самосинхронизатор АСС-1	VIII 31
Грушвицкая О. Н.—Передвижная высоковольтная лаборатория на мотоцикле (Обмен экспл. опытом)	XI	55	Буневич М. Л.—Передача импульсов телеизмерения суммарной мощности токами высокой частоты по высоковольтной линии (Обмен экспл. опытом)	II 56
Гульденбалк В. В.—Сооружение линии электропередачи 110 кВ в горных условиях	V	40	Вавин В. Н.—Поведение дистанционных защит при переходе замыканий на землю в междофазовые короткие замыкания	VIII 37
Ефремов В. Н.—Металлические трансформаторные пункты (Обмен экспл. опытом)	VI	55	Варшавчик И. И.—Защита электродвигателей от повреждений при работе на двух фазах (Обмен экспл. опытом)	VII 55
Кендель М. Я.—Профилактические испытания высоковольтных кабелей (Обмен экспл. опытом)	VIII	57	Волков А. Д.—Станок для намотки катушек (Обмен экспл. опытом)	VII 58
Козлов В. А.—О замкнутых сетях на промышленных предприятиях	XII	35	Воскресенский А. А.—Токи небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока	II 34
Лившиц И. С.—Применение дизель-молота для забивки свай при сооружении линий электропередачи (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VI	46	Грек Г. Т.—Токовая защита от замыканий на землю генераторов с фазными трансформаторами тока	IX 36
Ломоносов М. А. и Розенталь А. Я.—Измерение токов замыкания на землю в сетях 6–10 кВ с незаземленной нейтралью (Обмен экспл. опытом)	V	55	Дубровский С. Н.—Создание кратковременного активного тока для отыскания замыканий на землю (Обмен экспл. опытом)	III 56
Лукьянов Е. В.—Котел с индукционным нагревом для варки кабельных заливочных масс (Обмен экспл. опытом)	X	59	Егоров Г. Г. и Шудель С. С.—Применение газотронного выпрямителя в эксплуатации аккумуляторных батарей (Обмен экспл. опытом)	XI 55
Малхасьян И. В.—Определение транспозиционных опор линейным искателем повреждений (Обмен экспл. опытом)	I	54	Заславская Т. Б.—Особенности расчета уставок реактансной защиты двух параллельных линий	IV 38
Митрах Н. П.—Скрытая прокладка кабелей в трубах (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	46	Звенигородский И. С.—Каналы связи для телемеханики	III 39
Он же—Анкерные клиновые зажимы (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IV	45	Звездкин В. Н. и Израелит Г. Б.—Применение метода абсорбции для контроля влажности изоляции обмоток генераторов	VIII 34
Мусатов Т. П.—Передвижной обходной разъединитель для одиночных линий с односторонним питанием (Обмен экспл. опытом)	I	53	Землянкер Л. X.—Телеуправление выключателями в городских электросетях	III 35
Он же—Об изменении расположения тросовых переключателей на деревянных опорах (Обмен экспл. опытом)	III	58	Иносов В. Л., Крутикова В. Е. и Цукерник Л. В.—Опытная установка компаундирования с электромагнитным корректором напряжения на турбогенераторе 25 тыс. кВт	IV 26
Назаров А. И.—О профилактических испытаниях изоляторов на подстанциях 35 кВ	II	38	Клецкий В. П.—Автоматическое развозбуждение гидрогенераторов (Обмен экспл. опытом)	VI 55
Об инструкции по приемке в эксплуатацию линий электропередачи (Хроника Техуправления по строит.)	VII	59	Колманович Л. Я.—Простой способ проверки герметичности поплавков газовых реле (Обмен экспл. опытом)	XI 54
О применении битуминозной массы марки МБ-70 для заливки кабельных муфт 3, 6 и 10 кВ (Хроника Техотдела Министерства)	I	58	Левин Р. И.—О новом скоростном методе ремонта аккумуляторных батарей	XI 45
О расстановке опор линий электропередачи (Хроника Техуправления по строит.)	VI	57	Лейкфельд В. А. и Рыцлин А. М.—Использование селеновых выпрямителей для дистанционного и автоматического включения выключателей (Обмен экспл. опытом)	IX 55
О созыве сессии по эксплуатации воздушных линий электропередачи (Хроника)	VIII	60	Любимова Е. М.—Ремонт аккумуляторных батарей стационарного типа (Обмен экспл. опытом)	I 56
Притула А. Г.—Настройка дугогасящих катушек в сетях 35 кВ	VI	34	Малхасьян И. В.—Опыт ремонта аккумуляторной батареи (Обмен экспл. опытом)	III 58
Скворцов В. В.—Опоры линий электропередачи из центрифугированного железобетона (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VIII	46	Об изменении конструкции груза в устройствах грузового АПВ для приводов типа КАМ (Хроника Техотдела Министерства)	I 57
Стронгин П. Я.—Масляное хозяйство сетевого района (Обмен экспл. опытом)	VII	56	О заземлении фазы, по которой осуществляется высокочастотная передача (Хроника Техуправления Министерства)	XII 52
Сыромятников И. А.—Измерение тока замыкания на землю (Обмен экспл. опытом)	V	54	О применении газовой защиты на трансформаторах (Хроника Техуправления Министерства)	VIII 59
Файзуллин М. Г. и Юсупов У. Б.—Улучшенная конструкция мачтовой муфты наружной установки 6 ÷ 10 кВ (Обмен экспл. опытом)	I	54	О применении кабелей с винилитовой защитной оболочкой (ВРГ и КВРГ) и проводов с резиновой изоляцией в алюминиевой фальцованной оболочке (ТПРФ) (Хроника Техуправления Министерства)	VIII 59
Фидельман И. О.—Шаблон для сварки кабельных конструкций (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IX	47	О применении компаундирования с электромагнитным корректором напряжения в качестве основной системы автоматического регулирования возбуждения генераторов электростанций (Хроника Техуправления Министерства)	VII 59
Он же—Приспособление для изготовления полок кабельных конструкций из круглой стали (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XI	49		
Филимончук И. И.—Скоростной монтаж линий электропередачи 110–220 кВ	VIII	26		
Шефкинд М. Д.—Повреждение на линии 110 кВ, оборудованной пофазным управлением (Обмен экспл. опытом)	V	57		
Шяпов Н. М.—Вибрация проводов линии электропередачи (Обмен экспл. опытом)	VII	57		

