

# ЭЭ ЛЭКТРИЧЕСКИЕ ТАНЦИИ

10



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1952

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

10  
ОКТАБРЬ  
1952

Орган Министерства электростанций СССР

23-й ГОД ИЗДАНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

Передовая—План великих работ и задачи советских энергетиков . . . . .	3	<b>ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ</b>	
<b>И. Б. Варавицкий, Е. С. Иванов и Л. Б. Кроль</b> — Предотвращение коррозии и забивания золой воздухоподогревателей котельных агрегатов . . . . .	6	<b>Н. Я. Турчин</b> — Меры безопасности при применении электропрогрева грунта электродами . . . . .	52
<b>С. П. Хижняк и Е. И. Чулков</b> — Эксплуатация шиповых экранов . . . . .	11	<b>Г. Я. Копелев</b> — Перевозка трансформатора по городу . . . . .	52
<b>И. Л. Хазовский и М. А. Шувалов</b> — Первые итоги эксплуатации малогабаритных воздухоподогревателей системы ВТИ . . . . .	14	<b>Е. П. Мурзанов и П. В. Терников</b> — Механизация рытья ям и установки опор . . . . .	53
<b>Д. П. Ларионов и В. В. Романцов</b> — Использование импульса по расходу пара для автоматизации процесса горения . . . . .	15	<b>ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ</b>	
<b>Е. М. Залкинд, Н. П. Захаров и Э. М. Лившиц</b> — Потолочные перекрытия котельных агрегатов из огнеупорного бетона . . . . .	23	<b>П. М. Брайловский, Ш. Ц. Голянский и В. П. Шанин</b> — Шиповой зажигательный пояс в зоне горелок . . . . .	55
<b>Е. С. Динер</b> — Применение башенного крана при монтаже конструкций здания и оборудования . . . . .	29	<b>Л. Л. Бошняк</b> — Ремонт арматуры высокого давления . . . . .	56
<b>И. А. Сыромятников</b> — О возможности отказа от сушки электрических машин . . . . .	34	<b>Б. Г. Локтев</b> — Размол угля при пониженной загрузке мельниц шарами . . . . .	59
<b>Г. И. Лысаковский и К. М. Побегайло</b> — Включение высоковольтных вращающихся машин без сушки . . . . .	35	<b>Д. М. Васин и Е. В. Ямпольский</b> — Наладка работы градирен . . . . .	59
<b>Н. Н. Лукин и Н. П. Фуфурин</b> — Влияние увлажнения на электрическую прочность изоляции генератора . . . . .	38	<b>С. А. Дудель</b> — Недостатки схемы включения воздушных выключателей фирмы ВВС . . . . .	61
<b>Е. И. Загоскин</b> — Сушка трансформаторов током нулевой последовательности . . . . .	41	<b>П. И. Гедима и Ю. В. Шиманский</b> — Борьба с гололедом на тросах . . . . .	62
<b>В. Н. Звездкин и М. Г. Лойцянская</b> — Морозостойкость заливочных масс . . . . .	44	<b>Г. П. Кузьмин и И. А. Якобсон</b> — Валикаток для испытания диэлектрических резиновых ковриков и дорожек . . . . .	62
<b>М. Ф. Мельников, Н. В. Чернобровов и П. Д. Черняев</b> — Блокирующие реле для улучшения защиты длинных линий 220 кв . . . . .	48	<b>ХРОНИКА</b>	
		<b>В Техническом управлении Министерства</b> <b>О применении надежных схем пуска электродвигателей и компенсаторов . . . . .</b>	64

□ □ □

ВОЛОГОДСКАЯ  
ОБЛАСТНАЯ  
БИБЛИОТЕКА

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**А. А. Боровой, П. Г. Грудинский, К. Д. Лаврентенко, С. Г. Мхитарян, В. А. Попов,  
Б. М. Соколов, И. А. Сыромятников, С. Ц. Фаерман, Д. Г. Чижов.**

**Главный редактор Д. Г. Чижов.**

---

**Адрес редакции: Москва, Ветошный пер., ГУМ, III корпус, I эт., пом. 165.  
Телефоны: редакции К 5-21-22, главного редактора К 4-44-10 и комм. К 1-02-80, доб. 2-10.**

*В области электрификации обеспечить высокие темпы наращивания мощностей электростанций в целях более полного удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства и бытовых нужд населения в электроэнергии и увеличения резерва в энергетических системах.*

*(Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы).*

## ПЛАН ВЕЛИКИХ РАБОТ И ЗАДАЧИ СОВЕТСКИХ ЭНЕРГЕТИКОВ

Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 гг. являются документом величайшего исторического значения, определяющим пути дальнейшего подъема всех отраслей народного хозяйства и роста материального благосостояния и культурного уровня советского народа. Этот документ демонстрирует перед всем человечеством торжество всепобеждающих идей марксизма-ленинизма.

Базой для создания пятилетнего плана и предпосылкой для его осуществления является успешное выполнение четвертого пятилетнего плана.

Пятилетний план развития СССР и его полное завершение значительно приблизят нашу страну к тому уровню развития, который был намечен товарищем Сталиным в его исторической речи 9 февраля 1946 г. на собрании избирателей Сталинского района, — к ежегодному производству до 50 млн. т чугуна, 60 млн. т стали, 500 млн. т угля и 60 млн. т нефти.

Такому уровню развития народного хозяйства соответствует годовая выработка электроэнергии около 250 млрд. квтч.

Насколько наша страна в этом отношении далеко ушла вперед за годы советской власти, видно из того, что в дореволюционной России в 1913 г. мощность всех электростанций составляла только 1 098 тыс. квтч с выработкой электроэнергии около 2 млрд. квтч. По выработке электроэнергии Россия занимала тогда 15-е место в мировом хозяйстве; в настоящее время Советский Союз в этом отношении на много перегнал все капиталистические страны Европы и вышел на второе место в мире.

Директивы наглядно показывают, что наша страна идет по пути мирного хозяйственного и культурного строительства, по пути строительства коммунизма, в то время как весь капиталистический мир лихорадочно переводит все свое хозяйство на военные рельсы, готовясь разжечь новую мировую войну.

Одно из важнейших мест в директивах XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану занимают вопросы развития энергетики и дальнейшей электрификации страны.

Гениальные вожди революции — творцы Советского государства Ленин и Сталин — всегда подчеркивали важнейшее значение электрификации для строительства и победы коммунизма в нашей стране.

Еще весной 1920 г. по указанию В. И. Ленина была создана широкая Государственная комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО),

к работе которой были привлечены крупнейшие специалисты. Товарищ Сталин высоко оценил работу этой комиссии. В письме к В. И. Ленину он так отзывался о плане ГОЭЛРО, составленном этой комиссией: «Мастерский набросок действительно *единого* и действительно *государственного* хозяйственного плана без *кавычек*. Единственная в наше время марксистская попытка подведения под советскую надстройку хозяйственно-отсталой России действительно реальной и единственно возможной при нынешних условиях технически-производственной базы» (Соч., т. 5, стр. 50).

Разъясняя гениальное ленинское изречение «Коммунизм — это есть советская власть плюс электрификация всей страны», товарищ Сталин пишет: «...для продвижения к коммунизму Советская власть должна электрифицировать страну...» (Соч., т. 11, стр. 311).

Товарищ Сталин указывает, что «...под электрификацией страны Ленин понимает не изолированное построение отдельных электростанций, а постепенный «перевод хозяйства страны, в том числе и земледелия, на новую техническую базу, на техническую базу современного крупного производства», связанного так или иначе, прямо или косвенно, с делом электрификации» (Соч., т. 11, стр. 254).

В директивах подчеркивается необходимость опережающего развития энергетики как одного из условий для успешного развития народного хозяйства. Предусматривается обеспечение высоких темпов наращивания мощностей электростанций в целях более полного удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства и бытовых нужд населения в электроэнергии, а также увеличения резерва в энергетических системах. Если повышение уровня промышленного производства за пятилетие устанавливается примерно на 70%, то по выработке электроэнергии рост должен составить в 1955 г. по сравнению с 1950 г. 80%.

Особое внимание в директивах уделяется развитию гидроэнергетики. При увеличении за пятилетие общей мощности электростанций примерно вдвое мощность гидроэлектростанций увеличивается втрое. Вводится в действие Куйбышевская гидроэлектростанция мощностью 2 100 тыс. квтч, а также Камская, Горьковская, Мингечаурская, Усть-Каменогорская и др. общей мощностью 1 916 тыс. квтч. Будет развернуто строительство Сталинградской, Каховской и Новосибирской гидроэлектростанций и начато строительство новых

крупных гидроэлектростанций: Чебоксарской на Волге, Воткинской на Каме, Бухтарминской на Иртыше и ряда других.

В директивах имеется также указание о начале работ по использованию энергетических ресурсов реки Ангары для развития на базе дешевой электроэнергии и местных источников сырья алюминиевой, химической, горнорудной и других отраслей промышленности.

Такая гигантская программа строительства гидроэлектростанций под силу только нашей стране, строящей под гениальным руководством великого Сталина коммунистическое общество.

Несмотря на то, что наша страна по запасам гидроэнергии занимает первое место в мире, до-революционная Россия не имела районных гидроэлектростанций. Гидроэлектростроительство началось только при советской власти и является ее детищем.

Размах гидростроительства особо подчеркивается тем, что наряду с сооружением гигантских гидроэлектростанций с выработкой миллиардов киловаттчасов дешевой электроэнергии в каждом отдельном случае комплексно решаются вопросы великого сталинского плана преобразования природы с орошением и обводнением обширных площадей засушливых земель и развитием водного транспорта.

Наряду с грандиозным строительством гидроэлектростанций предусматривается также значительный рост мощностей тепловых электростанций, в первую очередь за счет расширения действующих предприятий. В целях серьезного улучшения электроснабжения Юга, Урала, Кузбасса предусматривается значительный рост мощностей тепловых районных и заводских электростанций в этих районах. Намечено также сооружение небольших и средних электростанций для электроснабжения городов и районов.

Яркой иллюстрацией сталинской национальной политики является предусмотренное в директивах по пятому пятилетнему плану увеличение выработки электроэнергии в 2—2,5 раза в прибалтийских советских республиках: Литовской ССР, Латвийской ССР и Эстонской ССР с постройкой Нарвской гидроэлектростанции, Рижской теплоэлектроцентрали и Каунасской гидроэлектростанции, а также проведение проектно-изыскательских работ по строительству гидроэлектростанций в этих республиках.

Наряду с количественным ростом в 1951—1955 гг. энергетических мощностей предусматриваются большие качественные изменения, связанные с широким внедрением передовой техники в энергетику. Мощность тепловых электростанций на высоких параметрах пара в 1955 г. превысит 50% и в строй войдет начатая строительством мощная электростанция на подмосковном угле с турбогенераторами единичной мощности 150 тыс. квт на 3 000 об/мин со сверхвысокими параметрами пара — давлением 170 ат и температурой 550° С. Коэффициент полезного действия этой электростанции достигнет 37% и будет рекордным для тепловых конденсационных электростанций, работающих на водяном паре.

Внедрение и освоение пара высоких параметров особо показательны, если учесть, что в 1946 г.

мощность тепловых электростанций на высоком давлении составляла всего лишь 2,7%.

Также значительны наши достижения в области снижения удельных расходов топлива на выработку электроэнергии. В пятой пятилетке намечается дальнейшее снижение удельных расходов топлива на базе внедрения новой техники — высоких и сверхвысоких параметров пара, автоматизации производственных процессов и широкого использования теплофикации — комбинированной выработки электрической и тепловой энергии.

Теплофикация, начавшая свое бурное развитие после решения пленума ЦК ВКП(б) в 1931 г., обсужденного по инициативе товарища Сталина вопросы развития теплофикации, нашла свое отражение в директивах, где предусмотрено обеспечение строительства теплоэлектроцентралей и теплосетей для осуществления широкой теплофикации городов и промышленных предприятий.

Успехи в области улучшения топливоиспользования особо разительны, если учесть, что план ГОЭЛРО предусматривал снижение удельных расходов условного топлива с 1,4 кг/квтч (в 1920 г.) до 0,9 кг/квтч (к 1936 г.), а в 1950 г. электростанции Министерства электростанций расходовали на один выработанный киловаттчас 539 г условного топлива.

В новой пятилетке войдет в работу линия электропередачи Куйбышев—Москва протяженностью около 1 000 км, напряжением 400 кв, между тем как самое высокое напряжение на линиях электропередачи, достигнутое в США, не превышает 287 кв.

Директивы предусматривают широкое применение автоматизации производственных процессов на электростанциях, завершение полной автоматизации районных гидроэлектростанций и внедрение телемеханизации в энергетических системах.

Грандиозная программа электрификации и энергостроительства, намеченная в директивах XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану, должна быть обеспечена со стороны энергомашиностроительных заводов и строительных организаций.

В директивах указано, что особо важной задачей в машиностроении является полное обеспечение оборудованием электрических станций с развитием в необходимых количествах производства гидравлических и паровых турбин, генераторов, высоковольтной аппаратуры и различных приборов управления для крупных гидравлических и тепловых электростанций. По энергомашиностроению предусматривается рост производства в 1955 г. по сравнению с 1950 г. паровых турбин в 2,3 раза, гидротурбин в 7,8 раза, паровых котлов в 2,7 раза.

Для выполнения этой программы по выпуску энергооборудования намечаются сооружение и ввод в действие новых заводов, а также реконструкция действующих предприятий энергетического машиностроения.

В целях обеспечения выполнения грандиозных работ по строительству энергетических объектов директивы предусматривают дальнейшее развитие строительной индустрии и укрепление строительных организаций Министерства электростанций,

а также организаций, осуществляющих строительство заводов энергетического оборудования.

В директивах имеется также требование об улучшении проектного дела, сокращении сроков проектирования и своевременном обеспечении строительства проектами и сметами, широком внедрении типового проектирования и укреплении проектных организаций квалифицированными кадрами.

Задачи, стоящие перед энергетиками в деле осуществления пятой Сталинской пятилетки, заключаются в обеспечении полного и бесперебойного энергоснабжения всего народного хозяйства, в достижении заданных технических и экономических показателей, безусловном выполнении программы строительства электростанций и сетей.

Энергетики-строители, перед которыми ставятся большие и почетные задачи по осуществлению грандиозного плана строительства электростанций и сетей, для успешного выполнения этих задач должны уделить самое серьезное внимание массовому внедрению в строительство передовых методов организации и производства работ с применением высокопроизводительных механизмов.

Строители должны добиться сокращения сроков строительства электрических станций и сетей. Максимальное развитие поточно-скоростного строительства и монтажа на базе передовых методов организации производства работ является неотложной и первейшей задачей строителей.

Необходимо максимально внедрять крупноблочный монтаж основного и вспомогательного оборудования, а также строительных конструкций. Как показал опыт передовых строек Министерства электростанций, этот метод дает большое сокращение сроков строительства и монтажа, значительно повышает производительность труда.

Следует всемерно расширять применение инвентарных сборно-разборных сооружений в строительстве подсобных предприятий и в жилищном строительстве.

Перед работниками эксплуатации стоят задачи полного освоения новой техники, внедряемой в нашу энергетику, и в первую очередь пара высоких параметров и автоматизации производственных процессов. Имеются еще электростанции с высокими параметрами пара, которые до сих

пор не достигли проектных показателей в эксплуатации. Задача заключается в том, чтобы в пятом пятилетии полностью освоить новую технику и до конца использовать все заложенные в ней возможности.

Учитывая, что в пятом пятилетии предстоит ввести в эксплуатацию очень большие мощности и в максимально короткие сроки их освоить, необходимо особое внимание уделить подготовке квалифицированных кадров строителей, монтажников и эксплуатационников, заблаговременно готовить новые кадры и повышать квалификацию наличного персонала. Наши электростанции должны быть самыми передовыми в мире не только по техническому уровню установленного на них оборудования, но и по культуре эксплуатации этого оборудования.

Советские энергетики, имеющие большие успехи в деле разрешения ряда новых технических проблем, как, например, в вопросах сжигания местных низкосортных топлив, должны эти успехи расширить и приумножить.

Большую роль в этом должны сыграть наши научно-исследовательские институты и наладочные организации. Имеющаяся во ВТИ уникальная установка на сверхвысокие параметры пара с котлом на 300 ат и 600°С должна быть полностью использована для научно-исследовательских работ и помощи энергетикам в решении технических задач пятой пятилетки. Большие и почетные задачи стоят перед Институтом постоянного тока. При тех больших мощностях и расстояниях, на которые придется эти мощности передавать с вводом в действие сверхмощных гидроэлектростанций, успешное разрешение всех технических проблем, связанных с применением постоянного тока сверхвысокого напряжения, должно сыграть большую роль. Только в нашей стране научно-исследовательским организациям созданы все необходимые условия для успешного разрешения подобных задач.

Советские энергетики, воспитанные партией Ленина — Сталина и окруженные повседневной заботой партии и правительства, сумеют успешно и полностью разрешить поставленные перед ними грандиозные задачи пятого пятилетнего плана.

□ □ □

*Увеличить за пятилетие общую мощность электростанций, примерно вдвое, а гидроэлектростанций — втрое, обеспечив в части тепловых электростанций в первую очередь расширение действующих предприятий.*

*(Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы)*

## Предотвращение коррозии и забивания золой воздухоподогревателей котельных агрегатов

Инж. И. Б. Варавицкий, инж. Е. С. Иванов и инж. Л. Б. Кроль

Наиболее часто заменяемым элементом поверхности нагрева котельных агрегатов является воздухоподогреватель или его отдельные части. Особенно быстро ухудшается работа воздухоподогревателей на электростанциях, работающих на влажном и серосодержащем топливе. Это объясняется коррозией и забиванием золой первых по ходу воздуха элементов воздухоподогревателей.

На ряде электростанций, работающих на торфе, буром угле, сернистом мазуте или угле и т. п., ежегодно заменяют частично или полностью воздухоподогреватель одного котлоагрегата из 8—10 установленных. Через 1½—2 мес. после капитального ремонта значительная часть труб нового воздухоподогревателя уже забивается золой, а через 3—4 года в результате коррозии первые по ходу воздуха элементы становятся неплотными. До новой замены этих элементов котельный агрегат работает с неплотным или загрязненным воздухоподогревателем.

Забивание золой и коррозия воздухоподогревателей вызывают необходимость проведения трудоемких и дорогостоящих работ по их очистке и замене. В промежутках между чистками или более дорогими ремонтами воздухоподогревателя резко ухудшается его тепловая работа и увеличивается газовое сопротивление, что связано с большими потерями топлива, увеличением расхода электроэнергии на тягу, а в некоторых случаях и с ограничением паропроизводительности котельного агрегата.

В качестве примера можно указать, что на одной крупной грэс, работающей на торфе, при 15 действующих котельных агрегатах помимо работ, выполняемых в период капитального ремонта, ежемесячно в среднем на 2—3 агрегатах производится ремонт воздухоподогревателей с очисткой, уплотнением и опрессовкой.

Эксплуатационные испытания, произведенные до и после капитального ремонта, с заменой воздухоподогревателя одного из этих котлоагрегатов показали, что в результате ремонта средняя паропроизводительность повысилась с 66,2 до 84,7 т/час, а газовое сопротивление воздухоподогревателя снизилось с 68 до 42 мм вод. ст. и всего агрегата примерно на ту же величину (27 мм вод. ст.). Еще более резко снизилось газовое сопротивление воздухоподогревателя и всего агрегата в целом (на 70 мм вод. ст.) после частичной замены воздухоподогревателя на другом котельном агрегате той же электростанции.

У этих двух котельных агрегатов избыток воздуха за воздухоподогревателями до их замены

был  $\alpha''_{\text{вн}} = 2,4 - 2,45$ , причем только в газоходе воздухоподогревателя присосы воздуха характеризовались величиной  $\Delta\alpha''_{\text{вн}} = 0,9$ . После ремонта было получено  $\alpha''_{\text{вн}} = 1,7$ . Это значение тоже еще велико, однако после ремонта к. п. д. обоих агрегатов значительно повысился.

На другой электростанции, работающей на мазуте, по данным эксплуатационного персонала, воздухоподогреватели работают обычно с забитыми на 25—30% трубками.

### Защита воздухоподогревателей от коррозии и загрязнения

Для того чтобы предупредить конденсацию паров, содержащихся в дымовых газах, и тем самым предотвратить коррозию и забивание золой воздухоподогревателей, в настоящее время широко применяется подача путем рециркуляции горячего воздуха во всас дутьевых вентиляторов. Согласно «Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей» при сжигании бурых углей и торфа должен производиться с помощью рециркуляции подогрев воздуха, поступающего в воздухоподогреватель, по крайней мере до 55—60°С. Как показывает опыт эксплуатации, для надежного предотвращения конденсации паров из дымовых газов необходимо повышение этих температур, особенно в случае сжигания весьма влажного или сернистого топлива.

Подача горячего воздуха во всас дутьевого вентилятора вместе с тем вызывает ухудшение тепловой работы воздухоподогревателя и увеличение расхода электроэнергии на дутье из-за прокачки через воздухоподогреватель дополнительного количества воздуха (рециркулируемого) и пропуска через вентилятор подогретого (после смешения) воздуха. Кроме того, обычно заслонки для регулирования количества подаваемого на рециркуляцию воздуха расположены далеко от поста машиниста котла и настолько неудобно, что ими практически почти не пользуются.

Самое главное, однако, заключается в том, что при пуске, остановке котлоагрегатов и при резком снижении нагрузки рециркуляция не может предотвратить конденсации паров и протекающих в эти периоды явлений коррозии и загрязнения воздухоподогревателей.

Упомянутая в литературе установка теплообменника для передачи части тепла горячего воздуха воздуху, подаваемому в воздухоподогре-

ватель, удорожает и усложняет устройство для предварительного подогрева воздуха и также не может исключить конденсацию паров в воздухоподогревателе при различных нестационарных режимах работы котлоагрегата. На практике такие теплообменники не применяются.

Предлагавшееся выполнение входной (по воздуху) части воздухоподогревателя из легированного, стойкого против коррозии, металла удорожает воздухоподогреватель и вместе с тем ничего не может изменить в условиях его загрязнения.

Надежным средством для защиты воздухоподогревателя от коррозии и забивания золой является предварительный, достаточно высокий подогрев холодного воздуха посторонним источником тепла, например, паром.

Важнейшим преимуществом схемы работы с паровым подогревом воздуха, по сравнению с другими способами защиты воздухоподогревателей от коррозии и загрязнения, является независимость источника для подогрева воздуха от работы котельного агрегата. Более того, при всех наиболее опасных для воздухоподогревателя режимах (пуск, остановка, сброс нагрузки) расход воздуха снижается, а количество пара, подаваемого для его подогрева, может оставаться неизменным. Благодаря этому без вмешательства персонала получается более высокий подогрев воздуха в те периоды, когда это желательно с точки зрения сохранности воздухоподогревателя.

При паровом подогреве воздуха отпадает необходимость в прокачивании через воздухоподогреватель той части воздуха, которая при рециркуляции поступает на смешение перед вентилятором. На влажном топливе эту долю воздуха приходится повышать до 12—15% и более. Паровой подогреватель воздуха устанавливается за вентилятором (на напорной стороне), благодаря чему через вентилятор проходит воздух, менее нагретый, чем при рециркуляции.

Указанные особенности схемы подогрева воздуха паром обеспечивают снижение расхода электроэнергии на дутье.

Предложения о подогреве паром воздуха на входе в воздухоподогреватели делались и ранее<sup>1</sup>. Однако, по видимому, из-за отсутствия в них правильной оценки получающегося повышения температуры уходящих газов в связи с решением вопроса о его компенсации эти предложения не получили распространения. Только при наличии такой компенсации и надлежащей конструктивной и технико-экономической проработки внедрение схемы парового подогрева воздуха является целесообразным.

Работы Котельной лаборатории ВТИ показали, что использование для подогрева воздуха отработавшего пара из турбин либо других тепловых отходов обеспечивает экономию топлива, несмотря на некоторое повышение температуры уходящих газов.

Было выявлено и второе важное обстоятельство, а именно, что паровой подогреватель может быть выполнен с небольшим воздушным сопротивлением, которое с избытком компенсируется уменьшением сопротивления воздухоподогревателя при отказе от рециркуляции горячего воздуха.

<sup>1</sup> Техсо, серия VII, 1948, № 131/16.

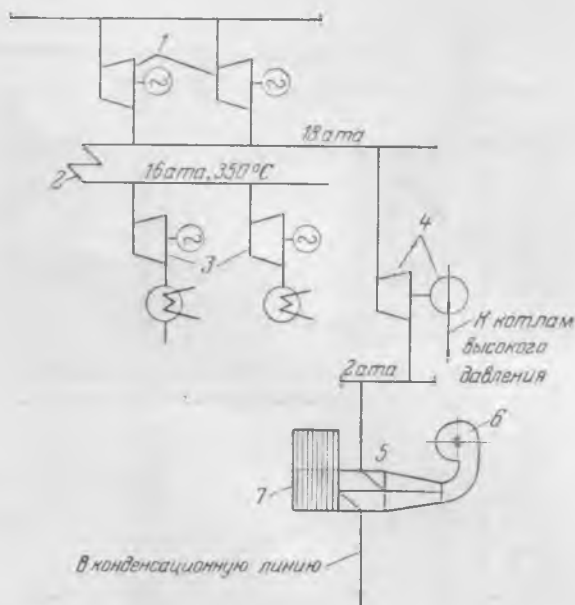


Рис. 1. Включение парового подогревателя воздуха в тепловую схему блока высокого давления грэс. 1—турбоагрегат высокого давления с противодавлением; 2—промежуточный газовый пароперегреватель; 3—турбоагрегат низкого давления; 4—турбонасос; 5—паровой подогреватель; 6—дутьевой вентилятор; 7—первая ступень воздухоподогревателя (по ходу воздуха).

В 1951 г. для котельного агрегата высокого давления 70 т/час упомянутой грэс был разработан проект установки для предварительного подогрева паром воздуха, поступающего в трубчатый воздухоподогреватель (трубки диаметром  $40 \times 1,5$  мм). Котельный агрегат работает на фрезерном торфе влажности 49—52%.

В установке используется пар, предварительно совершивший работу последовательно в турбинах высокого давления и приводных турбинах постоянно действующих питательных насосов (см. принципиальную тепловую схему на рис. 1).

### Эксплуатация установки для подогрева воздуха паром

Установка для подогрева воздуха паром была изготовлена и смонтирована силами грэс в период текущего ремонта котлоагрегата<sup>2</sup>.

Паровой подогреватель состоит из двух секций, установленных в напорных воздуховодах перед воздухоподогревателем котла (рис. 2). Каждая секция выполнена из 15 змеевиков, включенных в вертикальные коллекторы для подвода пара и отвода конденсата. Змеевики изготовлены из имевшихся на грэс и не использованных труб маслоохладителей от трансформатора наружным диаметром 38 мм, оребренных спиральной навивкой стальной ленты шириной 24,5 мм и толщиной 1 мм. Общая поверхность нагрева паровых подогревателей (с ребрами) составляет 641 м<sup>2</sup>.

Во время капитального ремонта 1951 г. трубы воздухоподогревателя были полностью очищены

<sup>2</sup> Активное участие в создании установки приняли начальник Эксплуатационного отдела В. М. Посутман, начальник котельного цеха П. И. Курочкин, его заместитель В. Н. Теплинский и мастер котельного цеха Б. В. Вагин.

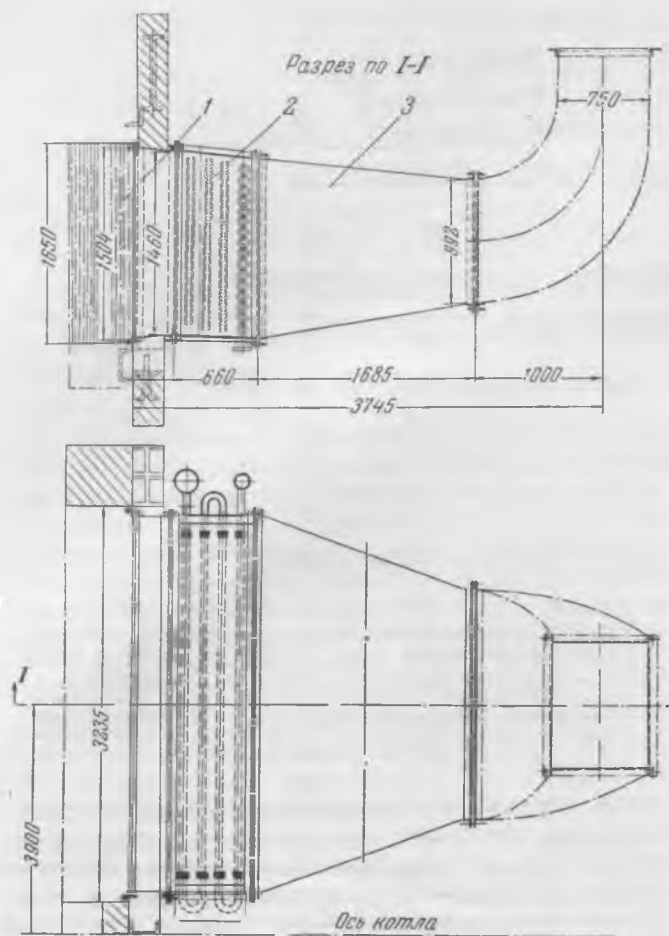


Рис. 2. Установка для подогрева воздуха паром.  
1—воздухоподогреватель; 2—паровой подогреватель воздуха;  
3—напорный короб.

от золы с газовой стороны. Через 2½ мес. работы котлоагрегата с рециркуляцией горячего воздуха при очередном текущем ремонте был произведен специальный осмотр воздухоподогревателя, причем оказались забитыми 21% его труб. Эти трубы были очищены, и агрегат был пущен с включенным паровым подогревателем и отключенной рециркуляцией.

С декабря 1951 г. установка для подогрева воздуха паром находится в постоянной эксплуатации. Она обеспечивает подогрев воздуха от 40—45 до 85—87° С, т. е. до температуры, evidentemente, полностью исключающей конденсацию водяных паров, содержащихся в дымовых газах. Паровые подогреватели включаются до начала растопки котлоагрегата и отключаются после остановки. В течение около года работы с паровым подогревом воздуха производятся регулярные осмотры воздухоподогревателя, показавшие, что трубы остаются чистыми и сухими и ни одна из них не забита золой.

Таким образом, было подтверждено, что паровой подогрев воздуха отвечает своему основному назначению, т. е. предохраняет воздухоподогреватель от забивания золой и, исключая коррозию, удлинит срок его службы.

Тепловая работа воздухоподогревателя, его воздушное сопротивление, а также изменения в расходе топлива и расходе электроэнергии на

собственные нужды котлоагрегата характеризуются данными испытания (табл. 1).

Испытание проводилось при работе котлоагрегата с рециркуляцией горячего воздуха и отключенным паровым подогревателем, а затем с включенным подогревателем и отключенной рециркуляцией воздуха. В последнем случае опыты производились с различным подогревом воздуха: до 60° С и до 85° С. Опыты были проведены при одинаковом эксплуатационном режиме в течение одной смены при одном и том же персонале для того, чтобы исключить какую-либо разницу в условиях работы котлоагрегата.

Результаты опытов показали следующее: в подогреватель подавался насыщенный пар с давлением 1,1—1,2 ата; дополнительный нагрев воздуха в разных опытах составлял 17—40° С при начальной температуре 43—45° С; соответствующее количество тепла, переданного паром воздуху, колебалось в пределах от 440 до 1 017 тыс. ккал/час. Воздушное сопротивление парового подогревателя составляло 11,2—11,8 мм вод. ст.

### Экономия топлива, электроэнергии и окупаемость первоначальных затрат

Тщательно и повторно проведенные во время испытания измерения показали, что при переходе от рециркуляции к подогреву воздуха паром до 85—87° С температура уходящих газов повышается на 5° С. Для данного топлива и избытка воздуха это соответствует увеличению тепла, уносимого с уходящими газами, на 0,4%.

С другой стороны, для подогрева воздуха используется некоторое количество выхлопного пара турбин питательных насосов, подавлявшего из-за отсутствия потребителя регенеративные отборы турбин низкого давления. Благодаря этому увеличивается отбор пара для регенерации, что означает увеличение выработки электроэнергии на отборном паре. При неизменной величине выработки электроэнергии на электростанции уменьшается потеря со скрытой теплотой пара в конденсаторах турбинного цеха.

В общем виде дело сводится к нахождению таких соотношений, при которых уменьшение потерь в машинном зале превышало бы увеличение потери тепла в котельном цехе.