Петроков А. П.—Определение допустимой нагрузки трансформаторов тока по вольтамперным характеристикам	II 31	Жданов П. С.—Некролог (Хроника)	I 60
Прессман С. М.—Случай неправильной работы газовой защиты (Обмен эксл. опытом)	XI 54	Зайченко Я. Д.—Сварка сикромалевых сталей (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VIII 42
Пупышев Л. Н.—Измерение тока утечки (Обмен эксл. опытом)	V 52	Золотавин В. Л.—Бесстружковый метод анализа металла	III 21
Реле времени типов РВ-73 и РВ-75 (Хроника)	IV 55	Кириллин В. А. и Румянцев Л. И.—Экспериментальное определение удельных объемов водяного пара при 92 ÷ 524 ата и 430 ÷ 600° С	XII 8
Рябкин Б. П.—«Пульсирующая» звуковая сигнализация (Обмен эксл. опытом)	XI 52	Конференция читателей журнала «Электрические станции» в г. Киеве (Хроника)	IX 59
Седнев И. Ф.—Токовая защита от замыканий на землю с трансформаторами тока нулевой последовательности, работающая на емкостном токе	VI 41	Кротков Д. В.—Новые стандарты по сварке (Хроника)	VIII 59
Сирота И. М.—Защита генераторов от замыканий на землю с шинными трансформаторами тока нулевой последовательности	XII 27	Левитиан М. Н.—Некролог (Хроника)	IV 56
Суслов О. В.—Схема блокировки автомата повторного включения (Обмен эксл. опытом)	V 54	Ляхов В. Л.—Царговые разборные леса для ремонта обмуровки топок (Обмен эксл. опытом)	XII 47
Он же—Автоматическое включение резервного питания подстанции (Обмен эксл. опытом)	X 58	Механизация разгрузки сыпучих грузов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XI 48
Он же—Комбинированная схема автоматического включения резервного питания и автоматического повторного включения для собственного расхода электростанций	VII 41	Об электрооборудовании топливоподдачи электрических станций, сжигающих торф (Хроника Техотдела Министерства)	III 59
Теллов В. М.—Простая сигнализация для персонала при дежурстве его на дому (Обмен эксл. опытом)	I 55	О выполнении директивных указаний Технического управления (Хроника Техуправления Министерства)	XI 57
Турчин Н. Я.—Прокладка проводов на панелях щитов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III 45	О дополнительных мерах безопасности для цехов топливно-транспортных и топливоподдачи электростанций, сжигающих торф (Хроника Техотдела Министерства)	III 59
Царев М. И.—Дифференциальная защита шин с вспомогательными быстроснабжающимися трансформаторами тока	VII 38	О дополнении п. 6 «Инструкции о мерах безопасности при производстве профилактических испытаний в устройствах высокого напряжения с подачей высокого напряжения от постороннего источника тока» (Хроника Техуправления Министерства)	XII 52
Цукерник Л. В.—Зависимость напряжения синхронных генераторов, поддерживаемого при автоматическом регулировании, от изменения частоты	III 29	О закреплении лессовидных грунтов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IX 46
Он же—Письмо в редакцию по поводу статьи В. В. Гиршберга в сборнике «Автоматизация и телемеханизация гидроэлектрических станций», Госэнергоиздат, 1950 г.	VIII 64	О наборе в аспирантуру ВТИ (Хроника)	VII 60
Шмайн Ю. А.—Испытания различных типов регуляторов возбуждения	IV 30	Сессия по ремонту электрооборудования (Хроника)	II 60
Яковлева Н. Н.—Из опыта наладки защиты от замыканий на землю синхронных компенсаторов (Обмен эксл. опытом)	IX 54	Скворцов В. В.—Электроподогрев автомашин при открытой стоянке (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VII 47