В данном случае уменьшение потерь в машинном зале соответствует 0,94 и 1,43% от расхода топлива котельным агрегатом в зависимости от температуры подогретого воздуха. Чистая экономия топлива в опыте с подогревом воздуха составляет:

при подогреве до 60° С . . . 147 кг/час торфа, или 0,54%  
при подогреве до 84,5° С . . . 280 кг/час торфа, или 1,03%

Полученная чистая экономия топлива в зависимости от тепловой нагрузки парового подогревателя графически представлена на рис. 3. Как видно из графика, с увеличением тепловой нагрузки подогревателя величина экономии топлива увеличивается, но кривая, характеризующая эту величину, начинает постепенно приближаться к точке максимума. Представляет интерес в дальнейшем определить ту предельную температуру

Наименование	При рециркуляции, без парового подогрева	При паровом подогреве	
		до 84,5°C	до 60°C
Паропроизводительность, $m^3/ч$	61,5	63,2	64,0
Влажность топлива $W^p$ , %	49,3	49,1	49,1
Зольность топлива $A^p$ , %	6,7	6,5	6,5
Количество воздуха, поступающего в вентиляторы, $н.м^3/ч$	82 800	82 950	82 900
Температура воздуха перед паровыми подогревателями, °C	61	44,5	43
Температура уходящих газов, °C	183	188	182
CO <sub>2</sub> за водяным экономайзером I ступени (по ходу газов), %	15,5	15,4	15,8
Температура воздуха перед воздухоподогревателем II ступени (по ходу газов), °C	61	84,5	60
Давление за котлоагрегатом, $атм$	107	104	108
Температура пара на выходе из котлоагрегата, °C	454	449	459
Количество вторичного пара, $m^3/ч$	88	88	91
Температура пара на выходе во вторичный перегреватель, °C	250	257	250
Температура пара на выходе из вторичного перегревателя, °C	366	366	368
Давление пара на входе и выходе вторичного перегревателя, $атм$		17,5/16,5	
Температура питательной воды, °C	116	110	111
Величина нагрева воздуха в паровом подогревателе воздуха, °C	0	40	17
Количество тепла, переданного в подогревателе, $ккал/ч$	0	1 047 · 10 <sup>3</sup>	440 · 10 <sup>3</sup>
Воздушное сопротивление парового подогревателя, $мм вод. ст.$	15	11,2	11,8
Расход электроэнергии на тягу (по счетчику), $квтч/т$ пара	3,36	3,43	3,34
Расход электроэнергии на дутье (по счетчику), $квтч/т$ пара	3,13	2,31	—

воздуха за паровым подогревателем, до которой величина экономии продолжает еще расти.

Величина чистой экономии топлива непосредственно зависит от степени использования пара, подаваемого в подогреватель, для выработки электроэнергии в турбинах. При использовании острого пара ликвидация коррозии и забивания воздухоподогревателей с помощью парового подогрева воздуха связана с некоторым перерасходом топлива. Расчеты показывают, что при использовании пара из регулируемого отбора турбин среднего давления типа АП и тем более типа АТ уже получается экономия топлива. На электростанциях высокого давления при использовании отработавшего пара эта экономия соответственно увеличивается.

Особенно велика экономия в тех случаях, когда благодаря использованию пара из отбора или противодавления удастся дополнительно загрузить генератор. Это может иметь место у турбины с противодавлением или с частью низкого давления, не обеспечивающей полной загрузки генератора при недогруженных отборах. В таких случаях дополнительная выработка электроэнергии на отработавшем паре, подогревающим воздух, вытесняет выработку наименее экономичного турбоагрегата энергосистемы.

Вполне возможно и целесообразно использование для подогрева воздуха и других тепловых «отходов» (неиспользуемое тепло продувочной воды котлов, дренажей паропроводов, выпарного пара испарителей и т. п.).

При паровом подогреве воздуха по сравнению с режимом работы с рециркуляцией горячего воздуха расход электроэнергии на дутье уменьшается благодаря устранению рециркулируемого воздуха, уменьшению температуры воздуха, проходящего через вентилятор, и уменьшению сопротивления воздухоподогревателя. В данном случае уменьшение расхода электроэнергии на дутье,

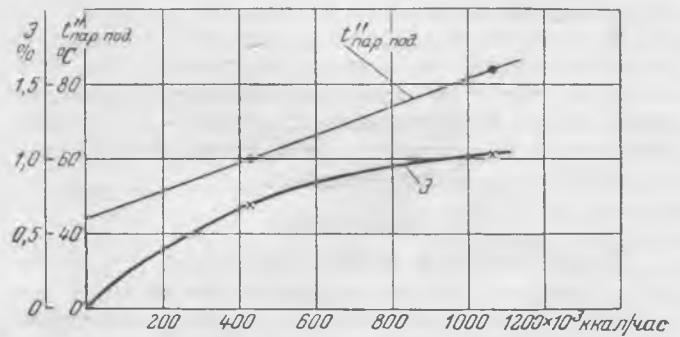


Рис. 3. Зависимость экономии топлива и температуры воздуха за паровым подогревателем от количества тепла, переданного в паровом подогревателе.

Э — экономия топлива;  $t'_{\text{пар. под}}$  — температура воздуха за паровым подогревателем.

отнесенное к 1 т выработанного пара, составило 0,82  $квтч/т$  пара.

Расход электроэнергии на тягу вырастает за счет повышения температуры уходящих газов и уменьшается за счет понижения скоростей газа при чистых трубах воздухоподогревателя и уменьшения количества сжигаемого топлива. В данных опытах разница в расходе электроэнергии на тягу находилась в пределах точности измерений и потому не учтена.

Достигнутая ежегодная экономия в стоимости топлива и электроэнергии, по данным испытания, составляет 133 000  $руб./год$  (принято число часов использования агрегата 6 500 при средней его паропроизводительности 65  $т/ч$ ).

Изготовленный на грэс паровой подогреватель вызвал затраты на общую сумму 30 тыс.  $руб.$  (вместе со стоимостью монтажа и прокладки паро- и конденсатопровода).

Эти затраты, следовательно, окупаются за срок около трех месяцев только достигнутой непосредственно экономией топлива и электроэнергии, не считая дальнейшей экономии за счет чистоты,

Наименование	Сернистый мазут		Зольный лигнит
	I вариант	II вариант	
Паропроизводительность агрегата, $m^3/члс$ . . . . .	100	100	30
Греющий пар (у турбины) . . . . .	Из отбора 5,5 <i>атл</i>	Из противодавления 2,5 <i>ата</i>	Из отбора 3,5 <i>ата</i>
Подогрев воздуха, °С . . . . .	До 110	До 105	До 78
Экономия топлива (натурального), $m^3/год$ . . . . .	244	1 020	1 000
То же, % . . . . .	0,7	2,4	1,17
Экономия электроэнергии, $квтч/год$ . . . . .	300 000	300 000	140 000

плотности и удлинения срока службы воздухоподогревателя.

Учитывая достигнутые результаты, было принято решение об устройстве парового подогрева воздуха и на других котлоагрегатах грЭС.

Котельная лаборатория ВТИ в содружестве с одной из электростанций и с проектной конторой треста «Киевпромэнергомонтаж» выполнила проекты установок для подогрева воздуха отработавшим паром в котельных агрегатах, работающих на сернистом мазуте ( $S^p = 2,5\%$ ) и на влажном и зольном лигните ( $W^p = 45\%$ ,  $A^p = 25\%$ ). Некоторые технико-экономические характеристики их приведены в табл. 2.

Как видно из таблицы, экономия топлива и электроэнергии достигается не только там, где паровой подогрев воздуха заменяет рециркуляцию, но при определенных условиях — и в случае отсутствия рециркуляции (как на мазутной грЭС) при сжигании сухого топлива.

### Выводы

Эксплуатация и испытание первой установки для подогрева воздуха показали, что паровой подогрев воздуха, поступающего в воздухоподогреватель, является надежным средством для его защиты от коррозии и забивания золой. При наличии на электростанциях свободного отработавшего пара или других «дешевых» тепловых ресурсов паровой подогрев воздуха является средством для расширения выработки электроэнергии на базе теплового потребления в течение всего года и улучшает технико-экономические показатели работы электростанции. Экономия 1% топлива, как в случае, описанном выше, с помощью простых устройств, не потребовавших переделок в самом котлоагрегате, представляет весьма ощутимую величину. Это позволяет ставить вопрос о выполнении таких устройств и для котельных установок, работающих на сухом топливе, где опасность коррозии и загрязнения воздухоподогревателей меньше.

В таких установках паровой подогрев воздуха должен применяться главным образом для расширения использования регенеративных или теплофикационных отборов пара из турбин.

Если паровой подогрев воздуха предусмотреть при проектировании новых электростанций и котлоагрегатов или при их расширении и реконструкции, то экономический эффект от его применения будет еще выше.

Особенно велика актуальность подогрева воздуха паром для электростанций тех энергетических систем, в которые входят мощные гидроэлектростанции — в первую очередь гидроэлектростанции великих строек коммунизма — Куйбышевская, Сталинградская. Частые сбросы нагрузки и остановки котлоагрегатов электростанций, покрывающих в определенный период года пиковую часть графика нагрузки, в таких энергосистемах при отсутствии парового подогрева воздуха вызывают быстрое и сильное забивание золой воздухоподогревателей и интенсивную коррозию их. В этих условиях весьма ценным оказывается отмеченное выше свойство установок для подогрева воздуха увеличивать без вмешательства персонала температуру воздуха на входе в воздухоподогреватель при снижении нагрузки котлоагрегата.

На некоторых электростанциях работают паровые турбины с отбором пара и недостаточно развитыми частями низкого давления и конденсаторами. При снижении тепловых нагрузок в теплое время года такие турбины часто работают с пониженной, по сравнению с номинальной, мощностью. В подобных случаях паровой подогрев воздуха может устранить сезонную недогрузку турбоагрегатов и дать большую экономию топлива.

Изложенный материал еще раз показывает, что правильное решение вопроса о создании наиболее экономичной тепловой электростанции требует рассмотрения котельного агрегата не как изолированной и самодовлеющей единицы, а в тесной увязке со всей тепловой схемой электростанции.

В число вопросов, требующих такого совместного решения, кроме температуры питательной воды, перегретого пара, вторичного перегрева, должен быть включен и вопрос о применении в данных конкретных условиях парового подогрева воздуха и об оптимальной температуре перегретого паром воздуха.



*Ввести в действие крупные гидроэлектростанции, в том числе Куйбышевскую на 2100 тыс. квт, а также Камскую, Горьковскую, Мингечаурскую, Усть-Каленогорскую и другие общей мощностью 1916 тыс. квт. Осуществить строительство и ввести в действие линию электропередачи Куйбышев — Москва.*

*(Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы).*

## Эксплуатация шиповых экранов

Инж. С. П. Хижняк и инж. Е. И. Чулков

Эксплуатация хромитовых шиповых экранов показала их преимущество по сравнению с шамотными зажигательными поясами, вследствие чего шиповые экраны получили широкое применение на электростанциях СССР. Так, например, на двух электростанциях, работающих на АШ, за последние два года шиповые экраны были установлены в топках восьми котлов ТКЗ производительностью 150 т/час. Один из этих котлов работает с жидким шлакоудалением.

До установки шиповых экранов зажигательные пояса топок этих котлов высотой 5—6 м выполнялись из шамотного огнеупорного кирпича типа «восьмерка».

Удовлетворительная эксплуатация такого зажигательного пояса длилась в среднем около 700 час., после чего требовалась замена, так как его выгорание вызывало неустойчивое горение в топке и резкое ухудшение к. п. д. котла, особенно при средних и малых нагрузках.

По истечении в среднем 1000 час. после установки нового зажигательного пояса потеря от механического недожога увеличивалась на 1,0—1,5%, а после 1500 час. работы — на 3—4%.

Малая длительность службы шамотного зажигательного пояса требовала частого ремонта котлоагрегата, а следовательно, затраты большого количества времени, материала и рабочей силы для ремонтных работ. Только для одного котла стоимость ремонта зажигательного пояса в среднем составляла около 100 тыс. руб./год. Кроме того, выгорание зажигательного пояса резко снижало надежность эксплуатации котлоагрегата.

После установки шиповых экранов эксплуатация этих котлов резко упростилась, а надежность их работы значительно повысилась.

Шиповые экраны, установленные на восьми котлах и проработавшие 6—12 тыс. час., находи-

лись в хорошем состоянии (рис. 1). Длительность кампании котлов до установки шиповых экранов составила 1000—1500 час., а после их установки она увеличилась до 2500—3500 час.

Значительно сократился объем ремонтных работ и почти в два раза снизилась продолжительность ремонта. До установки шиповых экранов основными ремонтными работами являлись обмурочные, после же установки шиповых экранов основной объем работ при ремонте котла составляют: наружная очистка поверхностей нагрева, ремонт запорной арматуры, промывка труб пароперегревателя и холодной воронки, ремонт вспомогательного оборудования.

Шиповые экраны повысили устойчивость горения топлива и увеличили диапазон регулирования нагрузки котлов. До установки шиповых экранов работа котлов с нагрузкой ниже 120 т/час практически была невозможной из-за частого обрыва факела, а после установки шиповых экранов топки котлов работают устойчиво при снижении нагрузки до 80 т/час. На котлах с шамотными поясами использование автоматики горения составляло 80—85%, а на котлах с шиповыми экранами—98—100%, что создало возможность расширения зоны обслуживания с высвобождением 50% кочегаров. Прекратились случаи появления отдулин, свищей и разрывов экранных труб, происходившие ранее из-за неравномерного выгорания шамотного зажигательного пояса и шлакования, что приводило к тепловой разверке и нарушению циркуляции.

При шамотном зажигательном поясе работа с нагрузкой, близкой к максимальной, увеличивала интенсивность выгорания зажигательного пояса и резко снижала длительность кампании котла. Эксплуатация котлов с шиповыми экранами, покрытыми пластичной хромитовой массой,

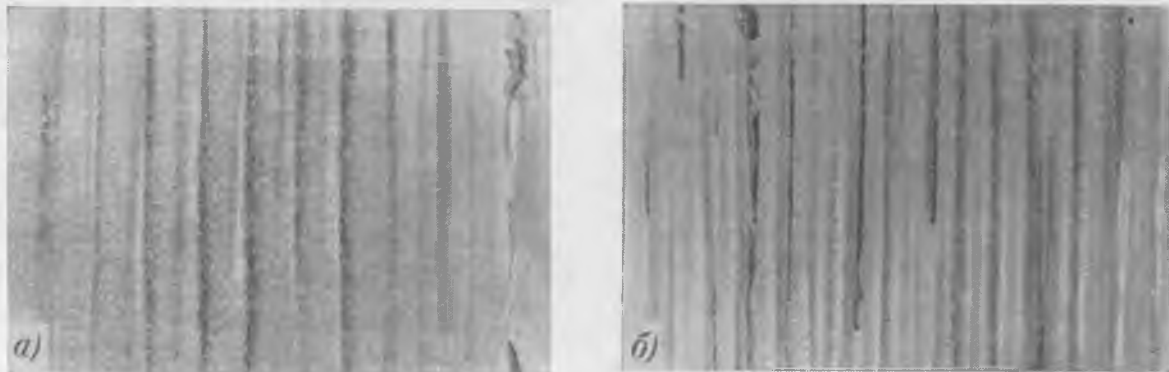


Рис. 1. Шиповые экраны котла, проработавшего 61125 час. (а), и котла, проработавшего 11826 час. (б).

показала, что увеличение их нагрузки оказывает незначительное влияние на состояние шиповых экранов.

Длительная эксплуатация котлов с шиповыми экранами показывает также, что их к. п. д. выше, чем у котлов подобного типа, не имеющих шиповых экранов. Эта разница увеличивается с увеличением длительности кампании котлов.

В табл. 1 приведены сравнительные данные по содержанию горючих в уносе и к. п. д. четырех котлов до и после установки шиповых экранов.

Таблица 1

Содержание горючих в уносе, %		к. п. д. котлоагрегата (брутто), %	
до установки шипового экрана	после установки шипового экрана	до установки шипового экрана	после установки шипового экрана
36,9	27,5	79,2	81,45
37,3	28,8	78,9	81,15
36,5	30,4	79,3	80,9
38,9	30,1	79,2	81,7

Кроме указанных преимуществ, шиповые экраны являются также надежной защитой от выгорания огнеупорной кладки за экранными трубами.

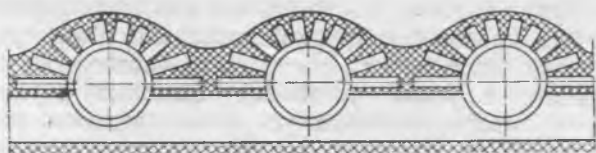


Рис. 2. Конструкция шиповых экранов с шипами различной длины при шаге между трубами 200 мм.

Таким образом, конструкция и технология изготовления шиповых экранов с набивкой их пластичной хромитовой массой вполне оправдали себя в эксплуатации.

Большая часть шиповых экранов в топках котлов выполнялась из труб  $83 \times 6$  мм. В начальной стадии к трубам приваривались шипы диаметром 9—12,5 мм одинаковой длины (30—35 мм) в шахматном порядке, с шагом в вертикальном направлении 40 мм, а на полуокружности труб — под углом  $20^\circ$ .

Так как шаг экранных труб составлял 200 мм, то при длине шипов 35 мм между трубами оста-

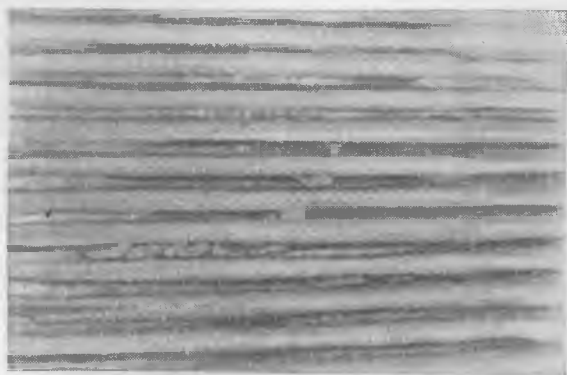


Рис. 3. Опытный участок шипового экрана с индивидуальной набивкой хромитовой массой после 286 час. работы.

вались зазоры величиной до 70 мм, не заполненные шипами.

Для уменьшения этих зазоров в дальнейшем стали приваривать шипы различной длины. Шипы, направленные в сторону топки, выполнялись длиной до 25—30 мм, а приваренные по боковым образующим труб имели длину до 50 мм (рис. 2). В обоих случаях шиповые экраны заполнялись пластичной хромитовой массой монолитно.

Длительная эксплуатация подтвердила целесообразность применения шипов различной длины. Такой зажимательный пояс после 6 000 час. работы представлял почти сплошной монолит (см. рис. 1,а).

В экранах с шипами одинаковой длины происходит оползание хромитовой массы с образованием зазоров между трубами (рис. 1,б). В зависимости от продолжительности службы эти зазоры увеличиваются, что влечет выгорание шамотной кладки за экранными трубами.

Более интенсивное выгорание обмуровки за экранными трубами наблюдалось на опытном экране, у которого ошипованные трубы набивались пластичной хромитовой массой индивидуально (рис. 3). За этим экраном шамотная кладка через 12 000 час. в отдельных местах выгорела на 250 мм.

Таким образом, при шаге экранных труб 200 мм лучшим оказался шиповой экран, выполненный из труб с шипами различной длины и с монолитной хромитовой обмазкой.

Чтобы предотвратить оползание хромитовой массы, образование просветов между трубами и повысить стойкость зажигательного пояса, был уменьшен шаг между экранными трубами, с применением развилки из труб  $83 \times 3,5$  — 4 (рис. 4).

Экраны с развилкой через одну трубу (рис. 4,а) находят длительное время в эксплуатации и ненормальности в их работе не наблюдаются. Эти экраны имеют шипы одинакового размера (30 мм). На одной трубе в шахматном порядке приварено 9 шипов в двух соседних по высоте рядах полуокружности, а на рядом расположенной трубе — только пять шипов, обращенных в сторону топки.

Для устранения гидравлической разверки, обусловливаемой параллельной работой труб с развилками и одиночных труб последние были зашайбованы.

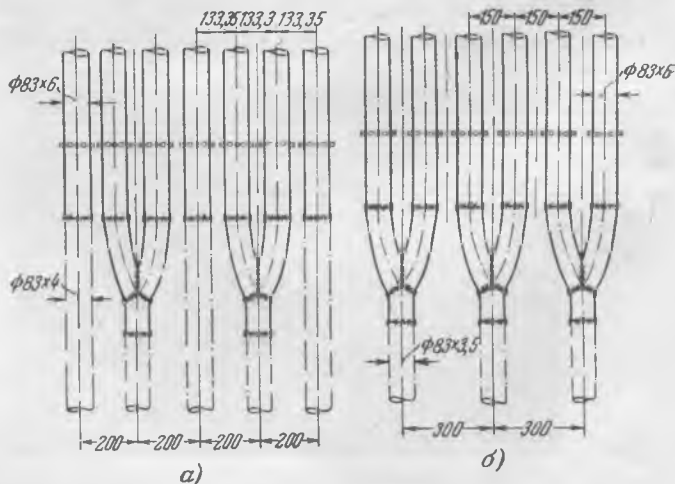


Рис. 4. Конструкции шиповых экранов с развилками.

Марка огнеупорной массы	Химический состав, %						Потеря при пропалывании, %
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	
ПХМ-6 . . . . .	6,85	17,55	18,87	33,40	1,64	18,90	3,30
ПХМ-6 (другого месторождения) . . . . .	6,75	11,18	12,96	50,70	1,09	15,22	2,80
ХО . . . . .		Не определялись		47,10	Не определялись		
Смесь хромитовой руды . . . . .	8,83	19,15	18,28	32,12	1,90	16,81	3,48
Смесь хромитовой руды и магнезита . . . . .	6,44	15,10	16,96	30,48	2,34	26,15	3,06

Другая конструкция шипового экрана с развилками каждой трубы показана на рис. 4,б\*.

Одним из серьезных препятствий для широкого внедрения шиповых экранов оказалось отсутствие на электростанциях труб 83 × 6 мм. Необходимость иметь увеличенную толщину стенки вызывалась главным образом глубиной провара стенки трубы при ошиповке, составляющей, как правило, в первое время 3—3,5 мм, что является недопустимым для тонкостенных труб.

Подбором величины сварочного тока и режима приварки шипов удалось глубину провара стенки трубы снизить до 1—1,5 мм, что позволило перейти на ошиповку труб 83 × 3,5—4 мм. Два шиповых экрана, выполненные из тонкостенных труб, находятся длительное время в эксплуатации.

В процессе освоения шиповых экранов была проведена разработка рецептуры и проверка в работе различных пластичных хромитовых масс.

Плотно прилегая к экранным трубам и шипам, огнеупорная масса интенсивно охлаждается и благодаря наличию густо расположенных и поддерживающих ее шипов подвержена малой нагрузке от собственного веса, что значительно облегчает условия ее работы.

Вместе с тем, эта масса со стороны топки находится под воздействием высокой температуры, а также подвергается химическому и механическому воздействию расплавленной золы топлива, а потому она должна обладать достаточной огнеупорностью, химической стойкостью и механической прочностью.

Огнеупорная масса должна также быть достаточно пластичной, чтобы набивка на вертикально стоящие экранные трубы осуществлялась без затруднений, она должна быстро схватываться и твердеть, сохраняя свою прочность в процессе растопки и эксплуатации котла.

Исходя из указанных требований, была разработана рецептура огнеупорной массы из хромитовой руды разных месторождений глины и растворимого стекла. В некоторых случаях в качестве добавки вводился также мелкомолотый металлургический магнезит или бой магнезитового кирпича. Данные о химическом составе примененных масс приведены в табл. 2.

Огнеупорной массой указанных марок производилась набивка опытных участков шиповых экранов. Через 1 500—3 000 час. производился осмотр шипового экрана, показавший, что экранные трубы и шипы оставались полностью покры-

тыми массой, имеющей сверху слой шлака. Поверхность шлака неровная с выступами в местах расположения шипов.

Данные о результатах испытаний огнеупорных покрытий приведены в табл. 3.

Таблица 3

Марка огнеупорной массы	Длительность работы, час.	Общая толщина слоя массы, мм
ПХМ-6 . . . . .	1 330	~20
ХО . . . . .	2 742	10—18
ПХМ-6 (другого месторождения) . . . . .	1 412	~20
Смесь хромитовой руды . . . . .	3 000	~32—35
Смесь хромитовой руды и магнезита . . . . .	2 274	~30
	3 000	~30

Из данных табл. 3 видно, что наибольшая толщина огнеупорной массы и покрывающего ее шлака сохранялась на участках, закрытых хромитовой массой марки ПХМ-6 на базе второго месторождения, которая и применяется до настоящего времени для набивки шиповых экранов.

## Выводы

1. Длительная эксплуатация шиповых экранов подтверждает их безусловное преимущество перед всеми известными конструкциями зажигательных поясов.

2. Установленные шиповые экраны обеспечивают большую экономию дефицитного шамотного фасонного (ручной формовки) и нормального кирпича, расходуемого на зажигательные пояса и футеровку топки.

3. Длительность кампании котлов после установки шиповых экранов увеличивается в 1,5—2 раза.

4. Коэффициент полезного действия котлов, оборудованных шиповыми экранами, на 1,5—2,5% выше, чем однотипных котлов без шиповых экранов.

5. Шиповые экраны повышают надежность котла, так как исключаются случаи нарушения циркуляции в экранных трубах из-за появления тепловых разветок и обеспечивается устойчивая работа топки при низких нагрузках.

6. Коэффициент использования автоматики горения на котлах, оборудованных шиповыми экранами, достигает 100%.

7. Шиповые экраны создают условия расширения зоны обслуживания для кочегаров и водосмотров котлов.

\* Этот шиповой экран еще не опробован.



*В целях серьезного улучшения электроснабжения Юга, Урала, Кузбасса обеспечить значительный рост мощностей тепловых районных и заводских электростанций в этих районах.*

*(Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы).*

## Первые итоги эксплуатации малогабаритных воздухоподогревателей системы ВТИ

Инж. И. Л. Хазовский и инж. М. А. Шувалов

Котельный агрегат паропроизводительностью 120/150 т/час на давление 34 ат и перегрев пара

425°С работал на кемеровских углях с температурой уходящих газов 230°С при содержании  $\text{CO}_2$  за установкой 11,85%, к. п. д. брутто—82% и среднемесячной нагрузке 122,5 т/час.

Для снижения температуры уходящих газов в конвективном газоходе котлоагрегата размером в плане 7 622 × 2 770 мм высотой 11 м, где ранее был расположен пластинчатый воздухоподогреватель поверхностью 6 944 м<sup>2</sup>, установлен малогабаритный трубчатый воздухоподогреватель системы ВТИ поверхностью 4 832 м<sup>2</sup> и между двумя его ступенями—дополнительный пакет водяного экономайзера поверхностью 656 м<sup>2</sup>.

Проект выполнен в порядке творческого сотрудничества работников Ремонтно-конструкторского отдела грЭС и научных сотрудников Котельной лаборатории ВТИ. Новый воздухоподогреватель изготовлен заводом «Красный котельщик» из труб диаметром 40 × 1,5 мм с шагами  $s_1 = 54$  мм и  $s_2 = 42$  мм, состоит из 32 секций. В каждой ступени установлено по 16 секций, весом по 1 800 кг каждая.

Существовавший водяной экономайзер, который после реконструкции является II ступенью по ходу воды, был заменен новым пакетом с уменьшенными шагами и диаметром труб. Это позволило увеличить поверхность II ступени экономайзера с 580 до 880 м<sup>2</sup>.

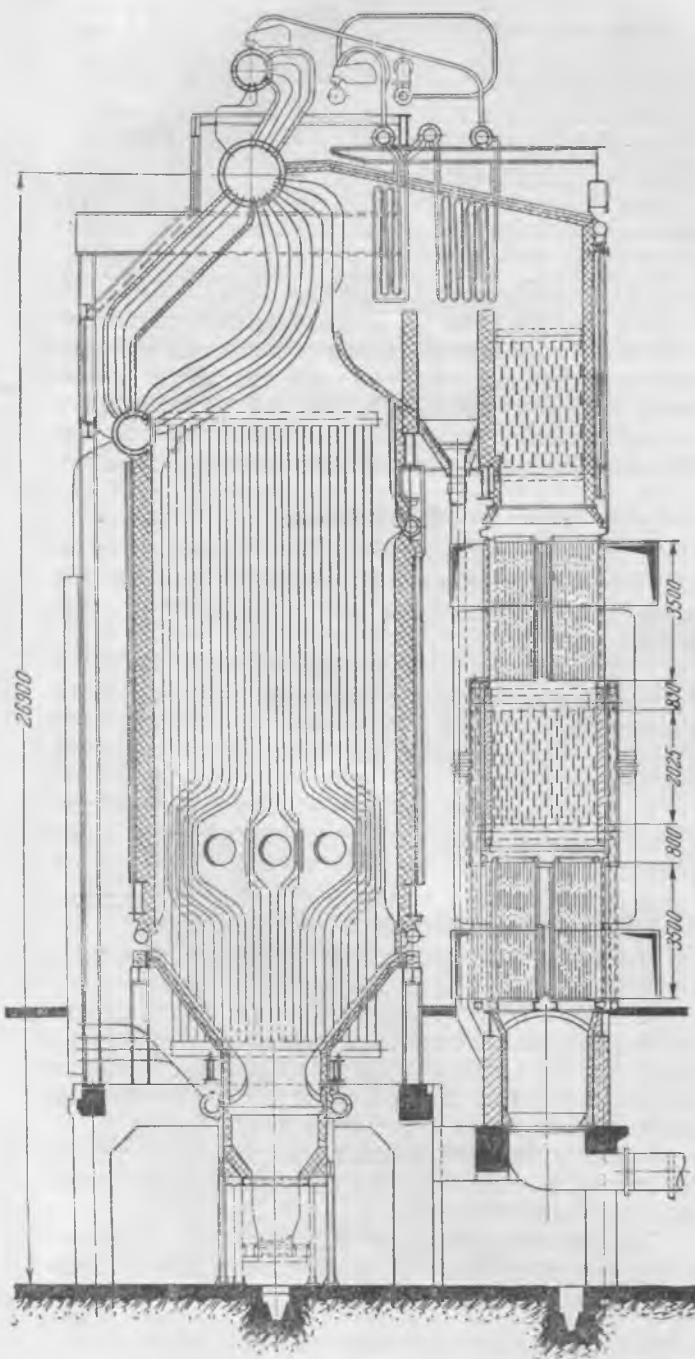
Компоновка малогабаритных воздухоподогревателей с водяным экономайзером показана на рисунке.

В результате произведенной реконструкции хвостовой части котлоагрегата температура уходящих газов при среднемесячной нагрузке, близкой к экономической, температуре питательной воды 145°С и содержании  $\text{CO}_2$  за установкой 13,1%, снизилась с 230 до 130°С. Температура горячего воздуха снизилась с 315 до 250°С. Такая температура, как показал опыт эксплуатации при пылеугольном сжигании кемеровских углей, является достаточной.

Общее газовое сопротивление конвективных элементов агрегата при нагрузке 150 т/час, включая скрубберы для золоулавливания и газоходы до дымососов, составило 191 мм вод. ст., в том числе сопротивление двух ступеней экономайзера составило 80 мм вод. ст. и двух ступеней воздухоподогревателя—55 мм вод. ст.

Избыток воздуха в топке  $\alpha = 1,24$  и за воздухоподогревателем  $\alpha_{\text{вн}} = 1,4$ .

Воздушное сопротивление воздухоподогрева-



теля и коробов холодного воздуха составило 180 мм вод. ст.

Температуры газов: перед II ступенью водяного экономайзера—545° С, за нею—290° С; перед I ступенью экономайзера 210° С, за нею—160° С.

Коэффициент полезного действия брутто котлоагрегата после реконструкции только за счет снижения температуры уходящих газов повысился на 5% и составил по обратному балансу 89%.

Несмотря на то, что после реконструкции хвостовой части котла был установлен центробежный золоуловитель типа мокрых скрубберов ВТИ, газовое сопротивление хвостовой части не увеличивалось. Сопротивление с воздушной стороны воздухоподогревателя увеличилось на 30% по сравнению с пластинчатым. Имеющийся запас напора, создаваемый дутьевыми вентиляторами, оказался достаточным, чтобы покрыть это небольшое увеличение сопротивления воздухоподогревателя без замены вентиляторов.

Удельный расход электроэнергии на тягу и дутье после реконструкции снизился с 3,88 до 3,79 квтч/т.

Малый вес и габариты секций нового воздухоподогревателя существенно облегчают транспортировку деталей в действующую котельную и позволяют значительно ускорить монтаж.

Экономия от применения малогабаритных воздухоподогревателей с дополнительной ступенью водяного экономайзера, с учетом некоторого уплотнения газодходов, составляет 5700 т условного топлива в год.

Следует отметить, что произведенная реконструкция не затрагивает тепловой схемы электро-

станции. Поэтому, сравнивая достигнутую экономию с уменьшением расхода топлива, получаемым, например, при установке водяного экономайзера низкого давления, частично вытесняющим использование отборного пара при одинаковом снижении потери с уходящими газами, получаем, что экономия топлива при реконструкции по выполненной схеме значительно большая чем в случае установки экономайзера низкого давления.

Замена пластинчатого воздухоподогревателя малогабаритным трубчатым с дополнительным пакетом водяного экономайзера обходится согласно смете в 460 тыс. руб.

В эту сумму входит демонтаж пластинчатого и монтаж малогабаритного воздухоподогревателей и обеих ступеней водяного экономайзера.

Затраты, связанные с установкой малогабаритных кубов воздухоподогревателя и экономайзера, окупаются примерно в течение одного года. В случае установки водяного экономайзера низкого давления затраты окупятся бы в течение полутора лет<sup>1</sup>.

Установка малогабаритных воздухоподогревателей и дополнительной ступени водяного экономайзера по схеме ВТИ является рациональным решением компоновки хвостовых поверхностей котельных агрегатов, дает значительный экономический эффект и может быть рекомендована при реконструкции хвостовых поверхностей котлоагрегатов.

<sup>1</sup> См. В. М. Комиссаров, Первые результаты эксплуатации экономайзера низкого давления, «Электрические станции», 1951, № 8.



## Использование импульса по расходу пара для автоматизации процесса горения

Инж. Д. П. Ларионов и инж. В. В. Романцов

В настоящее время заводом «Энергодеталь» Министерства электростанций и Венюковским арматурным заводом Министерства тяжелого машиностроения выпускаются автоматические регуляторы электромеханической системы для типовой схемы регулирования процесса горения по соотношению «топливо—воздух». Регуляторы обеспечивают поддержание заданного соотношения расходов топлива и воздуха в данной схеме лишь при условии постоянства зависимости между положением движка групповых реостатов электродвигателей пылепитателей и нагрузкой котла.

В условиях электростанций, сжигающих бурые угли и оборудованных шнековыми пылепитателями, такой зависимости нет. Это объясняется колебанием теплотворной способности сжигаемого топлива, непостоянством характеристик регулирующих топливо органов и другими причинами. Ручная корректировка с помощью соответствующего реостата в типовой схеме регулирова-

ния невозможна вследствие глубоких нарушений пропорционирования расходов топлива и воздуха. При меньших нарушениях частая корректировка сводит на-нет преимущества автоматического управления котлом.

Регуляторы гидравлической системы завода «Теплоавтомат» в типовой для них схеме регулирования также работают неудовлетворительно. Принципиально эта схема отличается от предыдущей тем, что подача воздуха осуществляется пропорционально скорости вращения электродвигателей пылепитателей по импульсу тахометрических вентиляторов.

Служба наладки автоматики и тепловых изменений энергосистемы совместно с ОргрЭС произвели реконструкцию колонок типа КРВ завода «Энергодеталь» и разработали конструкцию струйного реле расхода пара для регуляторов гидравлической системы с целью использования общеизвестных и проверенных на практике принципов регулирования процесса горения по расхо-

ду пара. Теоретическое обоснование возможности регулирования по данному импульсу уже было освещено в литературе<sup>1</sup>.

Ниже приводится описание некоторых конструкций регуляторов соотношения «пар—воздух» и освещается опыт эксплуатации в одной энергосистеме схем регулирования процесса горения по расходу пара за 1950—1951 гг.

### Конструкция регуляторов „пар — воздух“

#### Колонка с механическим усилением импульса

Для устройства колонки с механическим усилением импульса (рис. 1, а) в колонку типа КРВ вместо обычного соленоида поставлен соленоид от вторичного прибора типа Э-280 завода «Тиз-прибор». Плунжер соленоида соединен с основным рычагом колонки через промежуточный усилительный рычаг. Основной рычаг колонки удлинен. Для компенсации начального усилия соленоида на основной рычаг действует дополнительная пружина. В остальном колонка КРВ осталась без изменения. Мембранный дифференциальный тягомер колонки измеряет перепад давления воздуха на воздухоподогревателе, т. е. его расход. Измерительным элементом расхода пара является дифференциальный тягомер типа ДПЭС. Для повышения чувствительности регулятора минусовый сосуд дифференциального манометра сделан ступенчатым. Электрическая измерительная схема работает как разбалансированный индукционный мост. Нарушение установленного соотношения между расходами пара и воздуха приводит к изменению положений плунжеров соленоидов дифференциального манометра и колонки. При этом возникает на основном рычаге усилие  $P$ , приблизительно пропорциональное пе-

репаду на дифференциальном манометре — в результате колонка срабатывает и приводит в действие сервомотор, управляющий подачей воздуха. На рис. 1, б приведена зависимость усилия  $P$  от расхода пара, откуда видно, что изменение усилий в регулируемом диапазоне составляет всего 60 г при начальном усилии 450 г. Нечувствительность колонки довольно значительна и равняется 8—10% от регулируемого диапазона. Усилие  $P$  в сильной степени зависит от положения плунжера в катушке. Подбор наилучшего положения весьма кропотлив и требует много времени.

Регуляторы такой конструкции находятся в работе с III квартала 1950 г. на двух котлах.

Несмотря на простоту устройства, описанная колонка в силу перечисленных недостатков более не применялась.

#### Колонка с магнитным усилителем

Схема колонки с магнитным усилителем приведена на рис. 2. Импульс по расходу пара от дифференциального манометра ДПЭС усиливается магнитным усилителем и поступает на соленоид колонки. Напряжение, снимаемое с одной из половин катушки датчика 1, выпрямляется селеновым выпрямителем 2 и подается на обмотку подмагничивания 5 дросселя насыщения. В цепь вторичной обмотки дросселя включены селеновый выпрямитель 10 и соленоид 11 колонки соотношения. Вторичная цепь дросселя насыщения питается переменным током 270 в через трансформатор с обмотками 7 и 9. Для компенсации начального напряжения датчика в цепь подмагничивания дросселя введено компенсирующее устройство. Напряжение с обмотки 7 трансформатора выпрямляется селеновым выпрямителем 8 и подается на сопротивление 3 и добавочное сопротивление 4, включенные последовательно с обмоткой подмагничивания 5 дрос-

<sup>1</sup> С. Г. Герасимов, Автоматическое регулирование котельных установок, Госэнергоиздат, 1950.

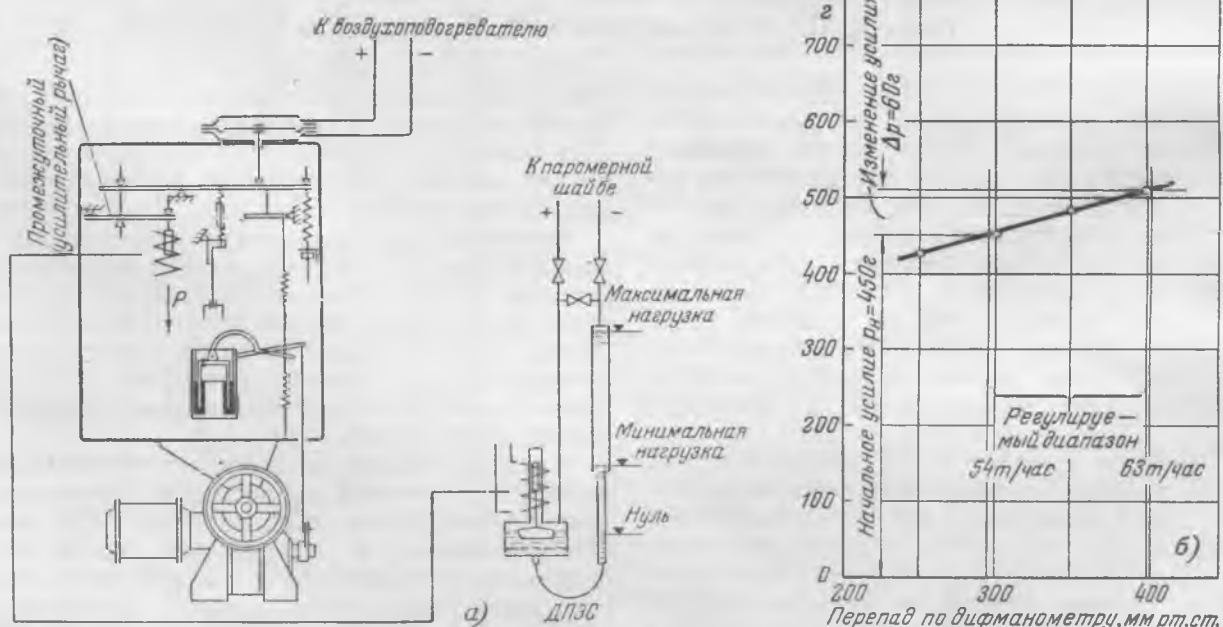


Рис. 1. Схема колонки с механическим усилением импульса (а) и характеристика ее (б).

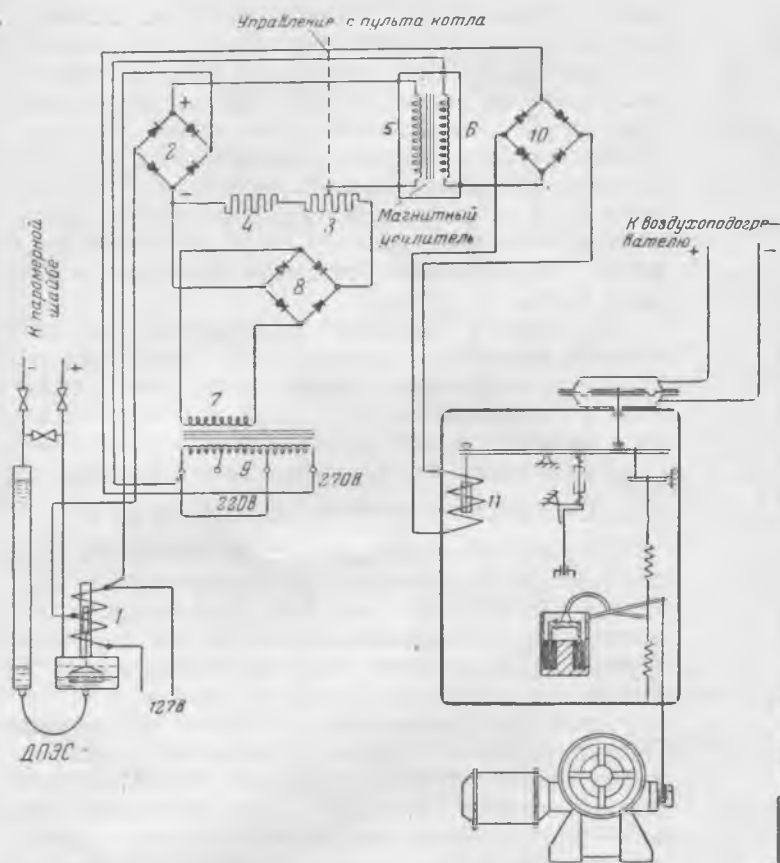


Рис. 2. Схема колонки с магнитным усилителем.

селя насыщения. Перемещая движок переменного сопротивления 4, можно при любой нагрузке котла установить нулевой ток подмагничивания и тем самым менять задание регулятора. При изменении нагрузки котла от 50 до 100% величина тока в соленоиде колонки соответствует нормам завода.

Время сервомотора колонки увеличено с 30 до 100 сек. путем развертывания вала на угол около  $280^\circ$ . Для сохранения действия обратной связи на вал редуктора надета профилированная шайба, обеспечивающая нужный ход отключающей тяги при повороте вала на  $280^\circ$ . Нечувствительность колонки соотношения составляет 5—7% по расходу пара в регулируемом диапазоне.

Колонка с магнитным усилителем была осуществлена на одном из котлов и проработала 15 мес. После порчи одного из селеновых выпрямителей колонка в целях типизации была заменена другой конструкцией.

### Колонка с ртутными весами

Из двух разработанных вариантов колонок с ртутными весами на рис. 3,а приведен наилучший. На основной рычаг колонки КРВ подвешен на ядерной опоре «минусовой» сосуд ртутного дифференциального манометра, который соединен стальными гибкими капиллярами с неподвижно закрепленным «плюсовым» сосудом. Минусовый сосуд является «активным» силовым элементом колонки. Для разгрузки основного рычага регулятора от собственного веса активного сосуда последний подвешен к регулируемой пружине,

установленной на корпусе колонки. При изменении расхода пара изменяется уровень ртути в активном сосуде, в результате чего меняется и вес сосуда. Изменение веса сосуда передается на основной рычаг регулятора. На рис. 3,б приведена зависимость усилия от перепада на дифференциальном манометре. Как видно, значительное изменение усилия — 900 г — получается при небольшой начальной нагрузке 200 г. Применяя сменные сосуды, можно использовать колонку на разные перепады и расходы пара.

Нечувствительность колонки по ртутным весам составила 2,5% от регулируемого диапазона и 1,4% от максимального значения расхода пара, а по мембране — соответственно 4,5 и 2% от перепада на мембране. Время запаздывания колонки, определенное из кривой разгона, составляет 30 сек.

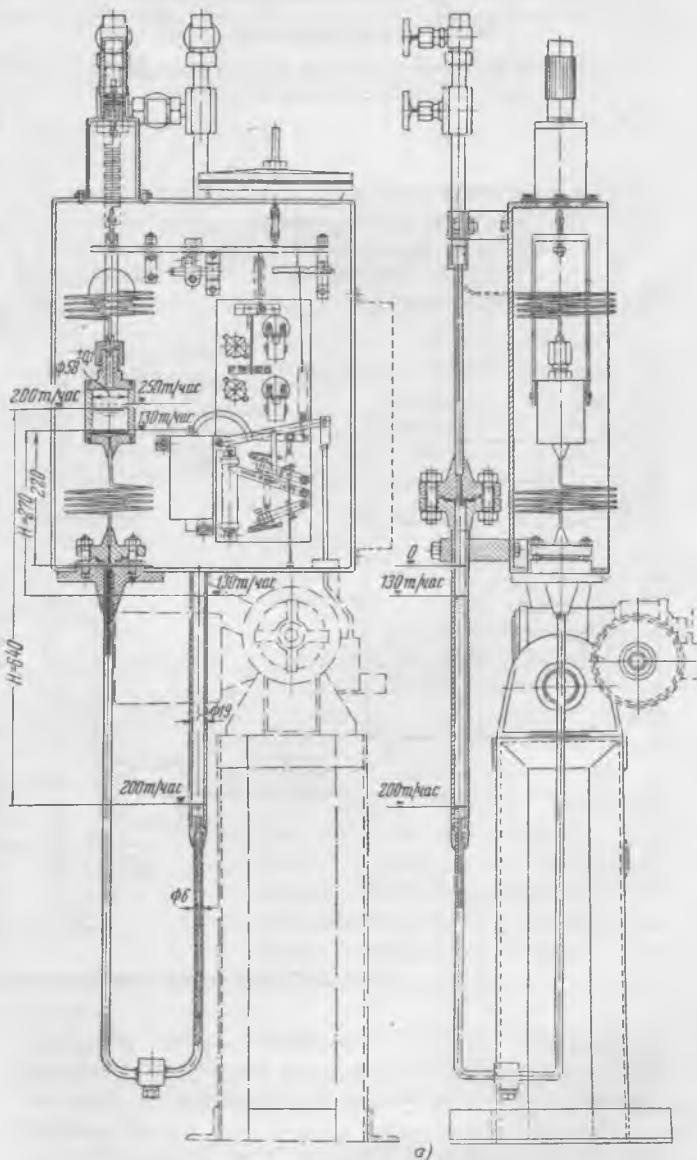


Рис. 3, а. Вторая модификация схемы колонки с ртутными весами.

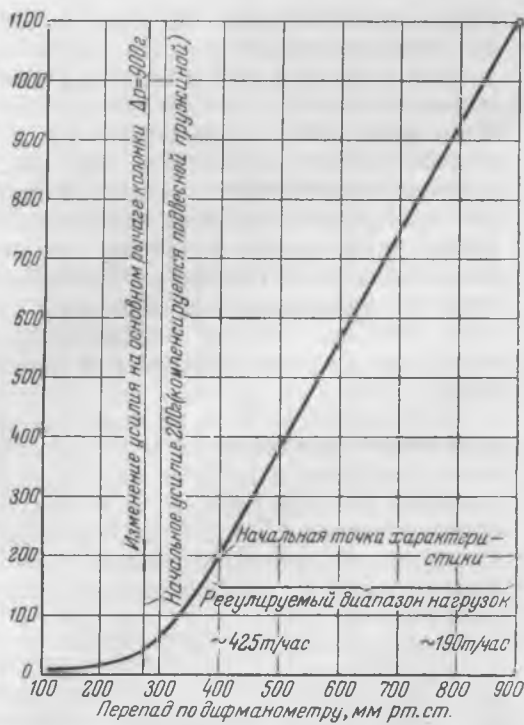


Рис. 3, б. Характеристика второй модификации колонки с ртутными весами.

### Колонка с кинематическим принципом действия

В конструкции колонки с кинематическим принципом действия (рис. 4,а) использован раз-

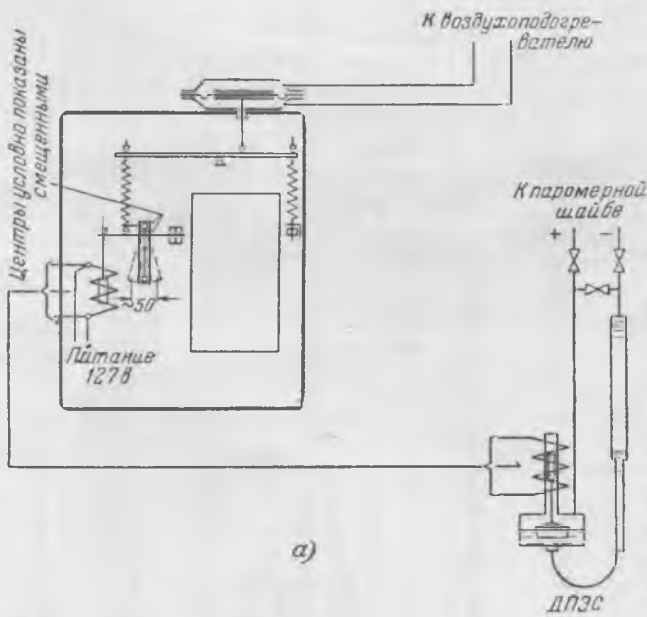


Рис. 4. Схема кинематической колонки (а) и характеристика ее (б).

работанный ЦКТИ кинематический принцип. Плунжер соленоида паромера типа ДПЭС связан системой рычагов с электродолотником, наружные контакты которого с большим передаточным числом связаны с мембраной. При изменении расхода пара электродолотник замыкает один из контактов, в результате чего включается серво-

мотор, управляющий подачей воздуха. Вследствие изменения подачи воздуха наружные контакты электродолотника разрывают цепь сервомотора. Новое состояние равновесия наступает уже при другом положении контактной системы. Характеристика колонки приведена на рис. 4,б. Нечувствительность колонки составила по расходу пара 6,5% к регулируемому диапазону и 3,5% к максимальному расходу пара; нечувствительность со стороны тягомера — соответственно 5,5 и 3,5%.

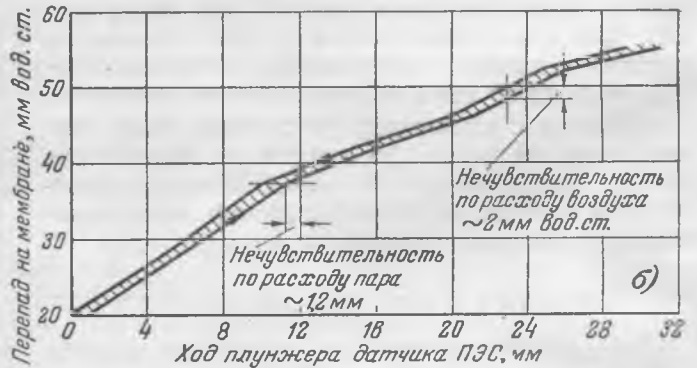
Из четырех описанных конструкций наиболее удачной оказалась колонка с ртутными весами. Она имеет наименьшую нечувствительность, отличается устойчивостью настройки, удобна в наладке и надежна в работе. Колонки с ртутными весами применены на 10 котлах энергосистемы.

### Струйное реле расхода пара

Струйное реле расхода пара построено на базе обычного поплавкового расходомера типа ДП завода «Тизприбор» (рис. 5,а). Как видно из рисунка, поплавок связан передачей со струйной трубкой. Коэффициент передачи можно изменять в широких пределах. Струйная трубка питается воздухом от вентилятора главного регулятора. Против струйной трубки установлено приемное сопло, соединенное с мембраной струйного реле подачи воздуха (рис. 5,б). При изменении расхода пара струйная трубка перемещается относительно приемного сопла и давление в нем меняется.

Подбором диаметра сопла струйной трубки, начального давления, а также изменением хода и положения трубки можно получить нужную характеристику зависимости командного давления от нагрузки. На рис. 5,б приведены характеристики реле расхода пара  $H_{ком} = f(\Delta H)$  для различных диаметров сопел. Нечувствительность реле весьма мала и определяется нечувствительностью расходомера ДП, т. е. примерно 1% от максимального значения расхода пара.

Струйное реле описанной конструкции применено на четырех котлах энергосистемы.



### Принципальные схемы регулирования

Схема «топливо—воздух» с корректировкой по расходу пара

Одной из первых предложенных схем является схема «топливо—воздух» с автоматической коррек-

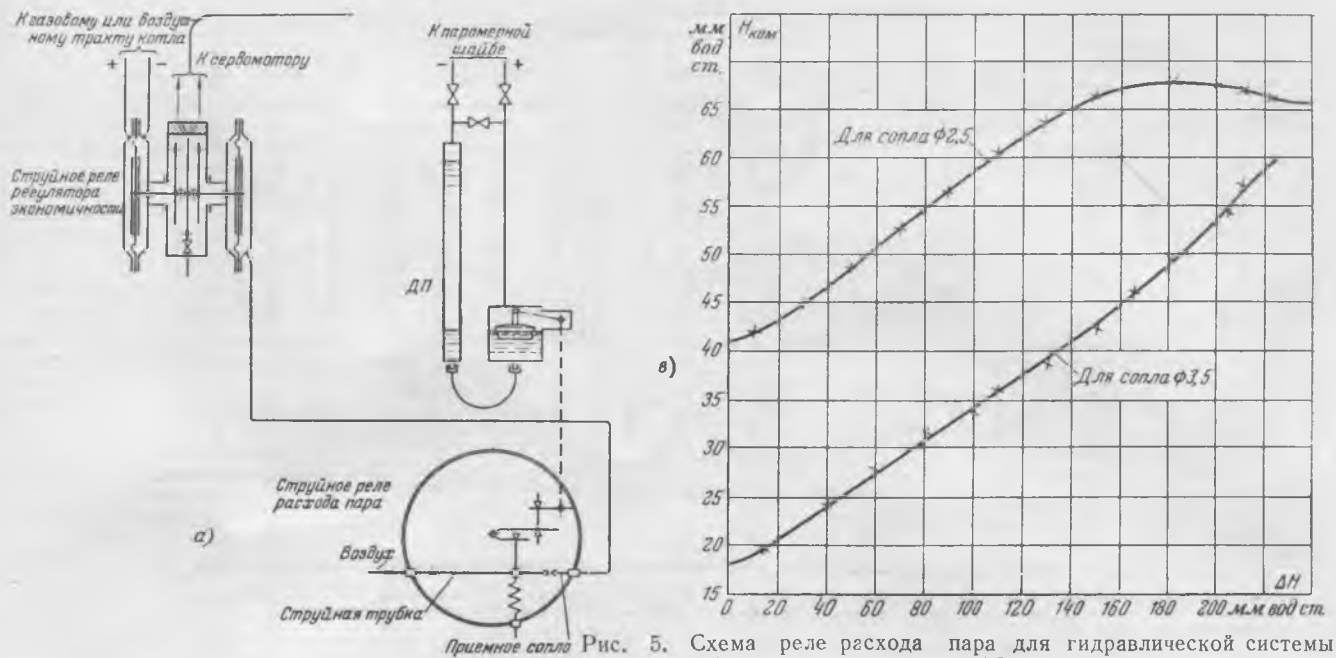
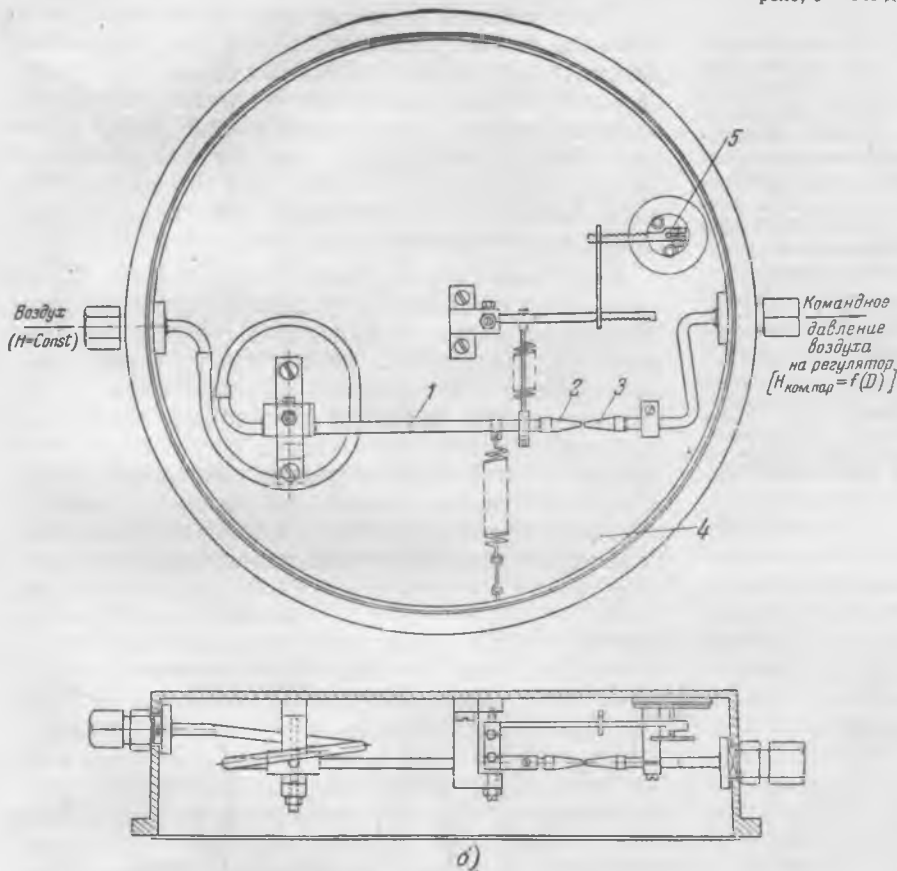


Рис. 5. Схема реле расхода пара для гидравлической системы автоматики (а), конструкция реле (б) и характеристика реле расхода пара (в).  
 1 — струйная трубка; 2 — подвижное сопло; 3 — приемное сопло; 4 — корпус реле; 5 — ось дифференциального манометра.



тировкой подачи воздуха по расходу пара (рис. 6). Работа схемы протекает следующим образом. Допустим, что произошло понижение давления пара. Одновременно с увеличением подачи топлива увеличивается и подача воздуха. В связи с тем, что паровая нагрузка несколько запаздывает по сравнению с подачей топлива, происходит нарушение соотношения «пар — воздух» и колонка соотношения вступает в действие, уменьшая подачу воздуха.

как обеспечивает лучшее пропорционирование воздуха.

Кроме этого, схема имеет недостатки в части ограниченности предела корректировки и малой чувствительности при начальных положениях релюста КРТ.

Схема с описанной корректировкой по расходу пара была осуществлена на трех котлах. К настоящему времени она заменена схемой с непосредственной подачей воздуха по расходу пара.

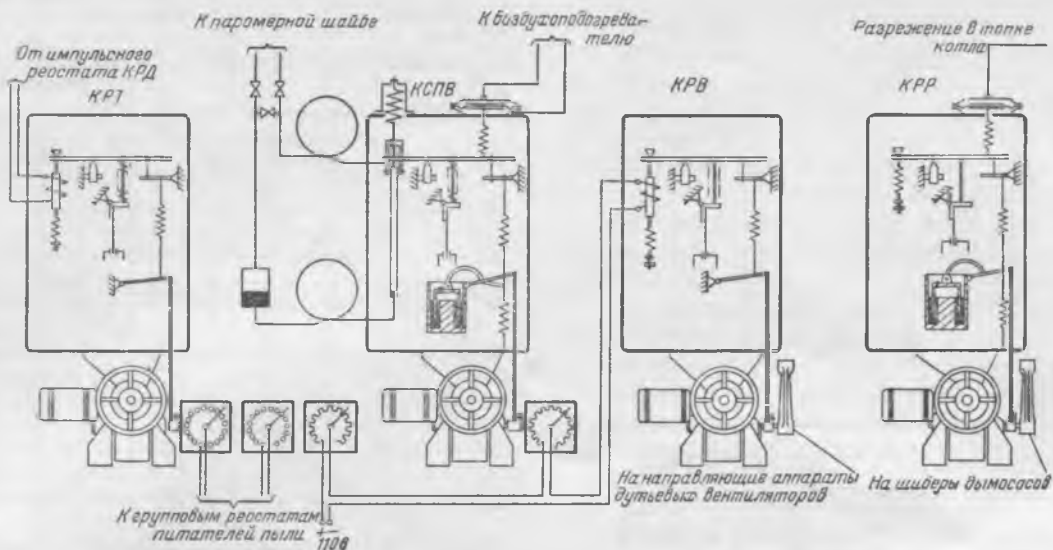


Рис. 6. Схема «топливо — воздух» с автоматической корректировкой по расходу пара.  
 КСПВ — колонка соотношения «пар — воздух»; КРТ — колонка регулирования температуры;  
 КРВ — колонка регулирования воздуха; КРР — колонка регулирования разрежения.

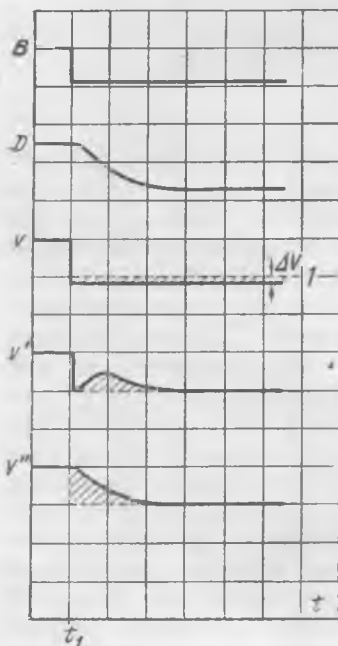


Рис. 7. Сравнительные кривые подачи воздуха регуляторами различных систем при возмущении топливом. Заштрихованные области — несоответствие между необходимым количеством воздуха и количеством воздуха, подаваемым регулятором.

$R$  — расход топлива;  $D$  — расход пара;  $V$  — изменение количества воздуха по схеме «топливо — воздух» ( $I$  — необходимое количество воздуха);  $V'$  — изменение количества воздуха по схеме «топливо — воздух» с корректировкой по схеме «пар — воздух»;  $V''$  — изменение количества воздуха по схеме «пар — воздух».

### Схема «пар — воздух»

На основании опыта эксплуатации было установлено, что на электростанциях при полностью автоматизированных котельных даже при регулировке частоты колебания нагрузки на котлах незначительны. Скорость изменения нагрузки не превосходит 2—3% в 1 мин. от максимальной производительности котла. Эти обстоятельства дали возможность применить на ряде котлов схему «пар — воздух» (рис. 8).

По сравнению с предыдущей схемой схема «пар — воздух» обладает большей чувствительностью, количество оборудования сокращено, надежность повышена, отсутствуют недостатки, связанные с ограничением корректировки. Недостатком схемы являются временные нарушения в пропорционировании подачи воздуха при резких и глубоких изменениях нагрузки котла вследствие запаздывания импульса по расходу пара от подачи топлива. Компоновка электро-механических колонок в непосредственной близости

Рис. 8. Схема «пар — воздух» «пар — газы». Надписи в скобках относятся к схеме «пар — газы».

КРТ — колонка регулирования температуры; КСПВ (КСПГ) — колонка соотношения «пар — воздух» («пар — газы»).

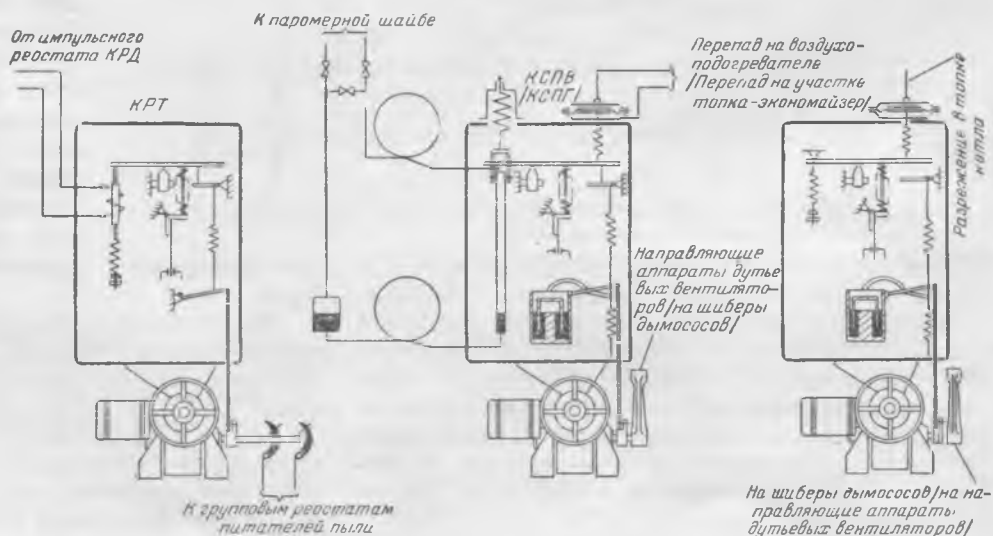


Рис. 9. Схема «пар—воздух» («пар—газы») с электрической связью и результаты испытания электро-механической системы автоматики, включенной по схеме «пар—газы».