XV. Перенапряжение

Бродянский Э. З. и Рожавский С. М.—Испытание трубчатых разрядников (Обмен эксл. опытом)	V 56
Долгинов А. И. и Колганов В. В.—Разряд с троса на провод в пролете линии электропередачи	VII 36
Шеренцис А. Н.—Координация изоляции при проектировании линий электропередачи	XI 37
Юриков П. А.—Случай повреждения электрооборудования токами молнии (Обмен эксл. опытом)	IV 52
Он же—Грозоупорность линий электропередачи 110 кв	IX 41
Якуб Ю. А. (рефер.)—Исследование явления короны на экспериментальной линии электропередачи 500 кв во Франции	XII 57

XVI. Разное

А. З.—Совещание по вопросам ремонта оборудования на электростанциях (Хроника)	X 61
В. З.—Экспресс-анализ легированных сталей (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IV 42
Гинзбург-Шик Л. Д.—Сварка среднелегированной стали (Обмен строит.-монтажн. опытом)	V 45
Гортинский С. М.—Научно-исследовательские работы ЦНИЭЛ (Хроника)	XII 54
Дасаев Ф. Е.—Восстановление баббита подшипников методом наплавки (Обмен эксл. опытом)	IV 49
Дубровский С. Н.—Об определении допустимой нагрузки на стальные канаты (Обмен эксл. опытом)	II 57

XVII. Критика и библиография

Грудинский П. Г.—Рецензия на книгу Е. Ф. Иоффе «Оперативная работа в высоковольтных распределительных устройствах»	II 64
Зайдель В. А.—Рецензия на книгу И. А. Одиного «Основы прочности металлов паровых котлов, турбин и турбогенераторов»	VIII 63
Зейлидзон Е. Д. и Питерцев В. И.—Рецензия на сборник «Автоматическое регулирование котельных агрегатов» под ред. С. Г. Герасимова и Е. П. Стефани	IV 63
Новые книги по энергетике	III 63
	IV 64
	V 64
	VII 64
	IX 63
О тематике журнала «Электрические станции» на 1950 г.	I 64
Сатаров В. А.—Рецензия на книгу Г. И. Атабекова «Релейная защита высоковольтных сетей»	V 63
Стырикович М. А.—Рецензия на книгу Л. И. Керцелли и В. Я. Рыжкина «Тепловые электрические станции»	V 63
Этус Н. Г. и Юдильевич С. М.—Рецензия на справочник по монтажу распределительных устройств П. В. Кузнецова и В. С. Кондахчана	VII 62
Материалы по высокому давлению (котельные установки)	Приложение к № 4

Вниманию авторов

При подготовке статей для журнала «Электрические станции» авторам необходимо выполнять следующие требования:

1. Объем статей не должен превышать 10—15 страниц текста, *напечатанного на машинке на одной стороне листа через два интервала*. В виде исключения статьи могут быть представлены четко написанными от руки на одной стороне листа.