КСПВ (КСПГ) колонка соотношения «пар—воздух» («пар—газ»); КРТ— колонка регулирования температуры; КДУ— колонка дистанционного управления; КРР— колонка регулирования разрежения; КУ— ключ управления; ПУ— указывающий прибор; ПМ— магнитный прерыватель.

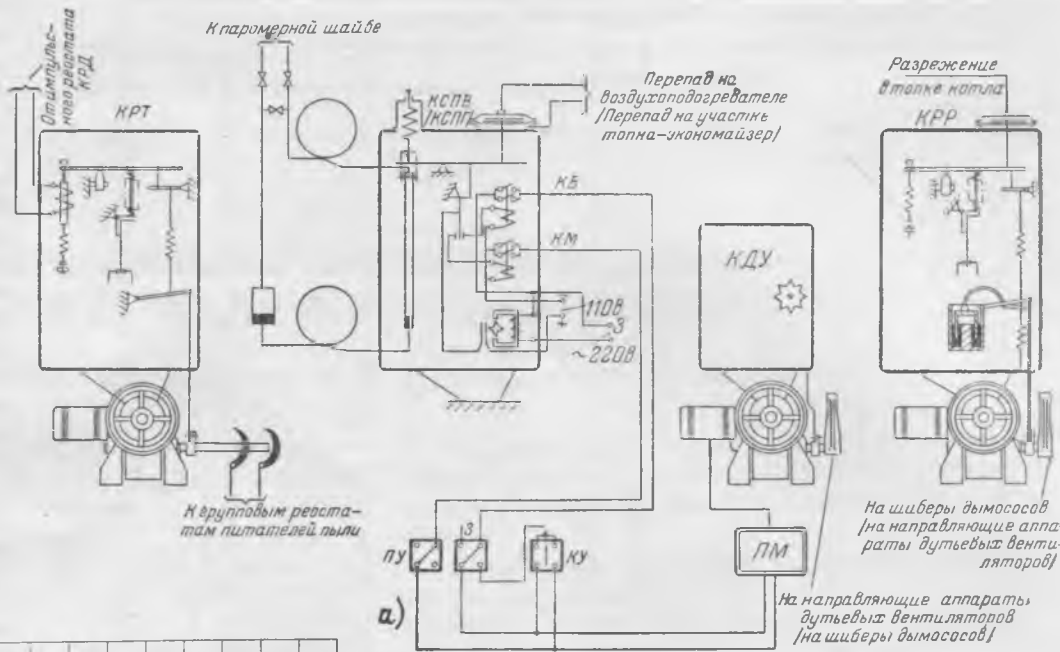
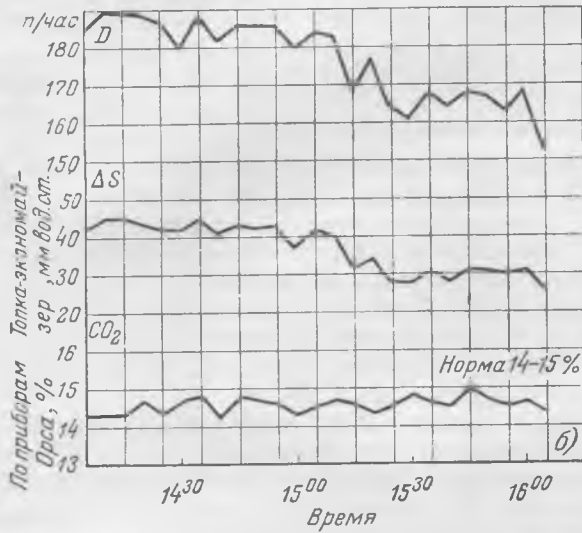


Схема «пар—газы»

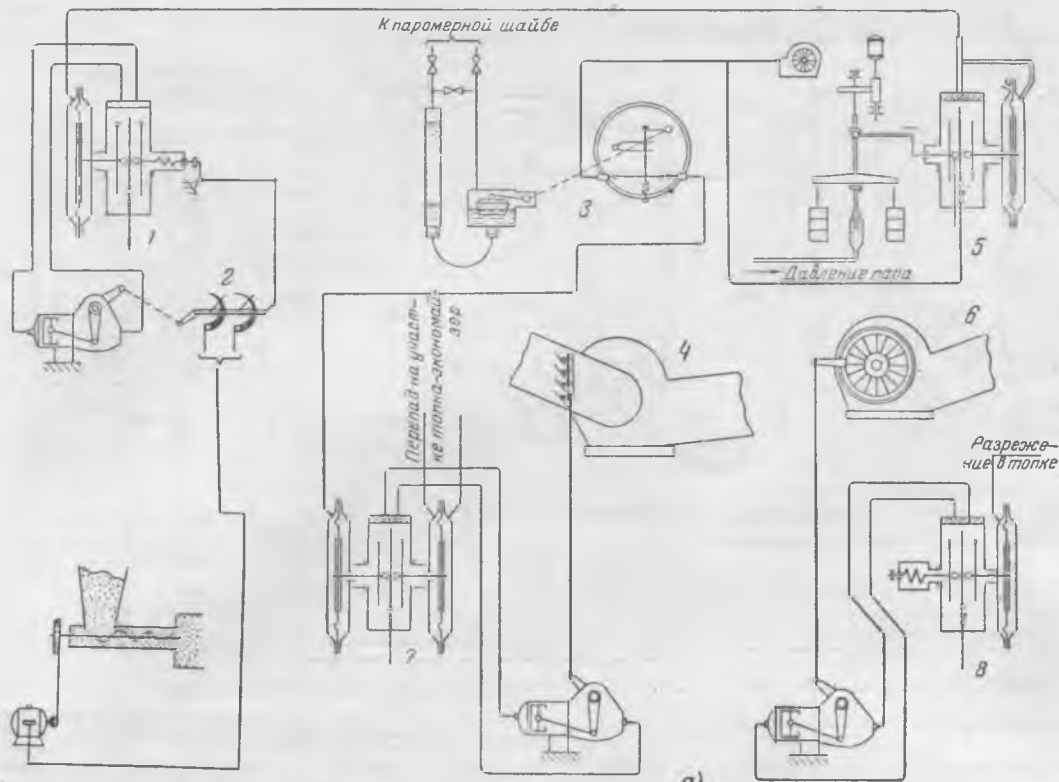


от регулирующих органов обуславливает протяженность импульсных линий. При длине последних свыше 50—60 м ртутные весы применить не удастся. Для этой цели была разработана схема регулирования «пар—воздух» с независимой колонкой соотношения.

Принципиальная схема «пар—воздух» с независимой колонкой приведена на рис. 9,а. Колонка КСПВ расположена на небольшом расстоянии (20—30 м) от паромерной шайбы в месте, удобном для обслуживания. Колонка не имеет редуктора и установлена прямо на постамент. Регулирующий орган вентилятора управляется колонкой дистанционного управления типа КДУ. Для сохранения устойчивости работы регулятора в колонку вместо изодрома встроен прерыватель (замедлитель). Прерыватель представляет собой обычный синхронный микродвигатель на 2 об/мин, на валу которого поставлена звездочка, периодически замыкающая контакты цепи электрозолотника. Период прерывателя определяется при настройке. Будучи освобождена от выключающей пружины, колонка соотношения обладает высокой чувствительностью. Недостатком схемы является прерывистость действия.

На котлах с индивидуальными системами пылеприготовления через воздухоподогреватель проходит 70—80% общего количества воздуха, поступающего в топку; остальной воздух поступает от пылесистем и за счет присосов. Соотношение между первичным и вторичным воздухом не остается постоянным и меняется в зависимости от числа работающих на котле мельниц и величины присадок холодного воздуха. Естественно, что регулятор воздуха, настроенный на определенный режим, будет работать с погрешностью. Это обстоятельство вызывает необходимость частой ручной подкорректировки. В целях устранения указанного недостатка была применена схема с косвенным контролем количества воздуха (рис. 9,а) путем измерения перепада разрежения по газовому тракту котла (топка—экономайзер). Возникавшие опасения, что на величину перепада по газовому тракту будут оказывать большое влияние загрязнение поверхностей нагрева, влажность пыли, изменение присосов и т. д., оказались неосновательными. Схема регулирования «пар—газы» отличается от схемы «пар—воздух» только тем, что на мембрану колонки соотношения подается перепад разрежения газового тракта и колонка воздействует не на вентилятор, а на дымосос. Колонка разрежения в этом случае воздействует на вентилятор. В схеме «пар—газы» не требуется ручного вмешательства в работу автоматики при изменении режима работы пылеприготовительных систем.

Необходимо отметить, что при резких изменениях нагрузки котла со скоростью более 10% в 1 мин. возникает временное несоответствие между подачей топлива и воздуха. Это объясняется, во-первых, запаздыванием паровой нагрузки, а во-вторых, тем, что при резких увеличениях подачи топлива объем газов увеличивается и регулятор воздуха, работающий по разрежению в топке, в первый момент несколько уменьшает подачу воздуха. С момента вступления в работу колонки соотношения несоответствие устраняется. На



гуляторов топлива и тяги вместо тахометрических вентиляторов была применена схема с отключением по положению<sup>2</sup>. В новой схеме импульс по расходу пара вводится посредством специального струйного реле, описанного в первой части статьи. На двух котлах струйные реле расхода пара подключены не к паромерной шайбе, а к пароперегревателю. Запаздывание измеряемого импульса в этом случае уменьшается. Проведенные испытания показали, что перепад на пароперегревателе вполне удовлетворительно характеризует паровую нагрузку котла.

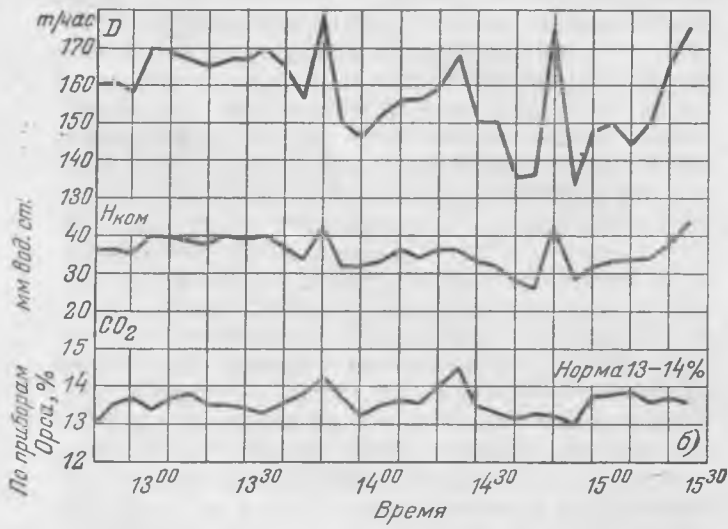


Рис. 10. Схема «пар—газы» для гидравлической автоматики (а) и результаты испытания гидравлической системы автоматики, включенной по схеме «пар—газы» (б).  
 1—регулятор топлива; 2—групповые реостаты питателей пыли; 3—реле расхода пара; 4—дымосос; 5—главный регулятор; 6—дутьевой вентилятор; 7—регулятор тяги; 8—регулятор воздуха.

рис. 9,б приведены результаты испытания котла, оборудованного автоматикой по схеме «пар—газы» с независимой колонкой соотношения.

Типовая схема регулирования процесса горения завода «Теплоавтомат» не обеспечивала поддержания оптимального избытка воздуха. Средние, за месяц, отклонения  $CO_2$  от нормы составляли 0,6—0,7%  $CO_2$ . Кроме того, регуляторы топлива и тяги работали ненадежно из-за частого выхода из строя тахометрических вентиляторов. Автоматика горения на этих котлах была реконструирована по схеме «пар—газы», как показано на рис. 10,а. Для повышения надежности работы ре-

Длительная эксплуатация и специальные испытания показали (рис. 10,б), что схема «пар—газы» обеспечивает лучшее выдерживание  $CO_2$ , чем типовая схема. Статистические данные средних отклонений  $CO_2$  от нормы за два месяца работы котла до и после реконструкции автоматики подтвердили, что введение схемы «пар—газы» привело к уменьшению отклонения  $CO_2$  от нормы в среднем на 0,2%.

Недостатками схемы являются: а) некоторое рассогласование между подачей топлива и воздуха при резких колебаниях, б) необходимость поддержания постоянного давления воздуха перед струйной трубкой реле расхода пара.

### Выводы

Опыт эксплуатации вышеописанных схем регулирования дает возможность сделать следующие выводы:

1. Из рассмотренных вариантов колонок соотношения наиболее чувствительной и надежной оказалась колонка с ртутными весами.
2. Если скорость изменения нагрузки на автоматизированном котле не превышает 10% в 1 мин. и время запаздывания по расходу пара при изменении подачи топлива, определенное из кривой разгона котла, не превышает 10—12 сек., то можно применять схему «пар—воздух» или «пар—газы», не опасаясь сколько-нибудь существенных рассогласований подачи воздуха в переходных режимах.
3. При рассмотрении динамических режимов регулирования процесса горения основным возмущением практически следует считать возмущение со стороны топлива.

<sup>2</sup> См. «Электрические станции», 1949, № 3.



*Обеспечить строительство теплоэлектростанций и теплосетей для осуществления широкой теплофикации городов и промышленных предприятий.*

*(Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы).*

## Потолочные перекрытия котельных агрегатов из огнеупорного бетона

Инж. Е. М. Залкинд, инж. Н. П. Захаров и инж. Э. М. Лившиц

Объем работ по обмуровке современного мощного котельного агрегата (производительностью 150—230 т/час) составляет от 400 до 500 м<sup>3</sup> кладки (40—50% огнеупорных материалов и 50—60% изоляционных огнестойких материалов).

Производство обмуровочных работ требует широкого применения ручного труда квалифицированных обмуровщиков, так как оно меньше всего поддается механизации.

Наибольшие трудности возникают при выполнении обмуровки узлов топок и их перекрытий (пропуск труб через стены обмуровки, перекрытия топки и газоходов, амбразуры горелки и пр.), которые требуют применения фасонных кирпичей.

Необходимость применения большого количества разнотипных фасонных кирпичей приводит к удорожанию и усложнению обмуровочных работ. Для ремонта действующих котлов на складах электростанций постоянно должен находиться значительный запас кирпича.

Из этих соображений весьма актуальной является замена фасонного кирпича более дешевым и равноценным по свойствам огнеупорным бетоном.

Конструкция футеровки из огнеупорного бетона, по сравнению с кирпичной, допускает значительное уменьшение ее толщины, что дает возможность снизить стоимость обмуровки в несколько раз.

Несмотря на очевидные преимущества огнеупорных бетонов до последнего времени этот тип обмуровки в котельных конструкциях не получил распространения и применяется лишь при обмуровке мест прохода экранных труб через стены и потолочные перекрытия.

Поэтому особенно интересным является освещение первого в отечественной практике опыта конструктивной разработки, сооружения и результатов эксплуатации одной из наиболее ответственных частей обмуровки топочных и потолочных

перекрытий, выполненных целиком из огнеупорного бетона, без применения фасонных кирпичей.

На электростанции, работающей на подмосковном угле, установлены два котла 100 т/час 84 ати.

Выполнение перекрытий из фасонных огнеупорных кирпичей (рис. 1) на первом котле встретило большие затруднения из-за стесненных условий работы обмуровщиков между трубами и подвесками.

Горизонтальное перекрытие имеет отдельные подвесные стальные рамы с поперечинами из двух угольников, между которыми продеваются чугунные подвески в форме якорей, с навешиваемыми фасонными кирпичами.

Наклонное перекрытие имеет продольные чугунные балки с шагом 390 мм, к которым прикладываются одним боком фасонные кирпичи (с пазом), с последующим расклиниванием специальным замковым кирпичом. Общее количество типов кирпича, с учетом замковых и для образования проходов труб, достигает 10.

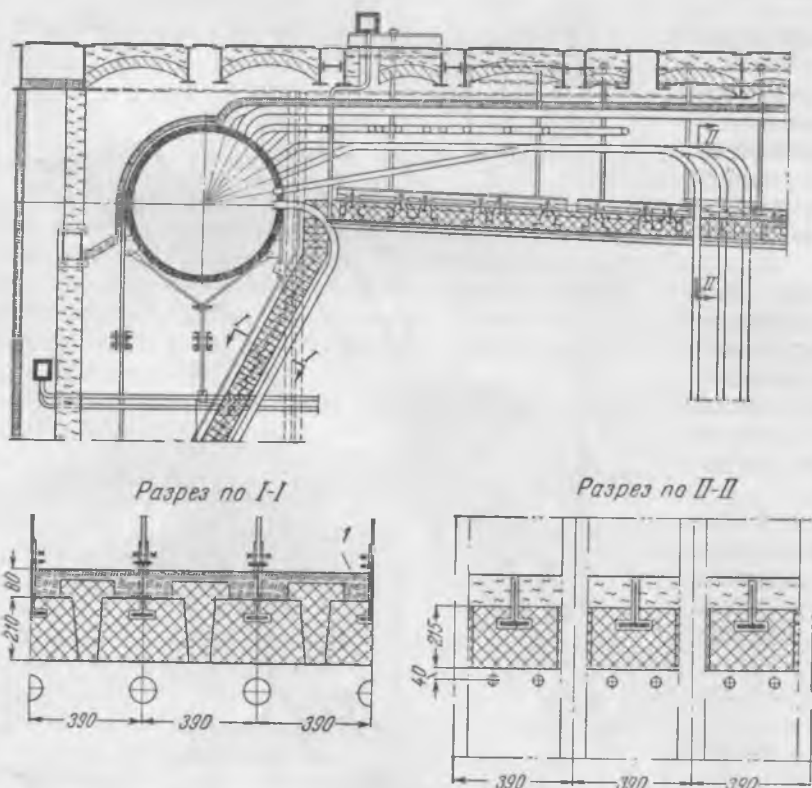


Рис. 1. Перекрытия с применением фасонных огнеупорных кирпичей.  
1 — асбо-слодовая изоляция.

возможности их появления массив бетона заранее был разрезан на отдельные небольшие участки путем закладки листовой фанеры толщиной 4 — 6 мм на глубину массива через каждые 1—1,5 м, в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

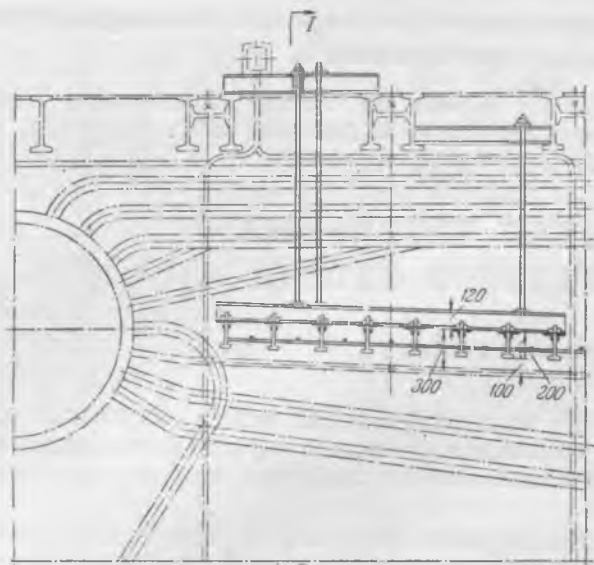
Для образования температурных ступенчатых швов в бетоне был применен асбестовый шнур и асбестовый картон, туго свернутый в овальную трубку (сечением 25 × 30 мм). Шнур и асбест помещались между двумя тонкими (3 мм) фанерными дощечками в виде обкладки для предохранения асбеста при бетонировании.

Полученные таким образом прокладки закладываются в места расположения температурных швов. В период сушки обмуровки фанерная обкладка выгорает и в швах остается только асбест.

При проходе труб через бетон они обязательно туго оборачиваются асбестовым шнуром или картоном, поверх которого накладывается слой кровельного толя или рубероида, полученная манжета скрепляется проволокой. Длина манжеты должна соответствовать толщине бетона с изоляцией и немного выступать за их пределы.

Заложенная в бетон металлическая гарнитура должна иметь возможность свободно расширяться, в противном случае в бетоне могут возникнуть трещины и разрывы. Для свободного расширения она предварительно покрывается 2-мм слоем битума (битум можно заменить каким-либо другим выгорающим материалом — столярным клеем, смешанным с опилками и бумагой и пр.).

Распределительная арматура диаметром до 5 мм выгорающим веществом может не покрываться.



Разрез по I-I

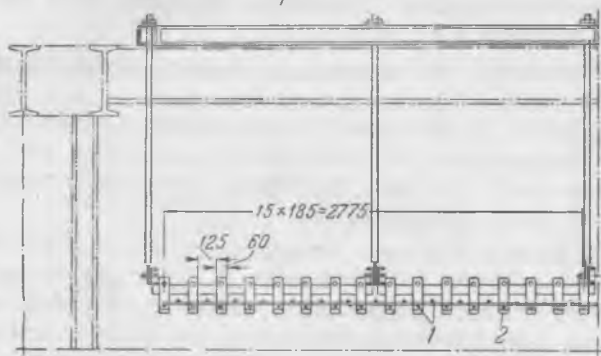


Рис. 2. Подвесная рама горизонтального перекрытия.  
1—проволока диаметром 4 мм; 2—чугунная подвеска.

На втором котле было разработано перекрытие из огнеупорного бетона.

При конструировании перекрытий была поставлена задача использовать имевшееся в наличии чугунное литье для подвески и крепления фасонных кирпичей. При использовании чугунных подвесок потребовалось применить подвесные рамы с проволочной арматурой диаметром 4—6 мм (рис. 2).

Проволочная арматура предназначена для равномерного распределения веса перекрытия по всей раме. Для пропуска основной арматуры использованы отверстия, имеющиеся в подвесках. Все пересечения арматуры перевязаны тонкой вязальной проволокой. Арматура расположена во взаимно перпендикулярных направлениях, образуя ячейки размером 120 × 120 мм.

В конструкции наклонного перекрытия полностью использованы существующие чугунные балки с упорами. Проволочная арматура выполнена по тому же принципу, как и для горизонтального потолка и прикреплена к балкам при помощи специальных хомутов (рис. 3).

Общий вид перекрытия из огнеупорного бетона приведен на рис. 4.

При нагревании массивов бетона в нем возникают вследствие неравномерности прогрева значительные напряжения, которые могут повлечь за собой образование трещин. Для устранения воз-

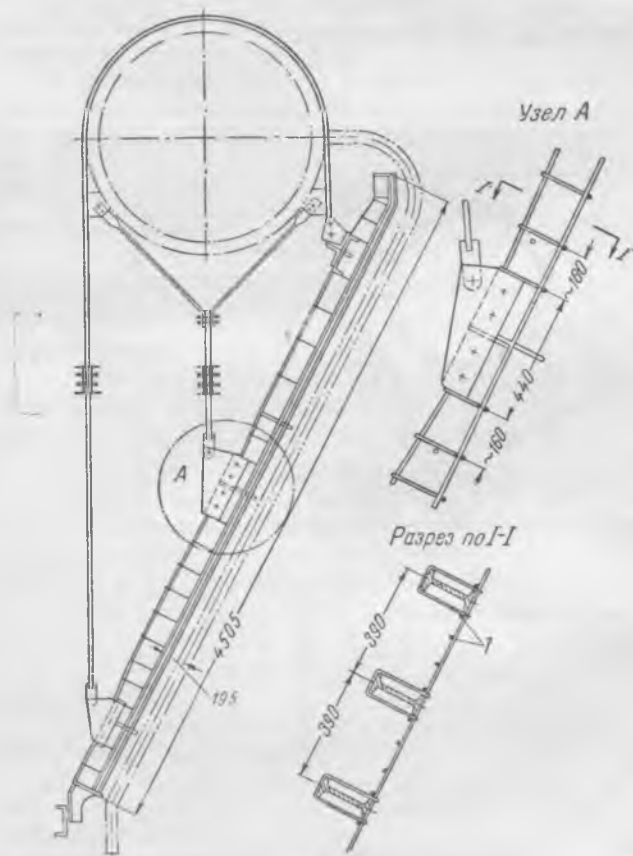


Рис. 3. Металлоконструкция наклонного перекрытия.  
1—проволока диаметром 4 мм.

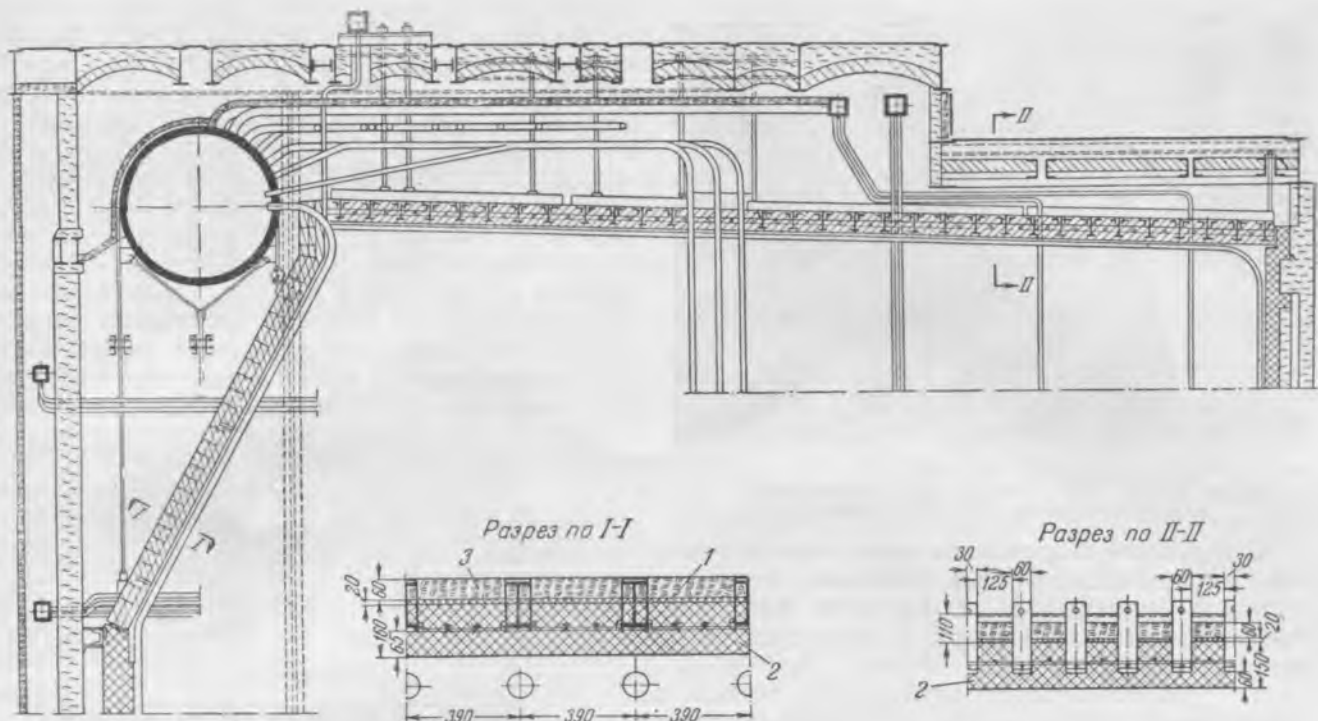


Рис. 4. Перекрытие из огнеупорного бетона.

1—уплотнительная штукатурка; 2—огнеупорный бетон; 3—изоляционная обмазка.

После установки опалубки, гарнитуры, арматуры и тщательного их укрепления было произведено бетонирование перекрытий огнеупорным слоем в 160 мм следующего состава (по весу):

Глиноземный цемент . . . . .	20%
Молотый шамот . . . . .	80%

Гранулометрический состав шамота:

зерна размером 40—20 мм . . . . .	25—35%
"    "    20—10 мм . . . . .	10—20%
"    "    10—0,5 мм . . . . .	10—20%
"    "    0,5—0,2 мм . . . . .	10—20%
"    "    <0,2 мм . . . . .	20—30%

После схватывания бетона на его поверхность был нанесен выравнивающий слой огнеупорной штукатурки толщиной 20 мм, назначение которой создать газо-воздушную непроницаемость обмуровки против выбивания топочных газов, при избыточном давлении в газоходе и присосов воздуха при разрежении.

Уплотнительная штукатурка выполнена следующего состава:

Шамотный порошок с зернами до 0,75 мм	40%
Порошок из обожженного диатомита (молотый диатомитовый кирпич) . . . . .	40%
Асбест (волокно 4—5 сортов) . . . . .	10%
Жидкое стекло . . . . .	10%

Может быть рекомендован также и другой состав штукатурки, которая является более прочной:

Глиноземистый цемент . . . . .	15%
Асбестовое волокно (низких сортов) . . . . .	15%
Дробленый диатомитовый кирпич (65—75% зерен размером 1,0—0,5 мм) . . . . .	70%

После затвердения штукатурки на нее был нанесен слой огнестойкой изоляции толщиной 60 мм следующего состава:

Диатомитовая крошка . . . . .	70%
Огнеупорная глина . . . . .	20%
Портландский цемент . . . . .	10%

Эта изоляция обладает необходимой плотностью и прочностью, благодаря которым отпадает необходимость в устройстве металлической обшивки перекрытия.

Экономия, достигнутая в результате применения перекрытий из огнеупорного бетона, по официальным данным монтажной организации составила около 35%.

Описанные перекрытия находились в эксплуатации в течение 4 305 час., после чего при остановке котла на ремонт они были тщательно осмотрены.

Осмотр дал следующие результаты:

1. Наклонное перекрытие со стороны газов находилось в хорошем состоянии и не требовало ремонта.

У мест прохода труб через перекрытие кое-где имелись местные трещины, вызванные зажатием этих труб в бетоне и последующим температурным расширением их. Трещины не нарушили прочности перекрытия.

У основания наклонного перекрытия, в месте прохода горизонтальных труб пароперегревателя (рис. 5) имелись незначительные повреждения бетона из-за того, что при выполнении этого узла были допущены пустоты. Трубы были недостаточно обмотаны асбестовым шнуром и поверх асбеста не были наложены толевые манжеты, вследствие чего они были зажаты в бетоне. При заливке бетона штыкование его не производилось.



Рис. 5. Проход труб перегревателя через наклонное перекрытие после 4300 час. работы.

С наружной стороны наклонное перекрытие и все несущие конструкции (балочки, подвески, арматура) находились в хорошем состоянии. Изоляционный слой поверх бетона трещин не имел.

2. Горизонтальное перекрытие над топкой и конвективной частью котла находилось в хоро-

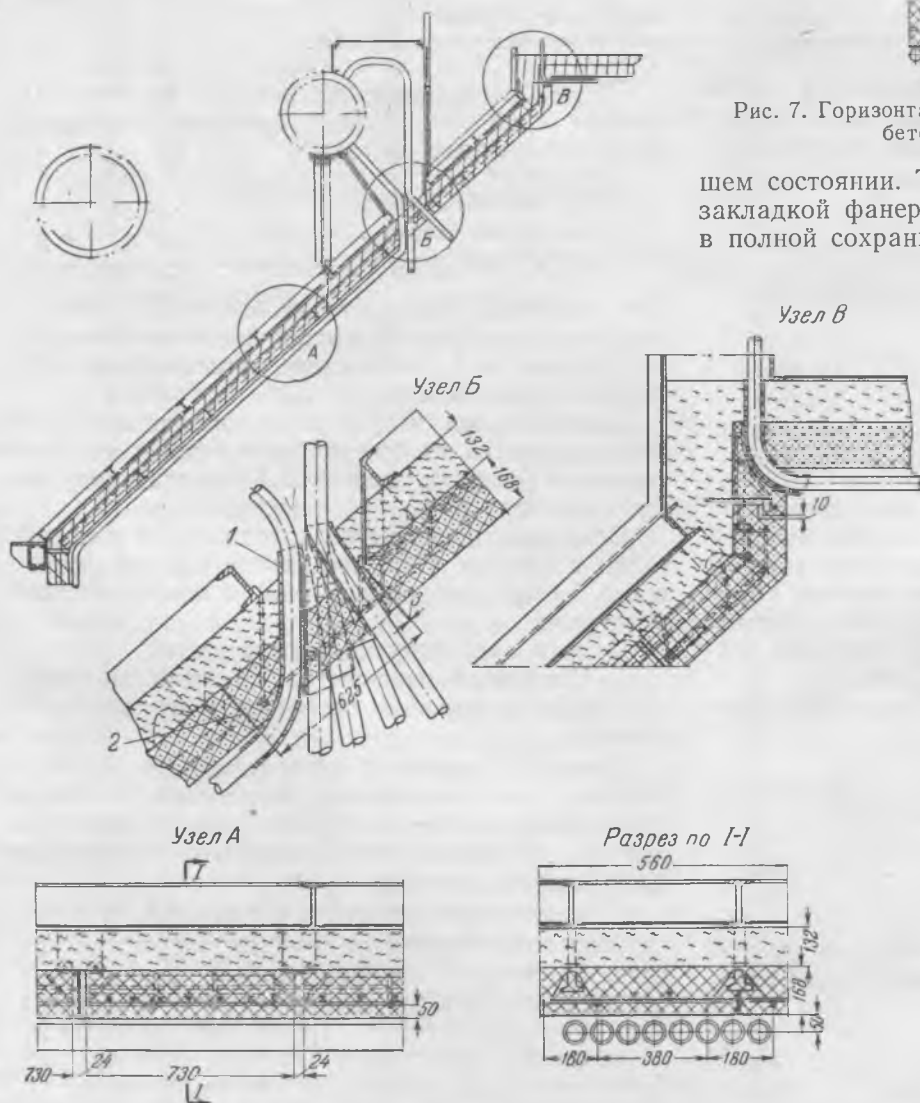


Рис. 6. Наклонное перекрытие из огнеупорного бетона для котла ТП-170.  
1 — манжета; 2 — температурный шов.

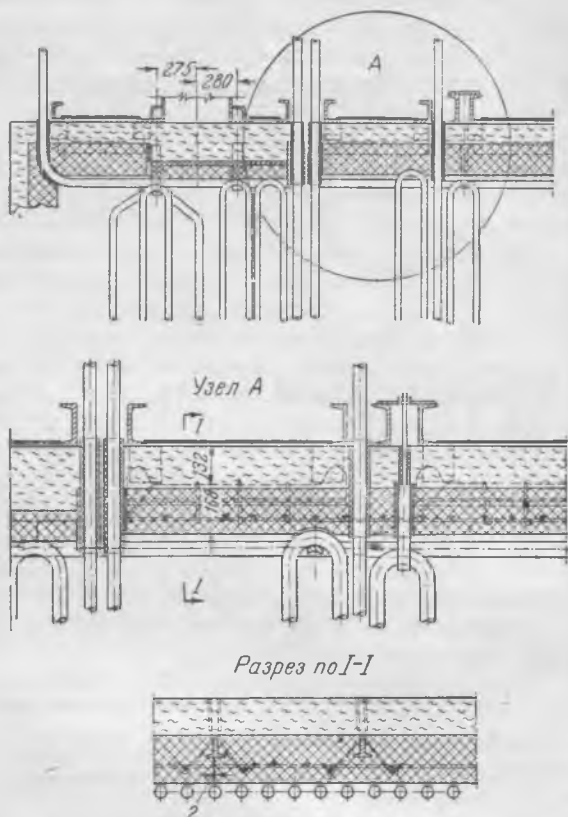


Рис. 7. Горизонтальное перекрытие из огнеупорного бетона для котла ТП-170.

шем состоянии. Температурные швы, полученные закладкой фанеры в бетон, выражены четко и в полной сохранности. Поверхность бетона гладкая со следами от деревянной опалубки. В местах прохода труб кое-где имелись местные трещины, не влияющие на прочность бетона и являющиеся результатом зажатия отдельных труб в бетоне.

3. Для проверки качества бетона и состояния подвесок, заложенных в него, был расчищен небольшой участок перекрытия. Осмотром установлено, что чугунная подвеска была в хорошем состоянии и свободно перемещалась в гнезде. Бетон оказался крепким и плотным, при ударах молотком не трескался и не разрушался.

Одновременно было отмечено, по данным эксплуатации, что перекрытия из бетона оказались более плотными, чем перекрытия на аналогичном котле, выполненные из фасонного кирпича с металлической обшивкой.

На основе полученных положительных результа-

тов по применению огнеупорного бетона разработаны рабочие чертежи по замене на серийных котлах большой мощности фасонного кирпича огнеупорным бетоном.

Металлоконструкция применявшегося наклонного перекрытия котла ТП-170 (рис. 6) состоит из стальной рамы, опертой на каркас и подвешенной к сепарационному барабану котла. К стальной раме через каждые 560 мм по ширине свода крепятся чугунные балочки, служащие для крепления подвесных фасонных кирпичей. На каждую балочку надеваются кирпичи, имеющие паз тавровой формы. Между двумя подвесными соседними кирпичами вкладывается промежуточный кирпич. При замене фасонных кирпичей огнеупорным бетоном металлоконструкция и чугунные балочки полностью сохранены без каких-либо изменений и дополнений.

Основной опорой массива огнеупорного бетона служат те же чугунные балочки. Однако, учитывая, что пролет между балочками составляет 560 мм, дополнительно предусмотрена распределительная арматура из проволоки диаметром 5 мм.

Арматура выполняется в виде отдельного каркаса, который заготавливается предварительно и вкладывается между балочками. Каркасы подвешиваются хомутиками к балочкам. Установленная арматура тщательно перевязывается.

Массив бетона по длине и ширине разрезается на отдельные прямоугольные секции размером около  $1 \times 1,5$  м путем закладки фанеры толщиной 3 мм для образования швов, предупреждающих растрескивание бетона.

Чугунные балочки, находящиеся в бетоне, обмазываются слоем пека или каким-либо другим выгорающим веществом для образования между бетоном и металлом зазора около 2 мм, обеспечивающего беспрепятственное расширение металла в бетоне. Особое внимание необходимо обратить на тщательную обмазку торцов балок, так как расширение балок по длине является наибольшим. Распределительную арматуру также рекомендуется промазать пеком.

Деревянная опалубка изготавливается из досок толщиной около 20 мм. Доски могут быть уложены на трубы в передней части наклонного перекрытия, которые должны быть в свою оче-

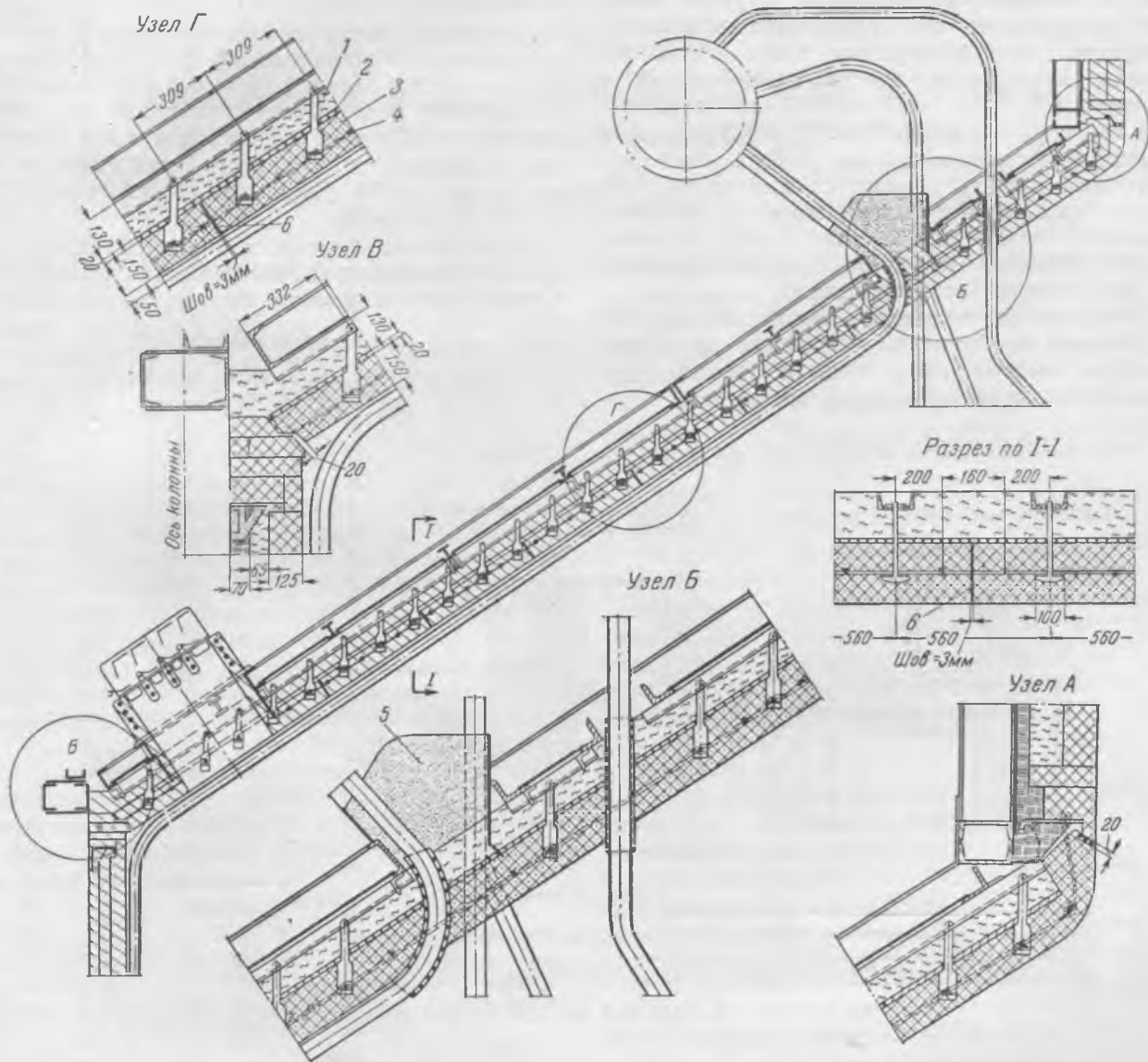


Рис. 8. Наклонное перекрытие из огнеупорного бетона для котла ТП-230.

1 — диафрагма; 2 — огнеупорная штукатурка; 3 — огнеупорный бетон; 4 — металлическая арматура; 5 — изоляция; 6 — фанера.

редь укреплены (подперты или подвешены тягами к каркасу потолка котла). Тяги после бетонирования остаются в бетоне и обрезаются автогенном.

Опалубка во всех случаях должна быть выполнена достаточно жесткой и прочной. Проходы труб сквозь бетон осуществляются следующим образом: каждая труба обматывается шнуровым асбестом диаметром 10 мм, поверх которого обертывается слоем кровельного толя или руберойда. Полученная манжета скрепляется проволокой. Для обертывания изогнутых участков необходимо употреблять ленту из толя или руберойда. Бетонирование мест прохода труб производится только после обертывания труб толем или руберойдом.

Горизонтальное перекрытие, так же как и наклонное, состоит из стальных рам, подвешенных к каркасу потолка (рис. 7). К стальным рамам крепятся чугунные закладные балочки, к которым крепятся подвесные кирпичи. Профиль этих балочек и подвесные кирпичи такие же, как и в описанном выше наклонном перекрытии.

При замене фасонных кирпичей огнеупорным бетоном металлоконструкции и чугунное литье также сохраняются без каких-либо изменений. В передней зоне перекрытия часть обмуровки уложена на трубы (на участке длиной около 1 м при ширине 8,35 м). Для этого участка использован обычный нормальный огнеупорный кирпич, уложенный плашмя на трубы. Поверх уложенного плашмя кирпича наносится выравнивающий слой в 40 мм уплотнительной обмазки, обеспечивающий плотность перекрытия. Поверх уплотнительной обмазки укладывается изоляционный слой из диатомитового кирпича.

В остальном являются обязательными все соображения в отношении устройства арматуры, опалубки, температурных швов и прохода труб сквозь бетон, приведенные для наклонного перекрытия.

Металлоконструкция наклонного перекрытия

котла ТП-230-2 представляет собой стальные рамы, опертые на каркас котла (рис. 8). К рамам прикреплены швеллеры с отверстиями для пропуска якорей. На эти якоря надеваются фасонные кирпичи. Подвеска закладывается в кирпичи сбоку, через кирпич продевается штырь.

При замене фасонных кирпичей бетоном металлоконструкция свода сохраняется полностью без внесения каких-либо изменений. Число подвесок сохранено прежнее, однако длина их при переходе на бетон оказалась недостаточной, в связи с чем требуется изготовление новых удлиненных подвесок.

Основной опорой массива бетона являются подвески, сквозь которые пропущена распределительная арматура из проволоки диаметром 5 мм. Распределительная арматура образует сетку с ячейками около 150 × 200 мм. Укладка и крепление арматуры производится одновременно с установкой подвесок.

Массив бетона по длине и ширине разрезается на отдельные прямоугольные секции размером около 1 × 1 м для образования температурных швов. В остальном сохраняет силу все сказанное о перекрытии котла ТП-170.

Хвостовая часть перекрытия (рис. 9) состоит из стальных горизонтальных рам, подвешенных к потолочному каркасу, и выполнена аналогично наклонному перекрытию с теми же чугунными подвесками. Средняя и фронтальная части перекрытия укладываются на трубы. В заводском исполнении на трубы укладывались многочисленные фасонные кирпичи.

При замене фасонных кирпичей бетоном на прямые участки труб укладывается фанера, изогнутые участки колена змеевиков покрываются

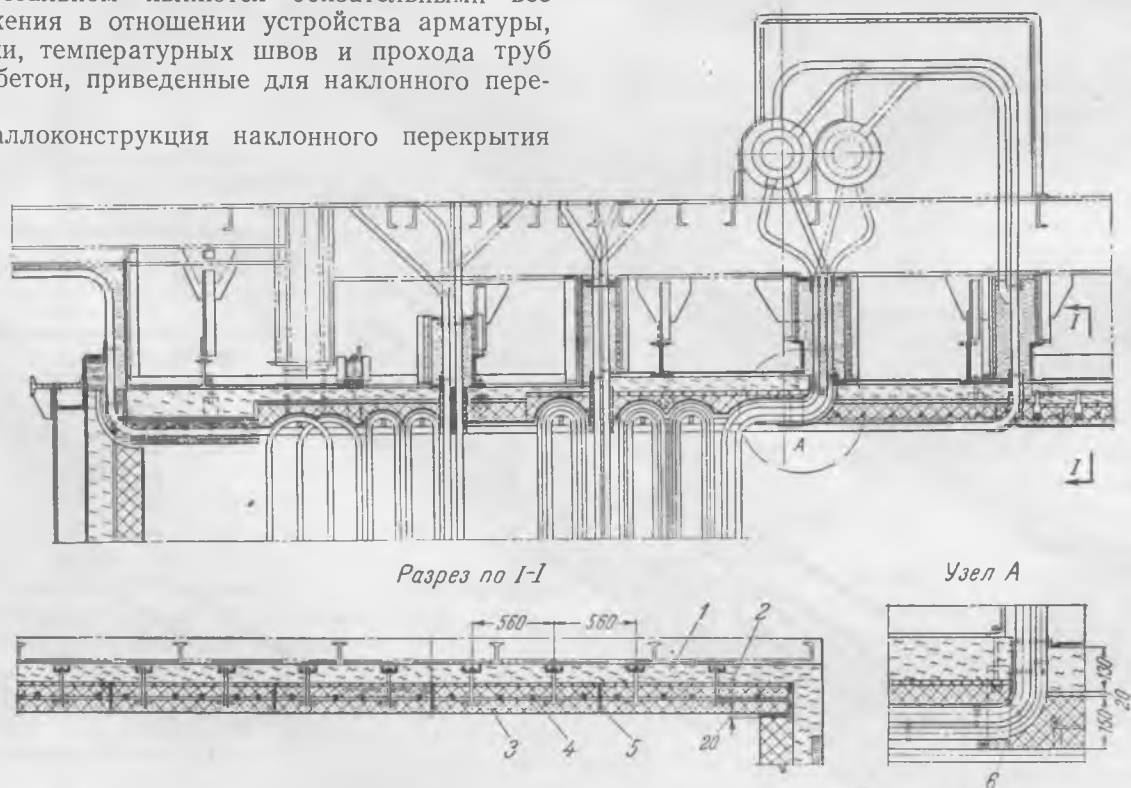


Рис. 9. Горизонтальное перекрытие из огнеупорного бетона для котла ТП-230.

1 — диатом; 2 — огнеупорная штукатурка; 3 — огнеупорный бетон; 4 — металлическая арматура; 5 — фанера; 6 — руберойд

двойным слоем руберойда. При шаге труб  $S \leq 95$  мм прочность этого покрытия для нанесения бетона жидкой консистенции является достаточной. Состав этого бетона изменяется незначительно за счет увеличения содержания в нем глиноземистого цемента до 25% и уменьшения содержания шамотного наполнителя до 75% (вместо обычного соотношения 20 и 80%). Бетон указанного состава предназначается для заливки в опалубку (без трамбования) и готовится мелкозернистым. Массив бетона после выгорания фанеры и руберойда ляжет непосредственно на трубы и при этом он опустится на величину 3—4 мм, равную толщине этих материалов.

Массив также разрезается во взаимноперпендикулярных направлениях швами. На некоторой части бетона предусмотрена укладка распределительной арматуры, которую необходимо прикрепить сваркой к проходящим вблизи деталям подвесок.

В передней части перекрытия имеется участок



## Применение башенного крана при монтаже конструкций здания и оборудования

Инж. Е. С. Динер

Действующую тепловую электростанцию с двумя блоками высокого давления, состоящими каждый из двух паровых котлов и одного турбоагрегата, было предусмотрено расширить еще двумя аналогичными блоками, причем один котел (№ 5) возможно установить в готовом здании.

Главное здание имеет компоновку с двухсторонним расположением деаэрационного и бункерного отделений: первое находится между машинным залом и котельной, а бункерное размещено с фасадной стороны котельной, причем котлоагрегаты установлены фронтом к машинному залу. Дымососная с батарейными циклонами оторвана от помещения котельной.

Подземная часть главного здания в объеме полного расширения была сооружена в течение первого года работ, на III квартал второго года был назначен ввод в промышленную эксплуатацию третьего блока. Изготовление<sup>1</sup> и монтаж 1 600 т стальных конструкций расширяемой части здания были возложены на организацию, производившую монтаж тепломеханического оборудования электростанции.

Металл выделялся частями в соответствии с планом ввода мощностей, поэтому монтаж конструкций был разбит на четыре очереди:

Первая очередь — ячейка турбоагрегата № 3; машинный зал и деаэрационная в пределах осей 14—19.

<sup>1</sup> Н. Л. Бутенко, „Электрические станции“, 1951, № 7.

труб, на который наносится торкрет по специальной арматуре, прикрепленной к трубам.

Произведенные экономические расчеты показывают, что при замене фасонных кирпичей огнеупорным бетоном даже при использовании элементов заводской конструкции подвесок, гарнитур, металлоконструкций и т. д., при котором некоторые конструктивные узлы получили вынужденное решение, достигается экономия по стоимости перекрытий для котлов ТП-170 и ТП-230-2 около 60% по сравнению с их стоимостью при применении фасонного кирпича.

При конструктивной разработке обмуровки совместно с основными элементами котлоагрегата технико-экономический эффект от применения огнеупорного бетона может быть значительно повышен за счет сокращения расхода материалов (в частности, металла). Одновременно следует учесть, что эксплуатационная надежность котлоагрегата должна повыситься благодаря повышению плотности его перекрытий.

Вторая очередь — ячейка котлоагрегата № 6; бункерная и котельная в пределах осей 14—17.

Третья очередь — ячейка турбоагрегата № 4; машинный зал и деаэрационная в пределах осей 19—23.

Четвертая очередь — ячейка котлоагрегатов № 7 и 8; бункерная и котельная в пределах осей 17—23.

Достичь выполнения всего комплекса работ в оставшиеся сжатые сроки можно было лишь путем глубокого совмещения монтажно-строительных работ.

В качестве основного механизма для монтажа металлоконструкций главного здания и оборудования котельной был принят башенный кран БК-1 грузоподъемностью 25 т при вылете стрелы 20 м и грузоподъемностью 20 т при вылете стрелы 24,5 м; с максимальной высотой подъема груза 59,5 м.

Вследствие недостаточного вылета этого крана пришлось осуществлять монтаж машинного зала с деаэрационным отделением и котельной с бункерным отделением последовательно: сначала первая очередь — машинный зал и деаэрационное отделение с путей, пропущенных по деаэрационному отделению, а затем вторая очередь — котельная с бункерным отделением с путей, пропущенных в пролете котельной (рис. 1), затем соответственно третья и четвертая очереди.

Монтаж башенного крана выполнен вспомогательной стрелой грузоподъемностью 10 т, вре-

менно установленной на кровле деаэрационного отделения действующей части электростанции; демонтаж башенного крана по окончании работ предполагалось выполнить у временного торца расширяемого здания электростанции, установив эту же вспомогательную стрелу.

Пути перемещения башенного крана в деаэрационном отделении были уложены на фундаменте колонн рядов Б и В, которые явились наиболее надежным основанием для башенного крана, причем исключалась необходимость в дополнительных работах по засыпке и уплотнению грунта и не создавалось помех к ведению строи-

тельных работ по полу конденсационного помещения.

В качестве опорных балок временно использовались заготовленные детали стальных конструкций здания (рис. 2). Проходящие под путями участки кабельных туннелей раскреплялись внутри брусками, после чего по ним пропущен башенный кран.

Последовательность монтажа конструкций машинного зала и деаэрационного отделения башенным краном (рис. 1) была:

из положения I — монтаж колонн и фахверка осей 15 и 16 ряда А;

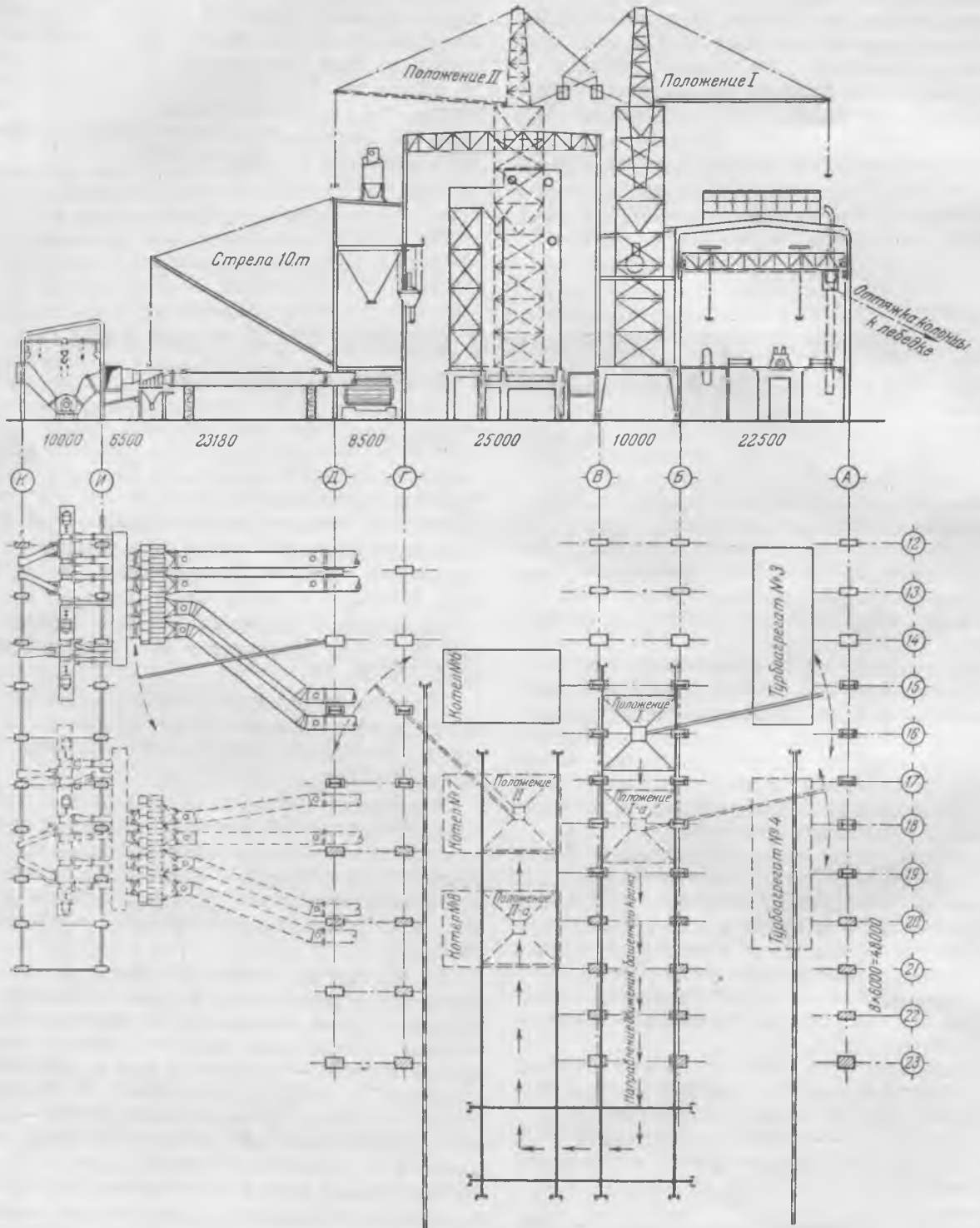


Рис. 1. Схема организации работ.

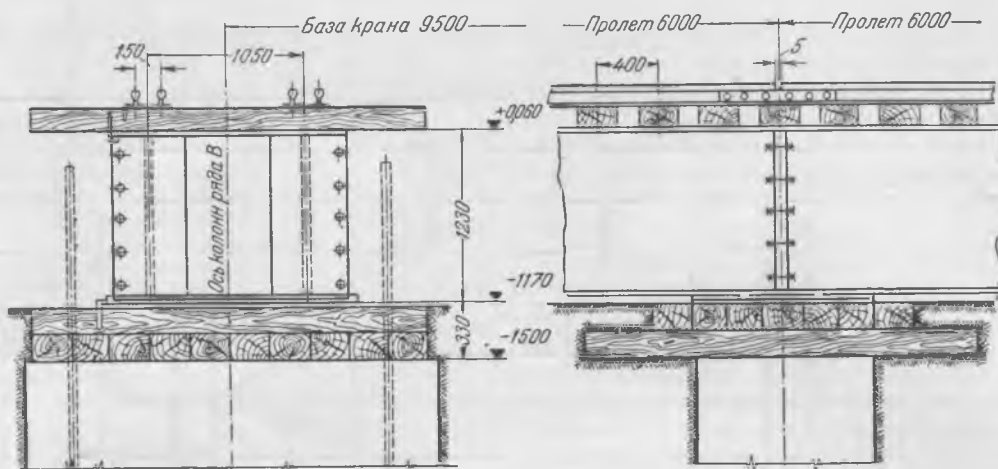


Рис. 2. Конструкция путей перемещения башенного крана.

из положения *I-a* — монтаж деаэраторного отделения и машинного зала осей 15 и 16, монтаж колонн и фахверка осей 17 и 18 ряда А.

Аналогично выполнялся монтаж стальных конструкций всех остальных осей машинного зала и деаэраторного отделения.

На рис. 3 показан подъем наиболее крупного блока весом 25,6 т из двух колонн деаэраторного отделения, связанных балками. Башенным краном были также смонтированы питательные баки, подогреватели системы регенерации и трубопроводы, укрупненные в блоки.

Для монтажа конструкции котельной башенный кран пропускался в пролете котельной по подземной части фундаментов последующих котлов с временным использованием в качестве опорных балок деталей стальных конструкций. Для перехода башенного крана с путей деаэраторного отделения на пути котельной был уложен дополнительный перпендикулярный путь на грунте у торцевой стены по оси 23 проектного расширения электростанции.



Рис. 3. Подъем блока колонн деаэраторного отделения.

Монтаж ячейки здания и котлоагрегата № 6 выполнен из двух положений башенного крана: из положения *II* — демонтаж временного торца котельной, монтаж двух пролетов бункерной и котлоагрегата № 6 без перекрытия котельной;

из положения *II-a* — монтаж перекрытия котельной и временного торца, непосредственно за котлом № 6.

Аналогично проводился монтаж следующих двух котлов и соответствующих пролетов бункерной и котельной.

Перегон башенного крана с одного положения в другое выполнялся в течение одной смены. Эта операция была легко освоена персоналом в ходе монтажа; имевшие место задержки и простои башенного крана при перегоне вызывались несвоевременной укладкой подкрановых путей, что при четкой организации строительных работ нетрудно устранить.

Площадка укрупнения блоков перемещалась каждый раз с передвижением башенного крана, располагаясь на подкрановых путях и на их продолжении в сторону расширения электростанции. На эту площадку подавались вполне законченные изготовлением конструкции, в том числе и колонны здания высотой до 37,2 м, которые собирались и полностью сваривались на плазе, расположенном в 500 м от монтируемого объекта.

Сбалчивание конструкций в блоки и оснастка колонн временными лестницами были единственными операциями, выполнявшимися под стрелой башенного крана, причем в этой работе участвовал также и железнодорожный паровой кран грузоподъемностью 10 т. Таким образом, была существенно сокращена потребность в сборочных площадях, расположенных в зоне монтажа.

Непосредственно за котлом № 6 и турбоагрегатом № 3 была смонтирована временная торцевая стенка облегченной конструкции с одинарным заполнением асбошиферными волнистыми плитами. По своему расположению временная торцевая стена обеспечила ведение монтажа котлоагрегата № 7 с помощью башенного крана и сооружение фундамента турбоагрегата № 4 вне здания.

Смонтированные с помощью башенного крана

График совмещенных монтажных работ

Месяцы

Наименование работ	Вес, т	Чел-дни	Месяцы											
			Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь				
Монтаж машинного зала	330	1 480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж стальных конструкций машинного зала (первая очередь)	330	1 480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Разборка заполнения, демонтаж временного горца деаэраторной и машинного зала, выпуск мостового крана машинного зала, включая испытание	35 (металла)	144	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж стационарных трубопроводов	165	2 820	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж трубопровода турбины, регенеративной установки и оборудования конденсационного помещения	155	1 525	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж турбины и генератора (пунктиром дни работы без мостового крана)	325	3 630	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Пусловые испытания турбоагрегата, опробование на оборотах, взятие нагрузки	—	280	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж конструкций временного торца деаэраторной и машинного зала	16	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж котельной	68	136	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Разборка заполнения и демонтаж башенным краном временного торца котельной и бункерной	68 (металла)	136	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж стальных конструкций бункерной (вторая очередь)	180	760	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж блоков котла, лестниц и площадок, включая выверку каркаса и барабанов	660	2 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж поверхности нагрева и трубопроводов в пределах котла, включая гидравлическое испытание	114	1 600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Обмуровка котла	—	1 570	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж прочего оборудования котлоагрегата, газо-воздухо-пылепроводов, мультициклонов и обшивки	169	2 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж вращающихся механизмов	—	620	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Позауловная сдача котлоагрегата, сушка обмуровки, щелочение, испытание на паровую плотность, пусковые операции, включение в магистраль	—	383	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж ферм и прогонов котельной (вторая очередь)	35	180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Монтаж конструкций временного торца бункерной и котельной	26	160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

котлоагрегаты имеют следующие весовые характеристики:

	Общий вес, т	В том числе блоками, т
Топочный каркас, включая шлаковую шахту, лестницы и площадки . . .	180	135
Каркас водяного экономайзера с лестницами и площадками . . . . .	85	60
Обшивка . . . . .	42	12
Бараны . . . . .	60	60
Радиационные и конвективные первичные пароперегреватели с пароперепускными трубами . . . . .	48	40
Радиационный вторичный пароперегреватель . . . . .	12	12
Кипятильно-экранный аппарат с водоподводящими и пароотводящими трубами . . . . .	96	21
Водяной экономайзер с водоперепускными трубами . . . . .	35	31
Пластинчатый, чугунный и трубчатый воздухоподогреватели с водоперепускными коробами . . . . .	218	210
Трубопроводы в пределах котла . . .	28	19
Гарнитура и прочие элементы . . . .	45	12
<b>Всего . . . . .</b>	<b>849</b>	<b>612</b>

Коэффициент блочности котлоагрегата:

$$K = \frac{612}{849} \approx 0,72$$

Сборка монтажных блоков производилась на площадках, расположенных вне помещения. Стенки каркаса котла весом до 20 т поступали в монтаж собранными в блоки, под башенным краном они оснащались лишь лестницами и площадками. Бараны, блоки воздухоподогревателя, водяного экономайзера, пароперегревателей и другие блоки поступали в монтаж с железнодорожных платформ.

Технологическая последовательность монтажа блоков котла мало изменилась от применения башенного крана, но темп был значительно ускорен: монтаж тяжелых блоков котла и стальных конструкций бункерной этажерки был выполнен в 30 дней.

Трубы фронтального и заднего экранов, а также кипятильные и перепускные трубы верхних барабанов монтировались россыпью в последовательности, позволившей производить их подачу башенным краном через проемы, оставленные в потолочном перекрытии топки. Это мероприятие ускорило темп монтажа поверхностей нагрева.

Монтаж пыле-газо-воздухопроводов осуществлен с высокими характеристиками блочности:

	Общий вес на 1 котел, т	В том числе блоками, т
Пылепроводы, включая сепаратор и циклон . . . . .	26,4	25,4
Газопроводы без мультициклонов . . . . .	37,5	34,5
Короба холодного воздуха . . . . .	4,6	4,2
Воздуховод горячего воздуха . . . . .	18,4	17,2
<b>Всего . . . . .</b>	<b>86,9</b>	<b>81,3</b>

$$K = \frac{81,3}{86,9} \approx 0,93$$

На колонне оси 14 ряда Д бункерной снаружи здания была установлена стрела грузоподъемностью 10 т и вылетом 22 м, которая с одного положения обеспечила монтаж наружных газоходов и батарейных циклонов весом около 170 т для двух котлов, после чего стрела была перенесена

на другую колонну для монтажа газоходов последующих котлов. Корпус батарейного циклона подавался блоком весом 10 т, внутренние элементы монтировались с помощью указанной стрелы отдельными деталями.