2. Формулы и иностранный текст должны быть написаны разборчиво. В формулах обязательно выделять прописные и строчные буквы, индексы писать ниже строки, показатели степени — выше строки; на полях рукописи делать отметки, каким алфавитом в формулах обозначены буквы, и другие пояснения к формулам.

3. Статьи иллюстрировать фотографиями и чертежами, однако число их должно быть минимально необходимым. Чертежи выполнять тушью или карандашом, надписи и обозначения писать четко. Снимки направлять четкие и контрастные, размером не менее 9×12 см., в двух экземплярах.

В тексте статьи обязательно делать ссылки на рисунки, причем обозначения в тексте должны строго соответствовать обозначениям на рисунках.

Каждый чертеж или фотография должны иметь порядковый номер, соответствующий его номеру в тексте, и подпись.

Чертежи и фото в тексте не вклеивать, а прилагать их отдельно, составив на них опись.

4. В табличном материале точно обозначать единицы измерения. Наименования давать полностью, не сокращая слов. Не давать слишком громоздких таблиц.

5. Иностранные единицы измерения обязательно переводить в принятые у нас в Союзе меры длины, веса и др.

6. Официальные материалы должны быть заверены соответствующими организациями. Материал научно-исследовательских организаций и заводов должен иметь визу руководства.

7. В конце рукописи указывать полностью имя, отчество и фамилию автора, домашний адрес, занимаемую должность, год рождения, номер и место выдачи паспорта.

8. Материал для журнала направлять по адресу: Москва, Ветошный пер., здание ГУМ, III корпус, 1 этаж, помещ. 164, редакции журнала «Электрические станции».

480
ЦЕНА 8 руб.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

НА
1951
ГОД

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

НА
1951
ГОД

НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЖУРНАЛЫ:

„ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ“

Орган МЭС СССР

Год издания 2^о-й. 12 номеров в год
Подписная цена: на год 96 руб.
на 6 мес. 48 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ПРОЕКТНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, А ТАКЖЕ НА ЭНЕРГЕТИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ДРУГИХ МИНИСТЕРСТВ. ГОДОВЫМ ПОДПИСЧИКАМ НА ЖУРНАЛ БУДЕТ ВЫСЛАН В КАЧЕСТВЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СПРАВОЧНИК ЭНЕРГЕТИКА НА 1951 г.

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Орган Академии наук СССР, МЭС и МЭП СССР

Основан в 1880 г. 12 номеров в год
Подписная цена: на год 96 руб.
на 6 мес. 48 руб.
на 3 мес. 24 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА ИНЖЕНЕРОВ И НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ, ВЕДУЩИХ РАБОТУ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. ГОДОВЫМ ПОДПИСЧИКАМ НА ЖУРНАЛ БУДЕТ ВЫСЛАН В КАЧЕСТВЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫЙ КАЛЕНДАРЬ-СПРАВОЧНИК НА 1951 г.

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ

городскими
и районными
отделениями
Союзпечати,
во всех конторах,
отделениях и
агентствах связи
и общественными
уполномоченными по подписке
на предприятиях,
в организациях и
учреждениях

„Гидротехническое строительство“

Производственно-технический и экономический журнал МЭС СССР

Год издания 20-й 12 номеров в год
Подписная цена на год 48 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПЕРСОНАЛ, РАБОТАЮЩИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬСТВАХ, В ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЯХ, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТАХ И НА СТУДЕНТОВ ВТУЗОВ.

„ТОРФЯНАЯ промышленность“

Орган МЭС СССР

Год издания 28-й 12 номеров в год

Подписная цена: на год 48 руб.
на 6 мес. 24 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

„ПРОМЫШЛЕННАЯ энергетика“

Орган Госинспекции по промэнергетике и энергонадзору при МЭС СССР

Год издания 8-й 12 номеров в год
Подписная цена: на год 48 руб.
на 6 мес. 24 руб.
на 3 мес. 12 руб.

ЖУРНАЛ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ И ТЕХНИКОВ, РАБОТАЮЩИХ В ОТДЕЛАХ ГЛАВНОГО ЭНЕРГЕТИКА, ГЛАВНОГО МЕХАНИКА, В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЗАВОДСКИХ ЛАБОРАТОРИИ. ГОДОВЫМ ПОДПИСЧИКАМ НА ЖУРНАЛ БУДЕТ ВЫСЛАН В КАЧЕСТВЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СПРАВОЧНИК ЭНЕРГЕТИКА НА 1951 г.