График совмещенных монтажных работ по котлоагрегату № 6 и турбоагрегату № 3 мощностью 50 тыс. кВт приведен в таблице (стр. 32).

Строительные работы (бетонировка междуэтажных перекрытий, заполнение и остекление стен, закрытие кровли) выполнялись вслед за выверкой смонтированных металлоконструкций, что обеспечило поточно совмещенное ведение строительно-монтажных работ. Черные полы котельной и машинного зала выполнялись в период монтажа оборудования, что очень мешало монтажным работам в самый напряженный период.

Численность рабочих в течение всего монтажа составляла 250—260 чел., лишь в июле, августе и сентябре это число возросло до 350 чел. за счет прибытия обмуровщиков и турбинистов, причем увеличение числа турбинистов было вызвано длительной задержкой с предоставлением мостового крана, занятого на ремонте турбин.

Снижение «пика» монтажных работ было достигнуто путем своевременной ревизии оборудования, контрольной сборки узлов и максимального внедрения блочного монтажа. На крупных узлах работ, как, например, монтаж металлоконструкций, монтаж поверхностей нагрева, обмуровка и др., были организованы комплексные бригады в составе до 40 чел.; широко применялась аккордная премиально-прогрессивная оплата труда. Расход рабочей силы составлял на монтаже стальных конструкций — 3,66, котлоагрегата — 9,1 и стационарных трубопроводов — 16,8 натуральных чел.-дней на 1 т, что на 15—20% ниже усредненных нормативов<sup>2</sup>.

## Выводы

1. Описанная схема совмещенного монтажа башенным краном металлоконструкций и технологического оборудования котельной оправдала себя как обеспечивающая скоростное производство строительно-монтажных работ и позволившая при готовности подземной части здания ввести в эксплуатацию в течение одного года 2 мощные турбины и 3 котла.

2. Ввиду простоты передвижения башенного крана при отсутствии крана с достаточным вылетом нет необходимости иметь на строительстве аналогичной электростанции 2 башенных крана.

3. Единое руководство монтажом металлоконструкций главного здания и технологического оборудования способствует совмещению работ и улучшению организации монтажа. Скоростного ведения монтажа можно добиться путем закрепления на площадке кадров, повышения их квалификации и организованности, не стремясь к излишнему увеличению числа рабочих.

4. Сооружение черных полов котельной и машинного зала необходимо заканчивать до начала монтажа оборудования.

<sup>2</sup> См. «Справочник укрупненных сметных норм» и «Справочную книжку строителя электростанций и сетей» на 1951 г.



*Осуществить широкое применение автоматизации производственных процессов на электростанциях. Завершить полную автоматизацию районных гидроэлектростанций, а также приступить к внедрению телемеханизации в энергетических системах.*

*(Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 годы).*

## **О возможности отказа от сушки электрических машин**

Доктор техн. наук И. А. Сыромятников

Практика отказа от сушки обмотки роторов турбогенераторов вполне себя оправдала. Дальнейшим шагом вперед является отказ в ряде случаев от сушки обмоток статоров электрических машин и в первую очередь обмоток с компаундированной или с гильзовой изоляцией класса В, а также отказ от сушки роторов гидрогенераторов. Для таких обмоток вместо практикуемой сушки в ряде случаев может быть проведена сушка под нагрузкой.

Испытания, проведенные в ЦНИЭЛ МЭС и в энергосистемах, показали, что обмотки статора этих машин имеют весьма большие запасы электрической прочности даже при сильном увлажнении. Поэтому сушка необходима только для сильно увлажненной машины, долго находившейся в атмосфере с большой влажностью или в воде. Но и в этом случае сушка должна проводиться только в неподвижном состоянии генератора.

Сушку при вращении следует считать неприемлемой. При такой сушке требуется затрата сравнительно большого количества пара или воды для работы турбины на холостом ходу. Для паровых турбин работа на холостом ходу нежелательна, а в некоторых случаях даже вредна.

Сушка задерживает включение полностью смонтированного генератора в сеть, что часто при недостатке мощности в системе совершенно недопустимо. Для гидрогенераторов сушка при вращении связана с необходимостью потери воды, задерживает выдачу мощности и имеет ряд других недостатков. Сушка при вращении практически не имеет преимуществ перед сушкой в неподвижном состоянии. Поэтому вполне своевременным является отказ от сушки электрических машин при их вращении.

Случаев повреждения слюдяной изоляции, не имеющей дефектов, из-за ее увлажнения в практике эксплуатации не отмечено. Ряд генераторов был включен в работу с весьма низким сопротивлением изоляции и работает надежно, без повреждений.

Так, например, в одной энергосистеме был включен генератор, имеющий по окончании весьма длительной сушки сопротивление изоляции  $R_{15}=0,6$  мгом и  $R_{60}=0,8$  мгом при  $97^\circ\text{C}$  и  $R_{15}=3$  мгом и  $R_{60}=4$  мгом при  $64^\circ\text{C}$ . По решению Технического управления МЭС этот генератор был испытан напряжением переменного тока от корпуса длительностью до 10 мин. Стабильность по времени диэлектрических потерь и токов утечки, а также пропорциональное изменение токов утечки от напряжения дали основание к включению

генератора под нагрузку с постепенным увеличением нагрузки от 0,6 до номинальной в течение 10 суток. Надежная работа этого генератора в течение нескольких лет показала правильность принятого решения.

Аналогичные случаи были и с другими генераторами. Во всех случаях обмотка статора этих генераторов предварительно подвергалась испытанию длительным приложением повышенного напряжения переменного тока. Испытывалась изоляция каждой фазы обмотки статора по отношению к корпусу и двум другим заземленным фазам. Величина приложенного напряжения доводилась до номинального линейного напряжения. Во всех случаях изоляция обмотки статора выдерживала такое испытание и затем генераторы включались в сеть с постепенным увеличением нагрузки.

Следует отметить, что низкое сопротивление не является характерным показателем для изоляции обмотки статора современных генераторов высокого напряжения. Величина сопротивления изоляции сама по себе не может служить признаком отбраковки.

На основе уже проведенных работ и анализа опыта эксплуатации при решении вопроса о необходимости сушки синхронных генераторов и компенсаторов с изоляцией обмотки статора класса В можно руководствоваться следующими положениями.

Синхронные генераторы и компенсаторы после капитального ремонта или длительной остановки могут включаться в работу без сушки.

Вновь устанавливаемые синхронные генераторы и компенсаторы с компаундированной, а также с опрессованной изоляцией и стержневой обмоткой статора могут включаться в работу без сушки, если отношение  $\frac{R_{60}}{R_{15}} \geq 1,3$  при  $15 \div 30^\circ\text{C}$ ,

где  $R_{15}$  и  $R_{60}$ —сопротивления, измеренные спустя 15 и 60 сек. после приложения напряжения от мегомметра или источника выпрямленного тока.

При меньших значениях  $\frac{R_{60}}{R_{15}}$  для вновь устанавливаемых синхронных генераторов и компенсаторов должна быть произведена сушка в неподвижном состоянии во время монтажа. Повторная сушка этих машин не производится и они включаются в работу без сушки.

Синхронные генераторы и компенсаторы, прошедшие капитальный ремонт на месте установки с полной или частичной сменой обмотки, подвергаются сушке под нагрузкой.

Под нагрузкой можно сушить также вновь

устанавливаемые генераторы и компенсаторы с компаундированной изоляцией, имеющие отношение  $\frac{R_{015}}{K_{15}} < 1,5$ , для которых по каким-либо причинам нельзя было провести сушку в неподвижном состоянии во время монтажа. Сушка под нагрузкой производится описанным ниже образом.

После испытания повышенным напряжением переменного тока в соответствии с нормами МЭС производится длительное, порядка 30—40 мин., испытание повышенным напряжением каждой фазы обмотки статора от корпуса и двух других заземленных фаз, при фазном и линейном напряжении. Во время испытания периодически измеряется напряжение и ток, а через каждые 10—15 мин. снимается напряжение и производится измерение сопротивления изоляции и наощупь проверяется отсутствие нагрева изоляции лобовых частей. Если роста тока утечки со временем не наблюдается, нагрев изоляции обмотки статора отсутствует и ток утечки растет примерно пропорционально напряжению — машина включается в работу.

Нагрузка машины по току статора постепенно, в течение 2—3 суток, увеличивается ступенями, начиная от тока порядка 0,5—0,6 номинального. Температура холодного воздуха устанавливается минимально возможной по условиям отпотевания воздухоохладителей. При всех остановах измеряется сопротивление изоляции.

## Выводы

Разработанные и широко внедренные способы сушки электрических машин и испытание их защиты в неподвижном состоянии значительно сократили продолжительность работы на холостом ходу и ускорили включение этих машин в работу. Дальнейшим шагом вперед является отказ в ряде случаев от сушки генераторов с изоляцией класса В и применение сушки под нагрузкой.

В настоящее время можно считать установленным, что сушка синхронных генераторов и компенсаторов при их вращении не имеет практически преимуществ перед сушкой в неподвижном состоянии и должна быть запрещена.

В целом ряде случаев вновь устанавливаемые синхронные генераторы и компенсаторы могут быть включены в работу без сушки.

Синхронные генераторы и компенсаторы после капитального ремонта или длительной остановки могут включаться в работу без сушки. Также могут включаться в работу без сушки вновь установленные генераторы и компенсаторы, прошедшие сушку в неподвижном состоянии во время монтажа.

Для синхронных генераторов и компенсаторов, проходящих на месте установки капитальный ремонт с полной или частичной обмоткой статора, следует применять сушку под нагрузкой с постепенным увеличением тока статора с номинального.

Следует провести испытания с длительным приложением напряжения к увлажненной обмотке статора в нагретом состоянии. При благоприятных результатах можно будет отказаться от ограничения нагрузки после включения машины в сеть. Есть все основания предполагать, что электрическая прочность обмотки статора и в нагретом состоянии окажется достаточно высокой.

Приведенные выводы относятся к машинам с изоляцией обмотки статора класса В.

Можно предполагать, что в дальнейшем по мере накопления опыта сушка электрических машин с изоляцией обмотки статора класса В будет проводиться в исключительных случаях. В подавляющем большинстве случаев эти машины будут включаться в работу без сушки. Вероятно, отпадет и необходимость в длительном испытании приложенным напряжением.

Работникам электромашиностроительных заводов следует в свете изложенного пересмотреть свое отношение к новым способам сушки и отказаться от сушки машин с изоляцией класса В при их вращении.



## Включение высоковольтных вращающихся машин без сушки

Инж. Г. И. Лысаковский и инж. К. М. Побегайло

В последние годы в системе МЭС проведен ряд работ<sup>1</sup>, позволяющих оценить степень увлажнения высоковольтных вращающихся машин, предложены и внедрены в эксплуатацию удобные критерии степени увлажнения (коэффициенты

абсорбции); показано, что средний уровень электрической прочности изоляции исправных машин очень высок и т. д.

В настоящее время работники эксплуатации и специалисты по изоляции подошли вплотную

<sup>1</sup> См., например, «Основные положения по ревизии и испытаниям при монтаже электрических машин», Госэнергоиздат, 1948; «Инструкция по сушке синхронных генераторов», Госэнергоиздат, 1949; ряд работ И. А. Сыро-

мятникова, а также статьи в журнале «Электрические станции»: Г. И. Лысаковского и М. Г. Соловьева, 1944, № 4; Г. И. Лысаковского, 1948, № 10 и 1950, № 10; В. В. Кулаковского, 1950, № 7; В. Н. Звездкина и Г. В. Израелита, 1951, № 12.

к решению вопросов о степени опасности увлажнения изоляции и сушке изоляции машин.

В свете этого представляют интерес изложенные ниже данные, показывающие возможность включения машин с изоляцией класса В без сушки в подавляющем большинстве случаев (если даже коэффициент абсорбции имеет очень небольшие значения, — близкие к единице). Изоляция подсыхает уже при работе машины под нагрузкой.

Вообще мысль о том, чтобы изоляция подсыхала в работе (а машина давала бы энергию), возникала у эксплуатационного персонала давно. Вопрос этот решался в отдельных случаях с той или иной смелостью и риском в зависимости от технической интуиции и опыта лиц, принимавших решение.

В качестве примера из практики эксплуатации можно привести такую сушку компенсатора 6 кв, 15 тыс. квв, имевшего непрерывную, но не ком-паундированную изоляцию.

После длительной и безуспешной сушки машины величина сопротивления изоляции при 100°С составляла при 15 сек. 0,5—0,6 мгом, а при 60 сек. 0,75—0,8 мгом ( $R_{60}/R_{15} = 1,4 - 1,5$ ).

Ввиду тяжелого положения в энергосистеме машина была включена в работу с ограничением нагрузки. В течение 5 дней работы ежедневно производились измерения сопротивления изоляции (для чего машина останавливалась) при 50—60°С. Величина сопротивления изоляции продолжала снижаться: коэффициент абсорбции был примерно на уровне 1,45—1,67.

После рассмотрения всех данных с Техническим управлением МЭС было принято решение снять ограничение по нагрузке; в последующее время производились контрольные измерения примерно 1 раз в месяц.

Абсолютная величина сопротивления изоляции первое время медленно повышалась, а через 115 дней указанное повышение сделалось заметным, что видно из табл. 1.

Таблица 1

	Исходные значения	Через 115 дней работы
$R_{15}$ , мгом . . . . .	4	13
$R_{60}$ , мгом . . . . .	6	20
$R_{60}/R_{15}$ . . . . .	1,5	1,55
Температура обмотки при измерении, °С . . . . .	60	57

Укажем, что до включения машины в работу тангенс угла диэлектрических потерь при 40°С и напряжении 4 кв был порядка 30%. Величина пробивного напряжения (определенная на резервных секциях) находилась на уровне 30—40 кв.

Допустимость включения невысушенных машин с изоляцией класса В подтверждается многолетним опытом эксплуатации энергосистемы, а также имеющимися литературными данными, которые позволяют утверждать, что повреждения изоляции машин из-за увлажнения практически не имеют места (исключения составляют аварийные случаи заливания двигателей водой, не являющиеся характерными).

В целях разрешения вопроса о влиянии увлажнения изоляции на ее электрическую прочность в энергосистеме проводились соответствующие лабораторные работы<sup>2</sup>, результаты которых были применены в практике эксплуатации.

### Результаты лабораторных испытаний

Главной целью проведенных испытаний являлось определение величины пробивного напряжения и времени, необходимого для пробоя изоляции (при воздействии на нее напряжения различной величины) в зависимости от параметров изоляции, а также установления признаков необратимых процессов после действия напряжения (разрушений).

Еще при исследовании вопроса о воздействии испытательного напряжения на изоляцию (1947—1948 гг.) было найдено, что новая непросушенная изоляция 6 кв (даже недостаточно удовлетворительного качества изготовления) выдерживает действие напряжения кратностью 1,5—2,5  $U_{ном}$  в течение значительного времени (50—100 час.) без каких-либо признаков разрушения. Результаты одного из таких испытаний приведены в табл. 2.

Отдых изоляции в течение нескольких часов после приложения напряжения, равного 1,5  $U_{ном}$ , возвращал угол потерь к прежнему значению. Показания указателя частичных разрядов по абсолютной величине были незначительны и существенно не менялись. Пробивное напряжение было порядка 30—40 кв.

В 1951 г. подобные опыты были проведены на большом количестве образцов, главным образом

<sup>2</sup> В работах принимали участие В. А. Савинов, А. В. Гриценко, А. К. Горстка, Я. П. Шлыков и др.

Таблица 2

	Испытательное напряжение			
	1,5 $U_{ном}$	2,0 $U_{ном}$	2,5 $U_{ном}$	1,5 $U_{ном}$ (образец с надрезанной изоляцией)
Начальное значение $\text{tg } \delta$ , % . . . . .	26	36	38	34
Время возрастания $\text{tg } \delta$ , час . . . . .	20	3—4	2	3
Пределы колебаний значений $\text{tg } \delta$ в области стабилизации (абсолютные величины), % . . . . .	30,1—32,2	34,6—36,2	38,9—42	38—41
Общее время приложения напряжения, час . . . . .	96	46	48	96

на секциях двигателя 3 кв, изготовленных с гильзовой (миканитовой) изоляцией; толщина последней в пазовой части была примерно 1,4 мм\*. Секции не подвергались сушке. Исследовались также и другие образцы.

При испытаниях пазовая часть обматывалась станиолью и заземлялась; напряжение подавалось на токоведущую медь. Испытательное напряжение было в пределах от 12 до 25 кв; оно выдерживалось до момента пробоя. Наибольшее количество опытов (20) было проведено при 18 кв (6  $U_{ном}$ ). Среднее время до момента пробоя при этом напряжении составило 76 мин., разброс отдельных значений, обусловленный неоднородностью изоляции, значителен: в трех точках это время превышает 300 мин., а в шести точках составляет менее 10 мин. При действии напряжения 12 кв (для изоляции хорошего качества) пробоя не наступило в течение 178 час. приложения напряжения (после снятия напряжения изоляция имела пробивное напряжение 27—32 кв). Очевидно, что при действии рабочего напряжения (3—3,3 кв) время до момента пробоя будет неопределенно велико; за это время даже сырая изоляция успеет просохнуть (что и подтверждается эксплуатационным опытом).

Опыты были проведены при температуре порядка 17—21° С. Очевидно, при рабочей температуре пробивное напряжение будет ниже, однако незначительно. По имеющимся данным наших заводов, снижение составит величину порядка 15%\*\*. Уровень электрической прочности испытанной изоляции (при подъеме напряжения со скоростью ~ 2 кв/сек) высок и находится в пределах 22—27 кв, что достигает уровня прочности новой изоляции этого класса; по данным ХЭМЗ, пробивное напряжение новой изоляции составляет 23,5 кв (7,3  $U_{ном}$ ). К сожалению, значительный разброс отдельных значений заставляет ограничить анализ полученных данных.

При вскрытии пробивных секций (после испытаний) не было обнаружено признаков постепенного разрушения: канал пробоя имел четкий, локализованный характер; обугливания близлежащих слоев бумаги не было. Исключение составили секции, находившиеся в воде в течение 8—16 час. (секции не были покрыты лаком). Сопротивление изоляции этих секций составило величину порядка 0,1 мгом; tg δ при напряжении 1,0  $U_{ном}$  был порядка 60% и выше. На лобовых частях образовались обугленные «дорожки» (от меди к пазовой части), главным образом на поверхностных слоях. Однако даже и в этих случаях пазовая часть изоляции не имела разрушений.

В 1951 г. было проведено испытание изоляции статора синхронного компенсатора ХЭМЗ 6 кв, 10 тыс. кВа, изготовленного 1940 г. (изоляция компаундированная), который после изготовления не работал, а транспортировался с базы на базу и хранился в плохих условиях.

\* Образцы были изготовлены на ремонтно-механическом заводе энергосистемы.

\*\* См., например, Г. И. Сканава, Сборник «Электрическая изоляция», вып. II, 1938.

Результаты испытаний оказались следующими. Сопротивление изоляции, измеренное мегомметром 2500 в для каждой из фаз, составило при 15 сек. 9—10 мгом, а при 60 сек. 9,6—10,5 мгом ( $R_{60}/R_{15} \approx 1,05$ ); tg δ при номинальном напряжении составил примерно 25%; а приращение его (при изменении напряжения от 0,5 до 1,5  $U_{ном}$ ) — 10%. Ток утечки, измеренный при напряжении 7,8 кв<sub>макс</sub>, составил ~ 900 мка. Изоляция обмотки выдержала испытание переменным напряжением 1,5  $U_{ном}$  в течение 1 мин. Длительное нахождение статора в сухом помещении (машинный зал электростанции) привело к подсыханию изоляции; величина ее сопротивления резко выросла ( $R_{15} = 250$  мгом,  $R_{60} = 400$  мгом,  $R_{60}/R_{15} = 1,6$ ); tg δ, измеренный при номинальном напряжении, уменьшился с 25 до 13%. Можно полагать, что увлажнение изоляции имело главным образом поверхностный характер, и обмотка, несмотря на тяжелые условия хранения, имеет хорошие электрические характеристики изоляции. Данный статор будет включен в работу без дополнительной сушки.

### Эксплуатационный опыт

Результаты лабораторных опытов были затем проверены в эксплуатации. Главным критерием степени увлажнения изоляции был принят коэффициент абсорбции  $R_{60}/R_{15}$  в сопоставлении с изменениями абсолютных величин сопротивления; также определялся тангенс угла диэлектрических потерь. Измерения сопротивления производились мегомметром 2500 в при отсчетах 15 и 60 сек. Ниже приводятся результаты измерений, причем для удобства изложения абсолютные величины сопротивления изоляции в мегомах приведены соответственно в числителе (при 60 сек.) и в знаменателе (при 15 сек.).

1. Генератор 6,6 кв, 31 250 кВа иностранной фирмы был включен в работу с полной нагрузкой при параметрах изоляции:  $R_{60}/R_{15} = \frac{2,7}{2,3} = 1,15$  (для всех трех фаз, соединенных вместе, при 60° С) tg δ, измеренный при 5 кв и 16° С, составил 8%.

Через трое суток работы при полной нагрузке изоляция подсохла и параметры улучшились, а именно  $R_{60}/R_{15} = 25/16 = 1,56$ .

2. Синхронный компенсатор 6,6 кв, 10 тыс. кВа ХЭМЗ с компаундированной изоляцией после замены обмотки был включен без сушки при параметрах изоляции:  $R_{60}/R_{15} = \frac{120}{100} = 1,2$  (для всех трех фаз, соединенных вместе при 22—26° С); tg δ, измеренный при напряжениях 0,5, 1,0 и 1,5  $U_{ном}$ , составил соответственно 7, 17 и 26%.

Через 5 суток работы при полной нагрузке параметры изоляции улучшились, а именно  $R_{60}/R_{15} = 300/150 = 2,0$  (при 38° С); tg δ, измеренный при напряжении 1,0  $U_{ном}$ , уменьшился с 17 до 10%, т. е. изоляция подсохла.

3. Двигатель 3 кв, 190 ква, типа Бамсо, завода им. М. И. Калинина (с компаундированной изоляцией) был включен без сушки при параметрах изоляции, определенных при 17°С;  $R_{60}/R_{15} = 90/80 = 1,15$ ;  $\text{tg } \delta$ , измеренный при фазном напряжении, составил 16,4%. Судя по изменению сопротивления, увеличившегося примерно в 10 раз за 1 месяц, изоляция подсохла. Двигатель работает около года и не имеет повреждений.

### Выводы

1. Следует признать актуальными и своевременными решения Технического управления МЭС об упрощении сушки и установлении критериев для оценки степени опасного увлажнения изоляции (см. „Электрические станции“, № 3, 1952 г.).

□ □ □

## Влияние увлажнения на электрическую прочность изоляции генератора

Инж. Н. Н. Лукин и инж. Н. П. Фуфурин

Опыт ряда энергосистем показал, что увлажнение для обмоток статора генератора с изоляцией класса В в большинстве случаев не представляет опасности. Оно носит в основном поверхностный характер и после увлажнения изоляция машины быстро подсыхает<sup>1</sup>.

С целью выяснения влияния увлажнения машины на электрическую прочность изоляции, а также проверки влияния длительного приложения повышенного напряжения к обмотке, ЦНИЭЛ МЭС и некоторыми энергосистемами поставлены специальные испытания. Ниже приводятся краткие результаты опытов, проведенных ЦНИЭЛ МЭС по заданию Технического управления МЭС на одном турбогенераторе<sup>2</sup>.

Турбогенератор АЕГ, 27 800 ква, 5,7 кв, схема соединения «треугольник» работает в качестве синхронного компенсатора. Обмотка двухслойная, корзиночного типа. В каждой фазе 34 стержня (17 витков). Изоляция пазовой части — твердодопрессованные миканитовые гильзы (верхний слой — кабельная бумага 0,12 мм; толщина гильзы колеблется от 2,2 до 2,65 мм).

Изоляция лобовых частей — 5 слоев лакоткани по 0,25 мм вполнахлестку и 1 слой тафтяной ленты. В лобовой части между стержнями про-

2. Приведенные в настоящей статье данные позволяют поставить вопрос о дальнейших шагах в рассматриваемом вопросе, а именно, как правило, отказаться от специальной сушки машин с изоляцией класса В перед включением, считая, что изоляция подсыхает в работе. Длительное действие рабочего напряжения не опасно для непросушенной изоляции нормального качества изготовления.

3. Следует накапливать опыт по включению машин без сушки, изучая изменение параметров изоляции со временем.

4. Следует поставить лабораторные работы в направлении изучения микроструктурного изменения изоляции под действием напряжения.

5. При определении степени увлажнения и его характера следует учитывать комплекс показателей: коэффициент абсорбции ( $R_{60}/R_{15}$ ), характер изменения абсолютных величин сопротивления изоляции,  $\text{tg } \delta$  и др.

ложены дистанционные гетинаксовые прокладки толщиной 8 мм. Пазовая изоляция в машине монолитная, не расслаивается, но местами прорезана на глубину до 0,4 мм выступающими листами активной стали из-за плохой шихтовки сердечника статора. Изоляция лобовых частей — сухая и хрупкая.

Генератор в течение 5 лет находился на открытом воздухе в дощатой упаковке (только был порван). В феврале 1951 г. проводились ремонт этой машины и испытания повышенным напряжением; при этом была пробита изоляция одного стержня в пазу.

Поврежденный стержень был отремонтирован, остальные — выдержавшие испытания — были оставлены без переизолировки. Турбогенератор работал в качестве синхронного компенсатора около 3 тыс. час. и снова выведен в ремонт из-за пробоя стержня обмотки статора.

### Увлажнение машины

До проведения испытаний генератор с вынутым ротором в течение 3 мес. стоял, закрытый брезентом, и подогревался электропечью из камеры холодного воздуха (температура воздуха в расточке была около +45°С). После того как раскрытая машина остыла (температура воздуха в помещении +12°С и относительная влажность 30%), для различных схем соединения обмоток были сняты кривые абсорбции, ионизации и саморазряда, а затем проверено влияние длительного приложения напряжения до 5,7 кв на характеристики изоляции.

После снятия характеристик изоляции обмот-

<sup>1</sup> Б. П. Лебедев, О предупреждении увлажнения изоляции электрических машин, „Электрические станции“, 1949, № 4; М. С. Калинина, Увлажнение изоляции генераторов, „Электрические станции“, 1951, № 2; И. В. Малхасьян, Попадание воды на обмотки генераторов, „Электрические станции“, 1951, № 11.

<sup>2</sup> В проведении испытаний большую помощь оказали руководство и работники Горэнерго, а также бригада Киевэнергоремонта под руководством И. Я. Мартыненко.

Время	$R_{15}$ , мгом	$R_{60}$ , мгом	$\frac{R_{60}}{R_{15}}$	$t_{\text{маш}}$ , °C	Примечание
Увлажнение					
30/1, 17 час.	850	2 700	3,18	12	Включены подогрев и кипятильник
31/1, 8 час.	220	400	1,82	45	
31/1, 14 час.	150	210	1,4	43	Подогрев снят в 15 час.
31/1, 19 час.	2,1	2,2	1,05	33	
1/II, 8 час.	0,02	0,02	1,0	33	Отключен кипятильник
Естественная сушка					
1/II, 16 час.	1,4			24	Машина раскрыта
1/II, 20 час.	2,7			—	
1/II, 23 час.	4,7			—	
2/II, 2 час.	8,1			20	
2/II, 5 час.	12			—	
2/II, 9 час.	17,5	19	1,08	18	

ки проводилось увлажнение машины. Машина, предварительно закрытая брезентом, увлажнялась с помощью кипятильника, установленного в камере холодного воздуха. Чтобы влага не конденсировалась сразу на поверхности изоляции и стали, в первое время машина подогревалась электронагревателями до 40—45° С и в нее испарялось около 10 л/час воды. В дальнейшем подогрев был уменьшен, а количество испаряемой воды увеличено. Но процесс увлажнения при этом шел все еще медленно. В расточке статора относительная влажность воздуха была порядка 100%, но не было следов влаги на обмотке.

Для ускорения процесса увлажнения печи подогрева были отключены, а количество испаряемой воды увеличено до 20—25 л/час. В расточке статора появился плотный туман, а поверхность обмотки стала влажной, что привело к быстрому снижению сопротивления изоляции. Последний режим продолжался 14 час.

Процесс увлажнения в целом продолжался 40 час. и за это время в машину было выпарено около 500 л воды. За время увлажнения сопротивление изоляции снизилось с 850 до 0,02 мгом, а коэффициент абсорбции стал равным единице (табл. 1). Через 8 час. после отключения кипятильника, когда температура лобовых частей снизилась до +20° С, а стали — до +24° С, машина была раскрыта (температура воздуха в помещении +12° С, относительная влажность 60%).

После раскрытия машины сопротивление изоляции обмотки статора вначале быстро росло, так как поверхность лобовых частей интенсивно подсыхала, а затем процесс естественной сушки стал идти более медленно. За 17 час. естественной сушки сопротивление изоляции возросло от 0,4 до 17,5 мгом (III фаза относительно двух других, заземленных), а коэффициент абсорбции  $R_{60}/R_{15}$  возрос до 1,08 (см. данные по увлажнению и естественной сушке в табл. 1). Температура обмотки при этом снизилась с +20 до +17° С, а температура стали — с +24 до +18° С. Относительная влажность воздуха была 50—60%.

В табл. 2 приведены характеристики изоляции машины до и после увлажнения (для III фазы при двух других заземленных).

Из этой таблицы видно, что сопротивление изоляции при увлажнении снизилось в десятки

Таблица 2

Состояние	$R_{15'}$ , мгом	$R_{60'}$ , мгом	$R_{5'}$ , мгом	$\frac{R_{60'}}{R_{15'}}$	$\frac{R_{5'}}{R_{60'}}$	$\text{tg } \delta^*$ , %	$t_{\text{маш}}$ , °C
До увлажнения	850	2 700	8 000	3,18	2,95	5,6	12
После увлажнения	17,5	19	22	1,08	1,16	12,6	18

\*  $\text{tg } \delta$  приводится для  $U = 3,3$  кв; область ионизации для сухой и увлажненной машины начиналась с 4 кв.

раз, коэффициент абсорбции при этом получился близким к единице, а  $\text{tg } \delta$  возрос более чем вдвое. По этим показателям следует считать, что машина после проведения перечисленных опытов была сильно увлажнена.

Характеристики изоляции отдельных стержней во влажном состоянии снимались спустя 3,5 дня после увлажнения, когда было снято крепление лобовых частей и коэффициент абсорбции распаянной обмотки относительно корпуса стал равным 1,5. Данные для сухих стержней снимались после сушки распаянной машины. Значения для отдельных стержней отличались незначительно от приведенных в табл. 3 среднеарифметических значений  $\text{tg } \delta$  для сухих и увлажненных стержней. Сопротивление изоляции сухих и увлажненных стержней при 15 сек. было больше 10 000 мгом.

Таблица 3

Приложенное напряжение $U$ , кв	Сухие стержни, кв	Увлажненные стержни, кв
2,85	3,7	8,7
4,27	6,6	13,2
5,7	14	20,5

### Длительное приложение повышенного напряжения

Для выяснения влияния длительного приложения повышенного напряжения на характеристики изоляции к III фазе длительно прикладывалось напряжение величиной  $U_{\phi}$ , 1,5  $U_{\phi}$  и  $U_{\phi}$  для случаев сухой и увлажненной изоляции обмотки.

Напряжение периодически (через 15—20 мин.)

отключалось и для обмотки измерялись  $\text{tg } \delta$  и сопротивление изоляции (табл. 4).

Таблица 4

Наименование	Сухая обмотка		Увлажненная обмотка	
	до приложения напряжения	после приложения напряжения	до приложения напряжения	после приложения напряжения
$R_{15}, \text{ мгом}$ . . . . .	850	850	22,5	31
$R_{60}, \text{ мгом}$ . . . . .	2700	2700	24,7	36,5
$R_{60}/R_{15}$ . . . . .	3,18	3,18	1,1	1,17
$\text{tg } \delta, \%$ . . . . .	10	10	19,6	19,4
$t_{\text{маш}}, ^\circ\text{C}$ . . . . .	12	12	17	16
Время приложения напряжения	1 час. 15 мин.		1 час. 20 мин.	

Сухая изоляция машины при длительном приложении  $1,5 U_{\phi}$  и линейного напряжения не изменила своих характеристик под воздействием длительно приложенного напряжения. При воздействии тех же напряжений на влажную обмотку сопротивление изоляции последней росло быстрее, чем при отсутствии напряжения на обмотке (причем приложение напряжения к III фазе сказывается и на двух других фазах).

Таким образом, повышенное переменное напряжение ускоряет процесс естественной сушки влажной изоляции.

Во влажном состоянии к трем стержням также прикладывалось длительно переменное напряжение  $1,5 U_{\phi}$  и выпрямленное напряжение  $3 U_{\phi}$ . Токи утечки на выпрямленном напряжении для отдельных стержней при 17 кВ составляли около 2 мкА. Дополнительно к трем стержням в сухом состоянии прикладывалось переменное напряжение  $1,5 U_{\phi}$ . На сухих стержнях никаких изменений характеристик изоляции не было обнаружено. На увлажненных стержнях было замечено небольшое снижение  $\text{tg } \delta$ ; изменения других характеристик изоляции не было обнаружено.

### Электрическая прочность изоляции сухих и увлажненных стержней

Половина стержней распаянной машины была испытана на электрическую прочность в увлажненном состоянии через 4 дня после увлажнения, а остальные — после сушки. Испытания проводились на переменном и выпрямленном напряжении. При определении электрической прочности изоляции отдельных стержней (без выемки из статора) остальные стержни заземлялись на корпус. При испытании на электрическую прочность все стержни, кроме трех, были пробиты в лобовой части по одному — три раза в разных местах.

В пазовой части (на корпус) было пробито 3 стержня: один (№ 43 верхний) — в сухом состоянии при 36,2 кВ на выпрямленном напряжении и два (№ 22 и 24 верхние) — во влажном состоянии, соответственно при 17,4 и 15,7 кВ на переменном напряжении. За исключением трех пробившихся стержней остальные стержни как в сухом, так и во влажном состоянии держали переменное напряжение от 12,5 до 21 кВ и выпрямленное напряжение — от 25 до 54 кВ.

В лобовой части сухие стержни пробивались на переменном напряжении от 9,8 до 20,8 кВ и на выпрямленном напряжении — от 24,6 до 54 кВ. Как на переменном, так и на выпрямленном напряжении пробой проходили по торцевым поверхностям гетинаксовых дистанционных прокладок на смежные стержни или по воздуху возле прокладок, кроме нескольких пробоев, которые произошли в середине лобовых дуг по воздуху.

Около гетинаксовых прокладок, где происходили пробой, изоляция была ослабленной — немного вспученная и хрупкая. Увлажненные стержни пробивались от 11 до 20,8 кВ на переменном и от 25 до 52 кВ на выпрямленном напряжении.

Характер пробоев увлажненных стержней был таким же, как и сухих. Данные по минимальным, средним и максимальным пробивным напряжениям приведены в табл. 5.

Таблица 5

Пробивное напряжение	Сухие стержни		Влажные стержни	
	переменное напряжение, кВ	выпрямленное напряжение, кВ	переменное напряжение, кВ	выпрямленное напряжение, кВ
Минимальное значение . . . . .	9,8	24,6	11	25
Среднее значение . . . . .	16	36,5	15,9	35,3
Максимальное значение . . . . .	20,8	54	20,8	52
Отношение средних пробивных напряжений (выпрямленного к переменному) . . . . .	2,28		2,2	

### Выводы

1. Электрическая прочность изоляции данной машины в сухом состоянии практически не отличается от электрической прочности изоляции во влажном состоянии.

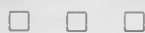
2. Длительное воздействие повышенного переменного напряжения до  $1,5 U_{\phi}$ , как на сухую, так и на увлажненную изоляцию машины не вызвало каких-либо изменений характеристик изоляции, свидетельствующих об ухудшении ее свойств.

3. Отношение пробивных напряжений (выпрямленного к эффективному переменному) для сухой и увлажненной изоляции было порядка 2,2—2,3.

4. Минимальные пробивные напряжения стержней в лобовой части как в сухом, так и в увлажненном состоянии были одного порядка и не ниже 9,8 кВ. Пробивные напряжения пазовой изоляции в сухом и во влажном состоянии были выше 12 кВ (переменного напряжения).

5. Приложение повышенного переменного напряжения к увлажненной машине приводит к некоторому ускорению естественной сушки.

6. Проверенные испытания, а также опыты по увлажнению изоляции машин в энергосистемах указывают на то, что во многих случаях имеется возможность отказаться в эксплуатации от сушки высоковольтных вращающихся машин.



# Сушка трансформаторов током нулевой последовательности

Инж. Е. И. Загоскин

Описываемый в данной статье метод сушки трансформаторов предусматривает использование для нагрева трехфазных стержневых трансформаторов потерь в массивных частях магнитопровода и в баке, вызываемых потоком нулевой последовательности. В качестве намагничивающей обмотки для создания потока нулевой последовательности может быть использована одна из обмоток трансформатора, безразлично какая, соединенная по схеме нулевой последовательности. Практически это осуществляется подключением соответствующего напряжения промышленной частоты между закороченными выводами фаз и нулевой точкой одной из обмоток (рис. 1,а). В случае соединения обмотки трансформатора в треугольник, напряжение подключается в разрыв треугольника (рис. 1,б). Вторая обмотка при этом должна оставаться свободной, в случае соединения ее в звезду или также иметь разрыв (желательно — на всех трех фазах) при соединении ее в треугольник.

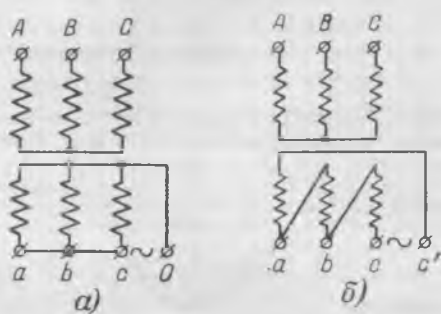


Рис. 1. Схемы включения трансформаторов для сушки их током нулевой последовательности при соединении используемой обмотки в звезду (а) и в треугольник (б).

В обоих случаях в стержнях трехфазного трансформатора будут пульсировать одинаковые по величине и совпадающие по фазе магнитные потоки, вынужденные замкнуться через конструктивные детали магнитопровода и кожух трансформатора и частично через внутрибаковое воздушное пространство. При этом будет иметь место выделение тепла в следующих элементах трансформатора:

- 1) в стенках бака от вихревых токов;
- 2) в вертикальных конструктивных деталях магнитопровода (анкерных болтах) также от вихревых токов, вызванных ответвлением части магнитного потока через эти детали;
- 3) в прессующих верхнее и нижнее ярмо магнитопровода консолях и стягивающих их болтах, которые образуют для потока нулевой последовательности короткозамкнутые витки;

4) в меди обмотки, по которой протекает ток нулевой последовательности;

5) в магнитопроводе.

Как показали опыты, значительная часть подводимой мощности выделяется во внутренних частях трансформатора — в консолях, анкерных болтах, магнитопроводе; это дает описываемому методу ряд преимуществ по сравнению с обычным методом потерь в баке.

Во-первых, воздушная подушка между сердечником и кожухом является (при данном методе) тепловой изоляцией, препятствующей передаче тепла от сердечника кожуху и в окружающую среду, в то время как при обычном индукционном методе это воздушное пространство препятствовало нагреву сердечника. Во-вторых, выделение тепла в магнитопроводе и частично в намагничивающей обмотке создает положительные тепловые градиенты в изоляции обмоток, способствуя усиленной термодиффузии влаги.

Эти обстоятельства обусловили возможность ограничиться при сушке новым методом, примерно половинной мощностью по сравнению с мощностью, необходимой при сушке обычным индукционным методом, сократить время подъема температуры и время сушки; в некоторых случаях оказалось возможным производить сушку без утепления бака.

Расчет величины подводимого напряжения производится по следующим формулам:

для трех параллельных фаз

$$U_0 = \sqrt{\frac{P_a z_0}{3 \cos \varphi_0}}; \quad (1)$$

для разомкнутого треугольника

$$U_0 = \sqrt{\frac{3P_a z_0}{\cos \varphi_0}}; \quad (2)$$

где  $P_a$  — мощность потерь, необходимая для сушки;

$\cos \varphi_0$  — коэффициент мощности нулевой последовательности (лежит в пределах 0,5—0,7 в зависимости от конструкции керна и бака трансформатора);

$z_0$  — сопротивление нулевой последовательности трансформатора, зависящее от его конструкции.

Практически, при отсутствии специального регулировочного трансформатора приходится включать обмотку трансформатора не на расчетное напряжение, а на ближайшее к нему имеющееся напряжение сети; соответственно этому должен быть произведен пересчет тока и мощности нулевой последовательности.

В 1951 г. была произведена экспериментальная сушка новым методом трансформатора 3 000 кВА 6/0,5 кВ (соединение зануленная звез-

<sup>1</sup> Печатается в порядке обсуждения. Ред.

да/звезда,  $\epsilon_k = 5\%$ ), в котором при капитальном ремонте на заводе была произведена полная смена изоляции обмотки и магнитопровода.

После капитального ремонта выемная часть без кожуха транспортировалась на открытой машине к месту монтажа, находившемуся на расстоянии 400 км от ремонтного завода.

Сопротивление изоляции обмоток перед сушкой при 12°С составляло:

Обмотка высокого напряжения — корпус . . . 2,5 мгом  
 Обмотка низкого напряжения — корпус . . . 0,75 мгом  
 Между обмотками . . . . . 1,5 мгом

Трансформатор был сильно урлажен.

Напряжение  $U_0 = 202$  в было подключено к обмотке 6 кв согласно рис. 1,а; ток нулевой

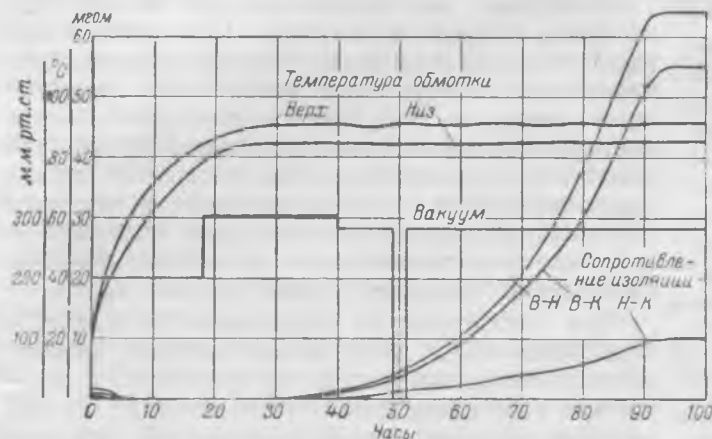


Рис. 2. График сушки трансформатора 3000 кв, 6,0,5 кв.

последовательности составил 76,5 а; мощность  $P_0 = 9,6$  квт

Как видно из графика сушки (рис. 2), через 24 часа после включения трансформатора на сушку температура достигла 90°С и поддерживалась на этом уровне периодическим отключением питания. Перерывы в питании составляли 1/3 общего времени сушки. Вакуум был создан через час после начала сушки и в среднем составлял 280 мм рт. ст. Наименьшее сопротивление изоляции наступило при 70°С и составляло:

Обмотка высокого напряжения — корпус . . . 0,25 мгом  
 Обмотка низкого напряжения — корпус . . . 0,10 мгом  
 Между обмотками . . . . . 0,10 мгом

Радиаторы с трансформатора не снимались, утепление было произведено листовым асбестом.

Через 94 часа от начала сушки сопротивление изоляции достигло максимума и составило при 91°С:

Обмотка высокого напряжения — корпус . . . 55 мгом  
 Обмотка низкого напряжения — корпус . . . 10 мгом  
 Между обмотками . . . . . 63,7 мгом

Через 6 час. после получения указанных значений трансформатор был отключен. Заполнение масла было произведено снизу через спускной вентиль под вакуумом при 60°С.

Через 6 час. после заполнения маслом был произведен контрольный подъем выемной части. Следов местного перегрева не обнаружено, изоляция сохранила первоначальный цвет и эластичность.

Установившиеся температуры в различных точках кожуха и керна трансформаторов имели следующие значения:

Верх обмотки . . . . . 93°С  
 Низ обмотки . . . . . 86°С  
 Середина стенки бака . . . . . 74°С  
 Стенка крайнего радиатора . . . . . 43°С  
 Середина крышки трансформатора . . . 90°С  
 Середина дна бака . . . . . 85°С

Описываемым способом также был высушен вольтодобавочный трансформатор 6 кв, 10 000 кв, 6/6+12×0,1 кв, 963 а.

Вольтодобавочный трансформатор имеет два параллельно расположенных трехстержневых магнитопровода, на одном из которых размещены обмотки регулировочного автотрансформатора, на

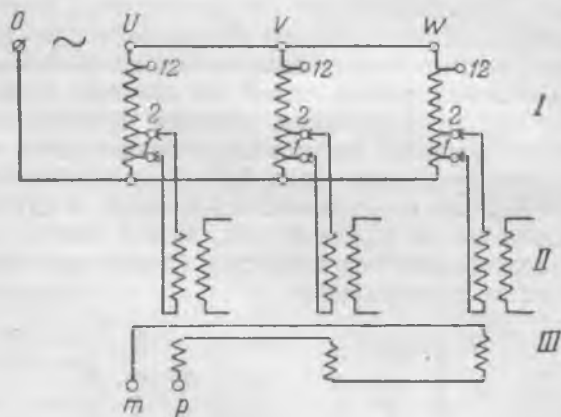


Рис. 3. Схема соединения обмоток вольтодобавочного трансформатора 10 000 кв, 6 кв при его сушке.

I — обмотка регулировочного автотрансформатора; II — обмотка вольтодобавочного трансформатора; III — размагничивающая обмотка.

втором — обмотки вольтодобавочного трансформатора и размагничивающая обмотка (рис. 3).

В зависимости от установки регулирующего устройства на повышение или понижение напряжения потоки нулевой последовательности в двух магнитопроводах могут иметь одинаковые или противоположные направления. Нетрудно видеть, что в последнем случае количество силовых линий, пронизывающих бак, будет меньше, а напряжение нулевой последовательности, служащее для создания необходимых для сушки потерь, будет больше вследствие меньшего сопротивления магнитной цепи для потока нулевой последовательности. Основная часть потока обоих магнитопроводов в этом случае будет замыкаться через активную сталь магнитопроводов и процесс сушки будет более экономичен.

Вольтодобавочный трансформатор, позволявший в широких пределах регулировать мощность потерь, представлял удобный объект для исследований и его было решено высушить без утепления кожуха. Попутно была поставлена задача уточнения степени нагрева контактных поверхностей между консолями и стягивающими их болтами, для чего указатели манометрических термометров были установлены как непосредственно у контактных поверхностей, так и на магнитопроводе и обмотке.

Вначале сушка велась при положении регулирующего устройства, обусловившего одинаковое

направление магнитных потоков в обоих магнитопроводах. При напряжении 180 в активная мощность составляла 9,5 кВт, ток 100 а,  $\cos \varphi_0$  0,528.

Дальнейшее повышение мощности переключением регулирующего устройства было невозможно из-за недостаточного сечения кабелей питающей сети, и сушка была переведена на линейное напряжение 380 в при противоположных направлениях магнитных потоков в магнитопроводах. При этом при напряжении 372 в были установлены: ток—74 а, мощность—13,5 кВт и  $\cos \varphi_0 = 0,49$ . При этой мощности была достигнута максимальная температура, а к концу сушки мощность была снижена до 11,5 кВт при токе 62 а.

Вольтодобавочный трансформатор без утепления бака под вакуумом 2,5 м вод. ст. был высушен за 92 часа при суточном колебании температуры окружающего воздуха 10—18° С. Местных нагревов в контактных поверхностях между консолями и стяжными болтами не наблюдалось. Температура стенок кожуха составляла 60—68° С при температуре обмоток 90° С. Наибольшая разность температур в различных зонах выемной части при установившемся режиме составила 12° С. Максимальная температура в 102° С отмечена на анкерных болтах между верхней и нижней консолями. Таким образом, если считать, что для трансформатора данного габарита при утепленном баке необходимо подвести мощность 20 кВт при сушке обычным индукционным методом и 10 кВт—при сушке током нулевой последовательности, то при сушке без утепления бака потребная мощность оказалась всего на 35% больше, чем при сушке с утеплением, и на 32,5% меньше, чем при сушке обычным индукционным методом при утеплении бака. Приведенные обстоятельства позволяют отказаться от дорогостоящего и отнимающего много времени утепления бака.

Подавляющее большинство трансформаторов при сушке новым методом может питаться от сети 380/220, 220/127 и 500 в. В некоторых случаях можно воспользоваться соединением на стороне 380 в двух трансформаторов по схеме рис. 4,а. Из построения векторной диаграммы такого соединения (рис. 4,б) нетрудно видеть, что можно иметь следующие напряжения между соответствующими выводами:  $Oa = 231$  в;  $ac = 400$  в;  $aO' = 612$  в;  $ac' = 800$  в.

При сушке сетевых трансформаторов со стороны обмоток 380/220 или 220/127 в удобно пользоваться сварочным трансформатором с дроссельным регулированием напряжения. Мощность, необходимая для сушки различных трансформа-

торов при нормальном утеплении и без утепления их кожуха и температуре окружающего воздуха +15° С, должна иметь следующую величину:

	При утепленном кожухе	При неутепленном кожухе
50÷320 кВт . .	1,5÷3,5 кВт	2÷4 кВт
560÷1800 кВт . .	5 ÷7,5 кВт	7÷10 кВт
2 400÷5 600 кВт . .	8 ÷10 кВт	12÷14 кВт
7 500÷15 000 кВт . .	12 ÷15 кВт	15÷18 кВт

В качестве источника мощности нулевой последовательности нетрудно изготовить автотрансформатор с ответвлениями. Мощность его для сушки трехстержневого трансформатора 15 000 кВа составит всего  $P_0 = \frac{P_0}{\cos \varphi_0} = \frac{18}{0,5} = 36$  кВа.

Контроль за температурой сушки осуществляется дистанционными термометрами, как при обычном методе сушки, но устанавливать их следует на тех частях обмотки, которые ближе находятся к источнику тепла, т. е. к магнитопроводу, к ярмовым консолям и стягивающим их болтам.

Трансформаторы можно сушить и без специального утепления.

При осуществлении разрыва треугольника на переключателе надо иметь в виду, что возбужденные на каждой фазе треугольника напряжения нулевой последовательности складываются арифметически и, во избежание пробоя между регулировочными витками, разрыв желательнее делать на всех трех фазах.

## Выводы

Новый метод сушки применим для подавляющего большинства трансформаторов и имеет следующие преимущества:

1. Не требуется устройства намагничивающей обмотки.
2. Потребная активная мощность и расход энергии на сушку меньше, чем при сушке потерями в баке.
3. Ввиду относительно большого коэффициента мощности нулевой последовательности (0,5÷0,7), по сравнению с коэффициентом мощности намагничивающей обмотки, требуется источник напряжения для сушки меньшей мощности.
4. Распределение температур по зонам трансформатора сравнительно равномерное.
5. Сушку можно производить без утепления бака и радиаторов.

К недостаткам метода относятся:

1. Невозможность сушить этим методом броневые и однофазные трансформаторы;
2. Необходимость делать разрыв схемы треугольника у трансформаторов, имеющих одну из обмоток, соединенную в треугольник.
3. Необходимость на одной из обмоток иметь выведенную нулевую точку звезды.

Резюмируя, можно сказать, что новый метод сушки трансформатора должен получить распространение во всех случаях, где возможно его применение и должен быть рекомендован к применению наряду с методом сушки при помощи намагничивающей обмотки.

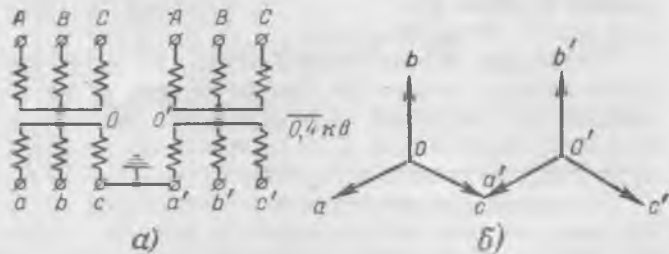
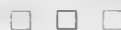


Рис. 4. Схема (а) и векторная диаграмма (б) соединения двух трехфазных трансформаторов для получения напряжений 231 ÷ 800 в.



## Морозостойкость заливочных масс

Инж. В. Н. Звездкин и инж. М. Г. Лойцянская

Обследование аварийных или пробитых при профилактических испытаниях бакелитовых массонаполненных вводов выключателей типа ВМ-35, МКП-76 и др. в одной из энергосистем показало, что причиной их пробоя являлось наличие влаги в трещинах и полостях, которые образовались в заливочной массе вводов вследствие недоброкачественной заливки, а также из-за изменений состояния массы в процессе эксплуатации при низких окружающих температурах. Это подтвердилось испытаниями заливочной массы из аварийных вводов и из вводов, находящихся в эксплуатации.

При удовлетворительных электрических характеристиках масса уже при температуре в пределах от  $-13$  до  $-26^{\circ}\text{C}$  теряет свою эластичность и делается хрупкой, поверхность ее трескается и она отлипает от бакелитовой втулки, а иногда и от фарфоровой крышки.

Морозостойкость массы зависит от исходных продуктов, из которых она изготавливается, и от количественного соотношения между ними.

Электрические свойства массы при существующем распределении напряжения во вводах, где электрические градиенты невелики, не являются основными показателями качества массы и обычно для большинства составов масс Э-3 с большим запасом удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям.

Поэтому основным требованием, по которому в первую очередь необходимо выбирать массу

для заливки вводов, работающих в открытых распределительных устройствах, является их морозостойкость. Согласно техническим условиям, приведенным в противоаварийном циркуляре № 6/Э от 1951 г. Технического управления МЭС, заливочная масса для высоковольтных вводов должна удовлетворять существовавшим до 1951 г. требованиям и в первую очередь должна иметь температуру растрескивания не выше  $-35^{\circ}\text{C}$  и температуру каплепадения по Уббелюде в пределах от  $55$  до  $60^{\circ}\text{C}$ .

Для исследования поведения массы во вводах при длительном воздействии низких температур и при условии правильно проведенной технологии заливки высоковольтной лабораторией энергосистемы были поставлены сравнительные опыты в холодильных камерах. Одновременно с изготовлением и испытаниями новых опытных масс определялось состояние масс старых выпусков, находящихся в эксплуатируемых вводах.

### Результаты обследования заливочных масс из эксплуатируемых вводов

При обследовании бакелитовых массонаполненных вводов, снятых с эксплуатируемых и аварийных выключателей МКП-76м, ВМ-35 и др., было обнаружено наличие трещин на поверхности массы и полостей внутри вводов.

На рис. 1 показана отбитая часть фарфоровой крышки с массой ввода, снятого с выключателя МКП-76м. Несмотря на гладкую поверхность массы под колпачком ввода, на границе раздела между бакелитовым вводом и массой оказалась большая полость, образовавшаяся, по видимому, из-за неправильной технологии заливки. В процессе вскрытия ввода при  $3^{\circ}\text{C}$  наблюдалось отставание массы от бакелита; при ударе она легко откалывалась, оставляя чистую поверхность бакелита. К фарфору прилипание массы было хорошим и даже при ударах по фарфору отставания массы не наблюдалось.

Испытание на морозостойкость для массы из этого ввода, а также из других вводов, установленных на масляных выключателях различных открытых подстанций, дали значения по температуре растрескивания в пробирках  $-11$ ,  $-19^{\circ}\text{C}$ .

Анализом данных испытаний и составов масс, по которым они изготавливались в период с 1944 по 1951 гг., было установлено малое содержание в них трансформаторного масла (всего 7—8%). Все массы изготавливались непосредственно из трех компонентов: битума № 5, битума № 3 и трансформаторного масла, минуя стадию изго-



Рис. 1. Полость в заливочной массе ввода, образовавшаяся вследствие неправильной технологии заливки.

Состав и характеристика опытных масс и исходных битумов

Опыт	Состав опытных масс			Характеристика исходных битумов				Характеристика массы	
	Битум № 5, %	Битум № 3, %	Трансформаторное масло, %	Битум № 5		Битум № 3		Температура каплепадения, °С	Температура растрескивания, °С
				Температура размягчения, °С	Температура растрескивания, °С	Температура размягчения, °С	Температура растрескивания, °С		
1	47	45	8	90	—	53	—	59	—13,5
2	40	48	12	98	+8	53	-20	59,5	-21
3	25	67	8	98	+8	53	-20	56,5	-18,5
4	22	70	8	112	-7	57	-18	49	-26

товления битуминозной массы МБ-90, как это рекомендовалось инструкцией завода «Электроаппарат».

Малое содержание трансформаторного масла в этих массах лишило их морозостойких свойств, что было доказано опытами, проведенными на массах с подобными составами. Состав этих опытных масс, характеристика их и исходных продуктов, из которых они были изготовлены, приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что массы, изготовленные из разных битумов (№ 5 и 3) с добавлением к ним от 8 до 12% трансформаторного масла, имеющих температуру каплепадения от 49 до 59°С, приобретают температуру растрескивания не ниже -26°С. Кривые рис. 2 также подтверждают отсутствие морозостойких свойств у масс, изготовленных с малым содержанием трансформаторного масла.

Испытания и анализ показали, что огромное большинство вводов, эксплуатируемых на открытых подстанциях, залито неморозостойкой и твердой массой.

В целях предупреждения аварий было принято решение о перезаливке всех бакелитовых массополненных вводов, работающих в открытых распределительных устройствах, новой морозостойкой массой Э-3м, отвечающей требованиям технических условий противоаварийного циркуляра № 6/Э Технического управления МЭС.

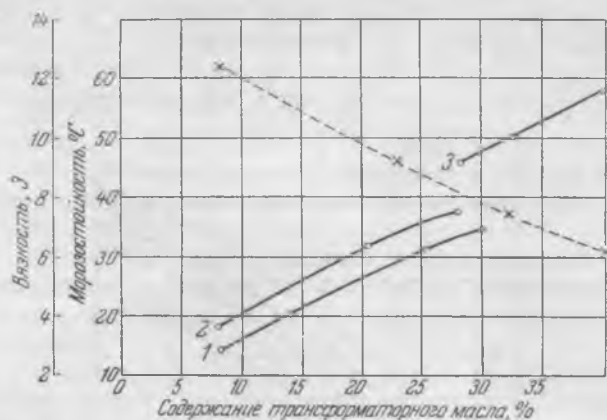


Рис. 2. Зависимость морозостойкости масс Э-3 из битума № 5 (сплошные кривые) и вязкости их при 140°С (пунктирная кривая) от содержания трансформаторного масла.

1 — температура каплепадения массы 59—62°С и температура растрескивания битума +8°С; 2 — соответствует числу 55—56°С и +8°С; 3 — то же 55—56°С и -7°С.

### Изготовление и методика испытания морозостойкой массы Э-3м

В процессе изготовления и испытания опытных масс разных составов из морозостойких и неморозостойких битумов № 5, имеющих температуру растрескивания от +8 до -10°С, выяснилось, что с увеличением содержания трансформаторного масла морозостойкость повышается, однако температура растрескивания не снижается до желаемого значения -45°С. Для получения этого значения необходимо применять морозостойкие битумы № 5 с температурой растрескивания от -5 до -10°С. Содержание трансформаторного масла в массе не должно быть выше 35%, так как применение большего количества заметно снижает вязкость массы Э-3м и значительно снижает электрическую прочность.

Нижний предел температуры каплепадения по Уббелюде 55°С, приведенный в технических условиях противоаварийного циркуляра № 6/Э, может быть понижен до 50—52°С.

В табл. 2 приведены электрические характеристики для масс Э-3м с различным содержанием трансформаторного масла.

Для получения масс Э-3м с температурами каплепадения в пределах 52—58°С было определено процентное содержание исходных продуктов.

Все опытные и производственные партии масс изготавливались из битума № 5 и трансформаторного масла или из битума № 5, битума № 3 и трансформаторного масла, минуя стадию изготовления битуминозной массы МБ-90. Рецепты для них устанавливаются в зависимости от характеристик имеющихся в наличии морозостойких битумов № 5 и 3. Установить постоянный рецепт массы не представляется возможным ввиду того, что получаемые битумы № 5 имеют самые различные температуры размягчения (обычно в пределах от 90 до 140°С). Поэтому является необходимым, обобщив результаты опытов, дать возможность быстро, хотя бы и ориентировочно, устанавливать рецепты, которые могут быть уточнены путем опытных варок.

Битум № 3 обычно встречается с температурой размягчения в пределах от 50 до 60°С и добавляется только при высокой температуре размягчения битума № 5, требующего применения более 35% трансформаторного масла для получения нормальной массы Э-3м с температурой каплепадения в пределах 52—58°С.

Электрические характеристики масс с различным содержанием трансформаторного масла

Опыт	Состав массы Э-3			Температура каплепадения, °С	tg δ, % при:			Выдержала при 20° С в течение 1 мин. испытательным напряжением, кВ	Примечание
	Содержание битума № 5, %	Температура размягчения битума № 5, °С	Содержание трансформаторного масла, %		20° С	70° С	100° С		
1	69	98	31	50	1,2	—	25,6	40	Пробилась при 70° С и 10 кВ
2	72	98	28	55	0,9	—	27,9	50	
3	60	120	40	56	1,2	7,2	—	40	
4	67	109	33	56	—	11	—	40	
5	68	112	32	56	0,9	4	—	35	

Для определения процентного содержания трансформаторного масла в массе Э-3м в зависимости от температуры размягчения битума № 5 или битуминозной массы МБ-90 была построена кривая зависимости по опытным данным, полученным при изготовлении масс Э-3м различных составов. При построении этой зависимости непосредственно были использованы определенные опытным путем значения температуры размягчения битума № 5, из которого изготовлялась масса. Остальные опытные данные были найдены графическим путем из диаграммы рис. 3. Диаграмма была построена по опытным данным, накопленным ранее в процессе изготовления битуминозных масс МБ-70 и МБ-90.

Для определения рецепта изготовления массы Э-3м из трех составов при наличии морозостойкого битума № 5 с температурой размягчения выше 110° С, требующего добавления битума № 3, при помощи диаграммы рис. 3 и кривых рис. 4 построены кривые рис. 5. Пользуясь этими кривыми, можно определить необходимое количество добавляемого битума № 3 при любой известной температуре размягчения битума № 5 и выбрать количество трансформаторного масла близким к 30% и только в случае недостаточной его морозостойкости несколько повысить это количество, но не более 35%.

В процессе изготовления новой морозостойкой массы Э-3м, кроме разработки технических усло-

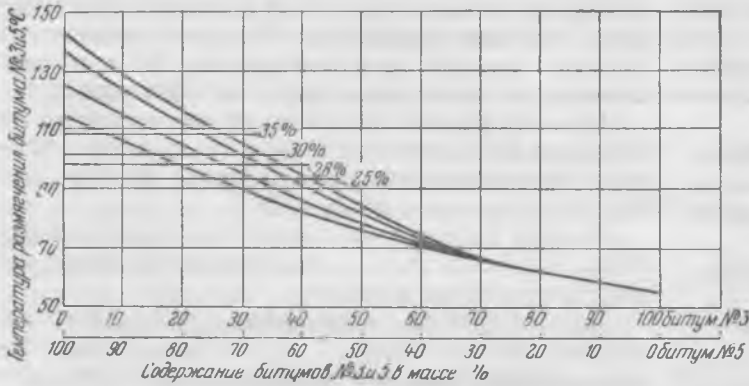


Рис. 3. Диаграмма составов битуминозных масс.

Имея диаграмму для разных битумов № 5 и пренебрегая различием в температурах размягчения битумов № 3, обычно находящихся в пределах от 50 до 60° С, всегда можно с некоторым приближением определить температуру размягчения битуминозной массы для любых промежуточных температур размягчения битума № 5 и процентного соотношения битума № 5 и битума № 3.

На рис. 4 представлена зависимость процентного содержания трансформаторного масла в массе Э-3м в зависимости от температуры размягчения битума № 5 или битуминозной массы МБ-90. Приняв на основании изложенных соображений за допустимые пределы температуры каплепадения массы 52—58° С и пользуясь средней линией рис. 4, а также зная температуру размягчения битума № 5, можно определить процент трансформаторного масла, который необходимо добавить к битуму № 5, чтобы получить массу Э-3м с каплепадением в пределах 52 ± 58° С.

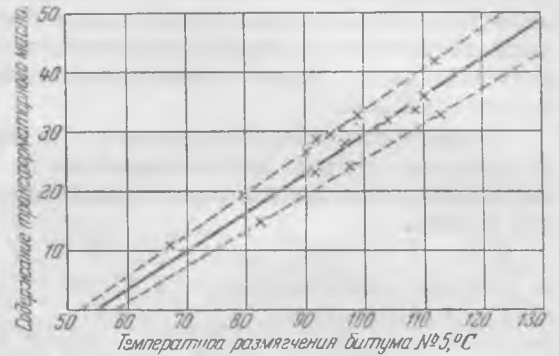


Рис. 4. Зависимость содержания трансформаторного масла в массе Э-3м от температуры размягчения битума № 5.

вий и методики определения составов для любых применяемых битумов, была проверена методика испытания масс на морозостойкость. Для сопоставления изготовленные опытные образцы масс как удовлетворяющие, так и не удовлетворяющие

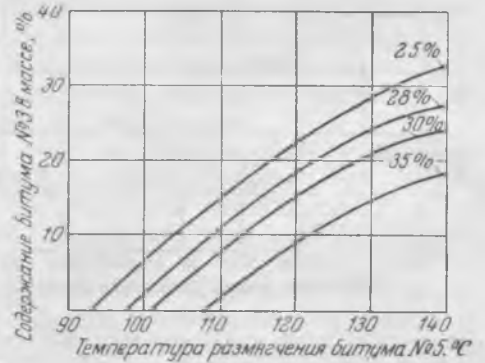


Рис. 5. Зависимость содержания битума № 3 в массе Э-3м от температуры размягчения битума № 5 при различном содержании трансформаторного масла.

Результаты испытания масс в холодильной камере

Опыт	Состав масс и характеристика исходных продуктов				Характеристика масс				
	Исходные продукты	Содержание, %	Температура размягчения, °С	Температура растрескивания, °С	Температура каплепадения, °С	Температура растрескивания в пробирке, °С	Температура растрескивания поверхности массы во вводе, °С	Температура растрескивания поверхности массы в стакане, °С	Температура отлипания массы от бакелита в стакане, °С
1	Состав неизвестен				69	-14	-20	—	—
2	Битум № 5	69	98	+8	50	-35	-30	-35	-30
	Трансформаторное масло	31							
3	Битум № 5	68	112	-7	54	-47	Ниже -42	Ниже -42	-35
	Трансформаторное масло	32							
4	Битум № 5	59	116	—	56	-35,5	—	-40	-25
	Битум № 3	18	53	—	75	-18	—	-25	-15
5	Состав неизвестен				70	-19	—	-25	—
6	Состав неизвестен								

техническим условиям были испытаны на морозостойкость в холодильных камерах в условиях, близких к реальным.

Для сравнения были взяты три массы с различными температурами растрескивания в пробирках и с различными температурами каплепадения, а именно:

1. Масса старого выпуска из снятого с эксплуатации ввода с температурой растрескивания  $-14^{\circ}\text{C}$  и каплепадения  $69^{\circ}\text{C}$ .

2. Новая масса Э-3 из неморозостойкого битума, залитая во ввод и в фарфоровый стакан с температурой растрескивания  $-35^{\circ}\text{C}$  и каплепадения  $50^{\circ}\text{C}$ .

3. Новая масса Э-3 м из морозостойкого битума, залитая во ввод и в фарфоровый стакан с температурой растрескивания  $-47^{\circ}\text{C}$  и каплепадения  $54^{\circ}\text{C}$ .

Составы этих масс, характеристики исходных продуктов и результаты наблюдений в процессе опыта приведены в табл. 3. В той же таблице приведены другие массы, которые были испытаны только в фарфоровых стаканах.

Испытываемыми массами заливались фарфоровые стаканы высотой 20 и диаметром 10 см, в центры которых устанавливалось по одной бакелитовой трубке диаметром 3 см. Опыт производился в течение 140 час., причем процесс замораживания длился 54 часа ступенями через  $5^{\circ}\text{C}$ , с выдержкой времени при  $-20^{\circ}\text{C}$  в течение 3 час., при  $-24^{\circ}\text{C}$  6 час., при  $-30^{\circ}\text{C}$  3 час., при  $-35^{\circ}\text{C}$  34 час. и при  $-42^{\circ}\text{C}$  8 час.

Процесс постепенного отепления в той же камере происходил в течение 86 час. от  $-42$  до  $+2^{\circ}\text{C}$ .

При опыте велось непрерывное наблюдение за поверхностью массы и отмечалась температура появления трещин на ее поверхности во вводах и стаканах.

Температура отлипания массы от бакелита определялась специальными опытами. Испытываемая масса заливалась в несколько стаканов, которые устанавливались в камеру и после выдерживания в течение 2—3 час. при определенной температуре, понижавшейся ступенями через  $5^{\circ}\text{C}$ , один из стаканов разбивался, затем производилось обследование внутреннего состояния массы

в стакане и отмечалась температура отлипания массы от бакелита.

Опыты показали, что появление трещин на поверхности массы в стаканах и во вводах происходит примерно при одинаковых температурах, поэтому результаты наблюдений, полученные для других масс только в фарфоровых стаканах, можно считать достаточно точными и близкими к реальным условиям. В табл. 3 приведены основные температурные точки, характеризующие морозостойкость масс, изготовленных из разных исходных продуктов. Сравнение показывает, что массы из морозостойкого битума № 5, имеющие температуру растрескивания в пробирках  $-47^{\circ}\text{C}$ , при длительном воздействии низких температур в камере не дают трещин на поверхности до температуры  $-42^{\circ}\text{C}$ .

Как показали дополнительно проведенные испытания этих масс, температура отлипания от бакелита составляет  $-35^{\circ}\text{C}$ , в то время как температура отлипания массы от бакелита для старой неморозостойкой массы составляет только  $-15^{\circ}\text{C}$ . Температура же появления трещин на поверхности твердых масс составляет  $-20$ ,  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Масса Э-3м, имеющая определенную в пробирках морозостойкость  $-35^{\circ}\text{C}$ , дает трещины на поверхности во вводах при  $-30^{\circ}\text{C}$ . Из сопоставления этих данных видно, что метод определения морозостойкости в пробирках хорошо характеризует морозостойкие свойства массы и что допустимое значение морозостойкости  $-45^{\circ}\text{C}$ , определяемое в пробирках, обеспечивает надежное состояние массы при низких температурах. В результате опытов оказалось, что даже самые лучшие массы при  $-45^{\circ}\text{C}$  делаются настолько твердыми и хрупкими, что происходит полное отлипание их от бакелита, что подтвердилось при раскалывании вводов. От фарфора же при этом масса почти не отлипала.

Морозостойкие массы, имеющие температуру растрескивания  $-35^{\circ}\text{C}$ ,  $-45^{\circ}\text{C}$ , при  $+2^{\circ}\text{C}$  уже возвращаются к прежнему состоянию, т. е. трещины на поверхности заплывают и масса опять хорошо прилипает к бакелиту. Твердые же массы старых выпусков при повышении температуры до  $+2^{\circ}\text{C}$  не возвращаются к прежнему состоянию:

трещины не заплывают, и масса снова не прилипает к бакелиту.

Дополнительные опыты с шестью образцами морозостойких масс Э-3м, имеющих температуру растрескивания в пределах от  $-45$  до  $-50^{\circ}\text{C}$ , показали, что отлипание от бакелитовых трубок без лакированной поверхности происходит при температуре много ниже  $-45^{\circ}\text{C}$ . Однако применить этот вывод в эксплуатационных условиях без достаточного числа поверочных испытаний было бы рискованным.

### Выводы

Обобщая проведенную работу по обследованию и анализу результатов испытания масс старых выпусков из вводов, работающих в энергосистеме, а также данные по определению составов морозостойкой массы Э-3м, и ее испытанию, можно прийти к следующим выводам и предложениям:

1. Вводы, залитые твердой неморозостойкой массой, не надежны в эксплуатации.

В эксплуатационных условиях уже при температурах порядка  $-15$  до  $-25^{\circ}\text{C}$  во вводах, залитых этими массами даже при условии правильно проведенной технологии заливки, могут

легко образовываться трещины на поверхности этой массы и плоскости из-за отлипания массы от бакелита и фарфора. Поэтому для надежной безаварийной работы все вводы, содержащие такую массу, необходимо перезалить новой морозостойкой массой.

2. Морозостойкая масса Э-3м может быть изготовлена непосредственно из битума № 5 с добавлением соответствующего количества трансформаторного масла, определяемого согласно рис. 4, но не более 35%.

При изготовлении массы Э-3м из битума № 5 с более высокими температурами размягчения, требующими более 35% масла, следует добавлять битум № 3, определяя процентное соотношение составных компонентов по кривым рис. 5.

3. Нижний предел температуры каплепадения массы Э-3м, приведенный в противоаварийном циркуляре № 6/Э, может быть снижен с 55 до  $52^{\circ}\text{C}$ .

4. Масса Э-3м должна изготавливаться только из морозостойких битумов, имеющих температуру растрескивания для битумов № 5 не выше  $-5^{\circ}\text{C}$  и для битумов № 3 не выше  $-18^{\circ}\text{C}$ , причем температура растрескивания массы в пробирках не должна превышать  $-45^{\circ}\text{C}$ .



## Блокирующие реле для улучшения защиты длинных линий 220 кВ

Инж. М. Ф. Мельников, инж. Н. В. Чернобровов и инж. П. Д. Черняев

Обычные дистанционные защиты в случае их применения на длинных сильно нагруженных линиях 220 кВ, оснащенных пофазным АПВ, как показал опыт эксплуатации, имеют существенные недостатки.

Для надежного охвата всей длины линии 220 кВ и следующего участка требуется увеличивать чувствительность реле полного сопротивления дистанционной защиты.

Однако при такой чувствительности нельзя обеспечить передачу по линии больших мощностей.

Полное сопротивление положительной последовательности линии 220 кВ длиной 200 км составляет 110 ом.

Если сопротивление срабатывания омметра III зоны выбрать из условия обеспечения надежного действия защиты в пределах только защищаемого участка с учетом дуги в месте повреждения, то оно составит:

$$z_{cp} = kz_n = 1,6 \cdot 110 = 176 \text{ ом},$$

где  $k = 1,6$  — коэффициент охвата защищаемой линии;

$z_n$  — полное сопротивление защищаемой линии.

Этой защитой практически не резервируются соседние участки сети (с учетом переходного со-

противления в месте повреждения и подпитки на шинах разграничивающих участков).

Допустимый ток нагрузки по линии при таком исполнении защиты при минимальном уровне напряжения в начале линии 220 кВ; коэффициенте возврата реле 0,85 и коэффициенте запаса 1,1 составляет всего 555 а, чему соответствует передаваемая мощность порядка 180 тыс. кВт.

Таким образом, пусковые реле полного сопротивления ограничивают передачу мощности и в то же время не резервируют защит следующих участков сети, если они также имеют значительную протяженность.

III зона защиты обычно отстроена от качаний выдержкой времени, а I и II зонам с помощью блокировки от качаний разрешается действовать на отключение только при появлении составляющих отрицательной последовательности. В процессе пофазного АПВ, когда линия работает двумя фазами, защита оказывается выведенной из действия.

В целях сохранения быстродействующей защиты во время цикла АПВ требуется на это время выводить из действия блокировку от качаний, но при этом появляется возможность неселективного действия защиты во время двухфазного режима, в котором при передаче больших мощностей возможно нарушение устойчивой работы передачи. Это обстоятельство налагает ограничение на величину передаваемой мощно-

сти, при которой возможно успешное пофазное АПВ.

При анализе работы дистанционной защиты в различных условиях работы передачи необходимо определить величину и фазу полного сопротивления на зажимах омметров: при передаче мощности в нормальном режиме; при коротких замыканиях; при качаниях (расхождении векторов э. д. с.) в полнофазном и неполнофазном режимах.

Характеристики обычных омметров в системе  $R$  и  $x$  координат изображаются concentрическими окружностями с центром в начале координат и радиусами, равными сопротивлению срабатывания реле так, как это показано на рис. 1. Полное сопротивление линии на этом рисунке изображено прямой  $OL$ , образующей с осью  $R$  угол  $\alpha$ .  $ON$  и  $LM$  изображают сопротивление

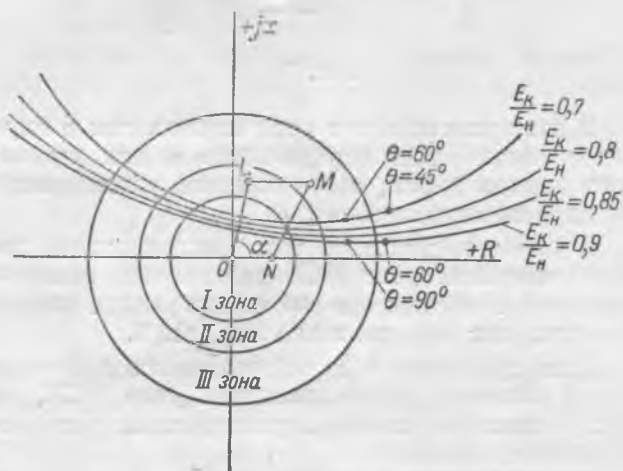


Рис. 1.

электрических дуг в начале и конце линии. Можно принять для линий 220 кВ максимальное сопротивление дуги в конце линии 60 Ом на фазу, тогда в начале линии, вследствие большего значения тока короткого замыкания сопротивление дуги должно быть меньше и принимается 40 Ом на фазу. Таким образом, получается желаемая область работы защиты данной линии  $OLMN$ .

Для анализа поведения защиты удобно воспользоваться круговыми векторными диаграммами, изображающими изменение полного сопротивления на зажимах омметров в зависимости от отношения э. д. с. начала и конца передачи  $E_n$  и  $E_k$  и угла расхождения между ними  $\theta$ . При построении круговых векторных диаграмм все генераторы станции, работающей на данную передачу, и все генераторы системы заменяются двумя эквивалентными генераторами. Получающиеся при этом круговые векторные диаграммы  $z_{реле} = f\left(\theta, \frac{E_k}{E_n}\right)$  для передающего конца в трехфазном режиме работы в осях  $R$  и  $x$  также изображены на рис. 1.

Из сопоставления этих диаграмм и характеристик омметров<sup>1</sup> видно, что по мере увеличения

<sup>1</sup> Принято, что омметры III зоны включены на линейные напряжения и фазные токи, омметры I и II зон — на линейные напряжения и разность фазных токов.

нагрузки (с увеличением угла  $\theta$ ) омметры III зоны приходят в действие вправо от линии  $MN$  там, где в их работе еще нет необходимости.

В двухфазном режиме работы при отключенной фазе  $A$  изменение полного сопротивления на зажимах омметров I и II зон со стороны станции представлено окружностями  $z_{AB}$ ,  $z_{BC}$ ,  $z_{CA}$ , на зажимах омметров III зоны окружностями  $z_B$  и  $z_C$  (рис. 2). Полное сопротивление на зажимах омметра  $z_A = \infty$ , так как ток фазы  $A$  равен нулю. Нетрудно убедиться, что омметр II зоны, включенный на разность напряжений и токов, оставшихся в работе фаз  $B$  и  $C$  приходит в действие при углах между э. д. с.  $E_n$  и  $E_k$  порядка 80—90°, которые могут быть в режиме качаний после отключения поврежденной фазы.

Анализ показывает, что таким же образом

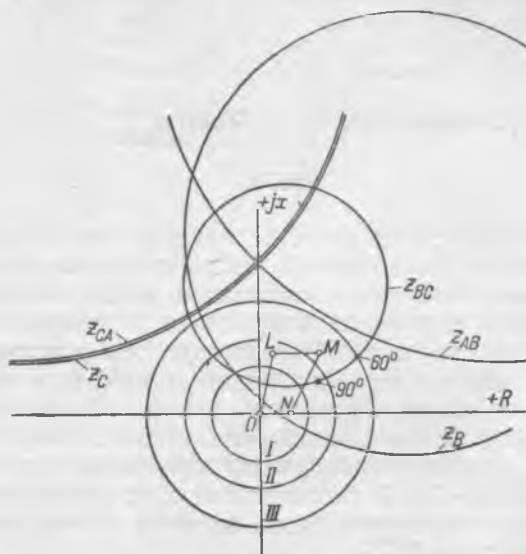


Рис. 2.

может подействовать и омметр II зоны со стороны системы. В связи с этим особый интерес представляет анализ поведения реле направления мощности по обеим сторонам защищаемой линии. Для этой цели можно воспользоваться круговой векторной диаграммой мощности на зажимах реле направления мощности

$$W_{реле} = f\left(\theta, \frac{E_k}{E_n}\right),$$

построенной в осях  $P$  и  $Q$ .

На рис. 3 показаны такие диаграммы для реле направления мощности, включенного по 60-градусной схеме на передающем и приемном концах линии.

Для реле мощности косинусного типа линия изменения знака момента вращения совпадает с осью  $Q$ . Оказывается, что со стороны системы уже при углах между э. д. с. порядка 50—60° реле направления мощности замыкает свои контакты, т. е. в случае срабатывания омметров появляется возможность неселективного действия защиты при качаниях во время двухфазного режима работы линии. Со стороны станции реле

направления мощности держит свои контакты замкнутыми во время всего цикла качаний.

Применение направленных омметров улучшает отстройку защиты от токов нагрузки, однако они все же имеют ненужную повышенную чувствительность в области правее линии  $MN$  (рис. 1) и, как следствие этого, существенно ограничивают предел передаваемой мощности.

Наилучшие результаты для передающего конца линии по отстройке защиты от токов нагрузки, а также от качаний в двухфазном ре-

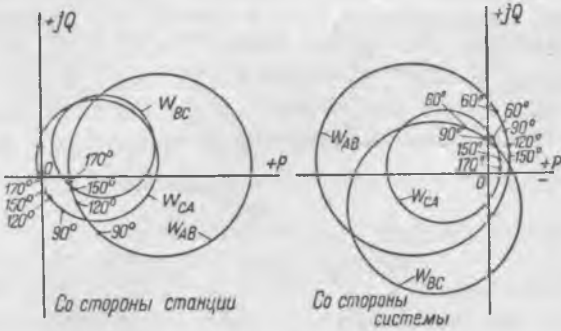


Рис. 3.

жме может дать реле, характеристика которого совпадала бы с линией  $MN$ . Установка такого же реле со стороны приемного конца позволит отстроить защиту от возможного неселективного действия при качаниях в двухфазном режиме.

На основании изложенного в 1950 г. в энергосистеме была разработана схема защиты с применением блокирующих реле полного сопротивления, разработанных и изготовленных на базе реле ИМБ-171. В соответствии с их назначением в схеме новые реле были названы блокирующими реле типа ИСХ.

В отличие от обычных реле полного сопротивления сопротивление трогания реле ИСХ не остается постоянным, а изменяется в зависимости от угла сдвига фаз между подводимыми к реле напряжением и током.

Характеристика реле типа ИСХ в осях  $R$  и  $X$  изображается прямой линией (рис. 4), уравнение которой имеет вид:

$$z_{cp} = \frac{z_{cp. мин}}{\cos(\varphi + \delta)},$$

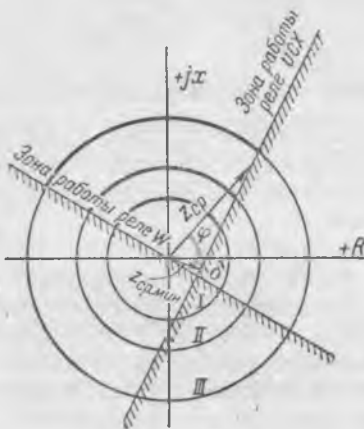


Рис. 4.

где  $z_{cp}$  — сопротивление срабатывания реле;  
 $z_{cp. мин}$  — минимальное сопротивление срабатывания;  
 $\varphi$  — угол между током и напряжением, подводенными к реле;  
 $\delta$  — угол минимальной чувствительности.

Изменяя величину минимального сопротивления срабатывания  $z_{cp. мин}$ , можно перемещать характеристику параллельно самой себе.

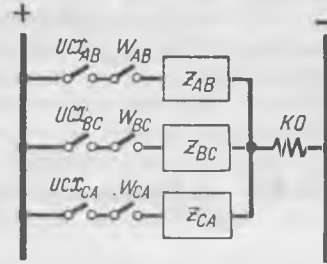


Рис. 5.

В энергосистеме эти реле изготовлены в двух исполнениях — для передающего и для приемного концов линии, отличающиеся углом наклона характеристики к оси  $R$ .

В схеме постоянного тока дистанционной защиты контакты реле ИСХ включаются последовательно с контактами соответствующих омметров так, как это показано на рис. 5.

Для суждения о характеристиках дистанционной защиты, заблокированной реле ИСХ, на рис. 4 показана также характеристика реле направления мощности.

Реле ИСХ имеет три обмотки, из которых две обмотки токовые и одна — напряжения (рис. 6)\*. Одна из токовых обмоток является поляризующей, а другая — рабочей. Для образования угла сдвига между магнитными потоками поляризующей и рабочей обмоток имеются два массивных короткозамкнутых витка  $KB$ . Для возможности включения реле на разность токов каждая

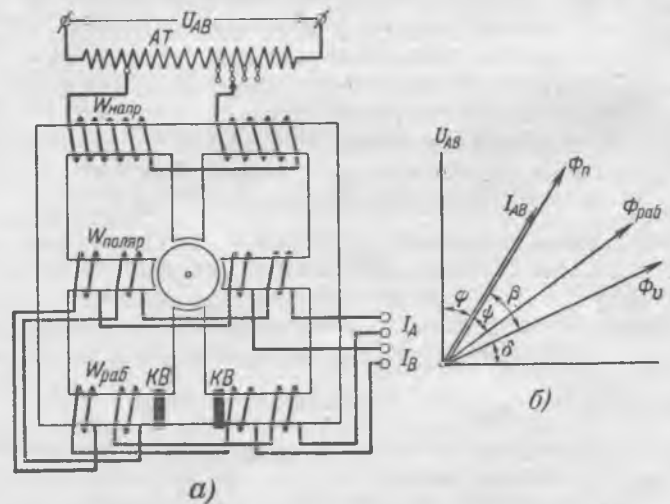


Рис. 6.

\* Реле разработано по техническим условиям ЦСЗ работниками ЦЛЭМ В. З. Никитским и А. Д. Шлейфман.

из обмоток разделена на две секции, намотанные параллельно.

Обмотка напряжения включена через автотрансформатор, с помощью которого можно регулировать минимальные сопротивления срабатывания реле.

В реле действуют два момента. Один — тормозной от взаимодействия потоков, созданных обмоткой напряжения и поляризирующей токовой обмоткой, — пропорциональный произведению

$$M_{\text{торм}} = k_1 \Phi_v \Phi_n \sin \beta,$$

- где  $k_1$  — коэффициент пропорциональности;
- $\Phi_v$  — магнитный поток, образованный обмоткой напряжения;
- $\Phi_n$  — магнитный поток, образованный поляризирующей обмоткой;
- $\beta$  — угол между магнитными потоками  $\Phi_v$  и  $\Phi_n$ .

Обращаясь к векторной диаграмме магнитных потоков, действующих в реле (рис. 6, б), можно определить, что

$$\beta = 90^\circ - (\varphi + \delta).$$

Учитывая далее, что:

$$\Phi_v = k_2 U_p \quad \text{и} \quad \Phi_n = k_3 I_p,$$

можно написать уравнение для тормозного момента в следующем виде:

$$M_{\text{торм}} = k_4 U_p I_p \cos(\varphi + \delta).$$

Второй, рабочий момент реле образуется от взаимодействия магнитных потоков, созданных рабочей и поляризирующей обмотками тока, и равен:

$$M_{\text{раб}} = k_5 \Phi_{\text{раб}} \Phi_n \sin \psi,$$

- где  $k_5$  — коэффициент пропорциональности;
- $\Phi_{\text{раб}}$  — магнитный поток, образованный рабочей обмоткой;
- $\Phi_n$  — магнитный поток, образованный поляризирующей обмоткой тока;
- $\psi$  — угол между магнитными потоками  $\Phi_{\text{раб}}$  и  $\Phi_n$ , полученный благодаря наличию короткозамкнутых колец.

Так как поляризирующая и рабочая обмотки соединены последовательно, то

$$I_{\text{раб}} = I_{\text{поляр}}.$$

Учитывая далее то, что

$$\Phi_{\text{раб}} = k_6 I_{\text{раб}} \quad \text{и} \quad \Phi_n = k_7 I_{\text{поляр}},$$

можно написать уравнение для рабочего момента в следующем виде:

$$M_{\text{раб}} = k_8 I_p^2.$$

В целях упрощения, пренебрегая моментом трения и противодействующей пружины, условие срабатывания реле можно написать так:

$$M_{\text{раб}} = M_{\text{торм}},$$

$$k_8 I_{cp}^2 = k_4 U_{cp} I_{cp} \cos(\varphi + \delta),$$

откуда

$$z_{cp} = \frac{z_{cp, \text{мин}}}{\cos(\varphi + \delta)}.$$

Это выражение представляет собой уравнение прямой в полярных координатах, где

- $z_{cp, \text{мин}}$  — перпендикуляр, опущенный из полюса на данную прямую;
- $\delta$  — угол между полярной осью и  $z_{cp, \text{мин}}$ ;
- $z_{cp}$  — радиус-вектор, проведенный между полюсом и какой-либо точкой на заданной прямой;
- $\varphi$  — угол между полярной осью и  $z_{cp, \text{мин}}$ .

Реле для приемного конца имеет характеристику, выражающуюся уравнением

$$z_{cp} = \frac{z_{cp, \text{мин}}}{\cos(\delta - \varphi)},$$

которая изображена на рис. 7.

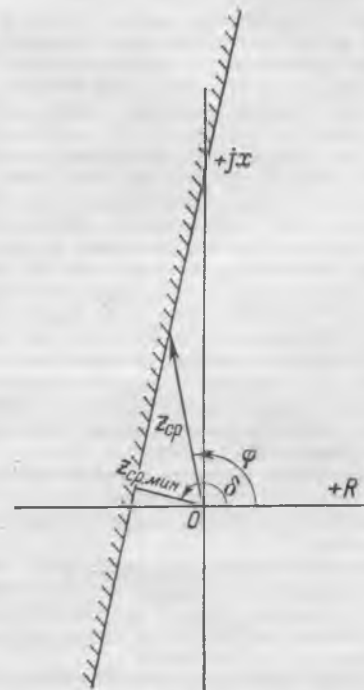


Рис. 7.

Применение реле ИСХ на линиях 220 кВ длиной 200 км позволило увеличить допустимый предел передаваемого по линии тока с 555 до 1200 А.

Кроме того, улучшилась отстройка защиты от токов качаний как в трехфазном, так и в неполнофазном режимах. Это позволило в неполнофазном режиме выводить из действия блокировку от качаний и повысился предел передаваемой по линии мощности, при котором возможно успешное пофазное АПВ.

Следует иметь в виду, что реле ИСХ можно применить для выбора поврежденной фазы при однофазных коротких замыканиях. При этом потребуется по два реле ИСХ для каждого избирателя. Реле ИСХ могут быть также использованы в качестве реле, реагирующих на угол разхождения больше чем на 180° в схемах делительных устройств, действующих при нарушении устойчивой параллельной работы.

□ □ □

## Меры безопасности при применении электропрогрева грунта электродами

На строительстве грэс в течение нескольких лет применяется в больших масштабах электропрогрев грунта (суглинки с растительным покровом) с помощью забиваемых в грунт электродов.

В качестве электродов применяются стержни из круглой стали диаметром от 12 до 25 мм.

Электроды соединяются между собой в ряды перемычками из голого алюминиевого провода и присоединяются через рубильники и предохранители к сети временных установок строительства 380/220 в.

Отдельные трансформаторы для электропрогрева грунта при этом, как правило, не выделяются и он осуществляется от общей сети. Нагрузка распределяется по возможности равномерно по фазам. При напряжении 380 в расстояние между электродами принимается 50—70 см. Сверху над электродами насыпается утепляющий слой древесных опилок толщиной 15 см, который при прогреве при температурах ниже  $-5^{\circ}\text{C}$  перед подачей напряжения поливается 2—3%-ным раствором соли.

Электроды стараются забить по возможности на полную глубину промерзания, а если это не удастся, их забивают на 50—70 см и затем добивают при снятом напряжении в один—два приема, по мере разогрева грунта.

При подаче напряжения величина тока постепенно возрастает в связи с уменьшением сопротивления одновременно с разогревом грунта.

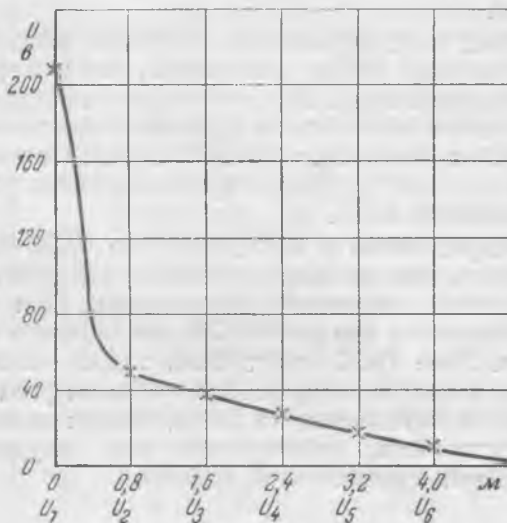
Для сокращения расхода электроэнергии через каждые 4 часа напряжение отключают на 2 часа, а при температурах воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  и выше — и на более продолжительное время.

Расход электроэнергии на разогрев  $1\text{ м}^3$  грунта при температуре наружного воздуха  $-15^{\circ}\div-5^{\circ}\text{C}$  составляет  $30\div 50\text{ кВтч}$ . Разогрев грунта на строительстве производится на площади до  $500\text{ м}^2$  в одном месте, с забивкой до 900 электродов одновременно.

Потребляемая мощность на  $1\text{ м}^3$  разогреваемого грунта при напряжении 380 в колеблется в пределах 2—5 квт. Время прогрева грунта на глубину 1,2—1,8 м составляет при температуре  $-5^{\circ}\div-3^{\circ}\text{C}$  12—20 час.

Район электропрогрева ограждается барьерами или обноской с предупредительными плакатами. Кроме того, у места прогрева выставляется дежурный электромонтер.

Для определения величины шаговых напряжений вблизи электродов в процессе прогрева грунта были



произведены измерения их в различных условиях. В трех характерных случаях для суглинков, увлажненных на 15—20%, при температурах  $-2^{\circ}\div 10^{\circ}\text{C}$  результаты измерения шаговых напряжений позволили установить, что на расстоянии свыше 4 м от электродов шаговые напряжения малы и не представляют опасности для людей и лошадей, находящихся на таком расстоянии. Характер изменения напряжения показан на рисунке.

В соответствии с этим разработанная на строительстве инструкция по электропрогреву грунта предусматривает ограждение зоны прогрева на расстоянии 4 м от периметра забитых электродов.

Во избежание выноса опасного потенциала за пределы ограждаемой зоны воспрещается согласно инструкции производить электропрогрев грунта с помощью электродов на участках территории, на которых в земле уложены стальные и чугунные трубы, кабели, или другие электропроводящие предметы. Не разрешается также производить электропрогрева грунта электродами при наличии на поверхности земли воды.

Инж. Н. Я. Турчин

## Перевозка трансформатора по городу

Трансформаторно-ремонтной мастерской было поручено перевезти зимой со станции железной дороги по городу на одну из подстанций, не имеющей железнодорожного пути, трансформатор типа ТДТГ 31500/110. Отправочный вес трансформатора с маслом равен был 80 т. Габаритные размеры: длина — 5 150 мм, ширина 2 530 мм, высота 3 860 мм.

Для перевозки указанного трансформатора, вес которого даже без масла составляет 60 т, не было транспортных средств, ибо существующие треллеры обладают максимальной грузоподъемностью 45 т. Перевозка же на специальных деревянных санях, окованных сталью, была невозможна, так как большая часть пути представляла собой асфальтированную дорогу, совершенно не покрытую снегом.

Перевозка трансформатора была осуществлена следующим образом (см. рисунок).

Два треллера грузоподъемностью по 45 т каждый были спарены хвостовыми частями непосредственно за траверсой и связаны в четырех местах тросом диаметром 28 мм в 6 ниток. Расстояние между треллерами было оставлено примерно в 300 мм. Указанное расстояние необходимо для осуществления правильного разворота треллеров при выезде со двора товарной станции, имеющего крутой поворот. На треллеры была положена незакрепленная сварная рама из восьми железнодорожных рельсов (типа 3А) длиной по 9 м. Рама была применена для более равномерного распределения нагрузки на баллоны треллеров. Каждый треллер имел трехрядовое расположение баллонов, по восьми баллонов в ряд на балансирных подвесках.

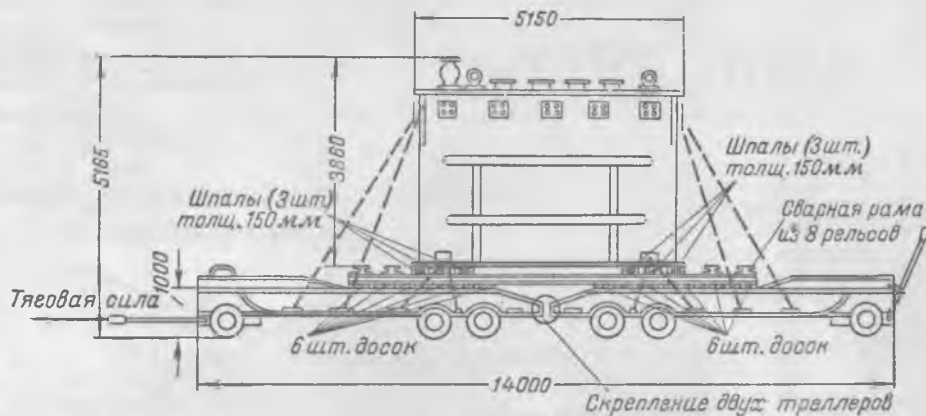
Во избежание скольжения трансформатора и рамы трансформатор был установлен на шпалы, а между рамой и треллерами положены в поперечном направлении 12 досок.

Установленный трансформатор был укреплен к треллерам восемью растяжками. Водило заднего треллера было поднято и жестко закреплено.

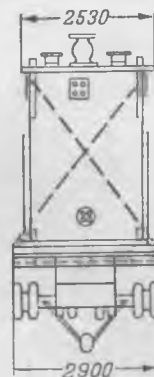
На месте погрузки и на дворе товарной станции дорога была неровная, сильно обледеневшая, занесенная снегом.

Для перевозки в качестве тяговой силы были применены три тягача, сцепленные между собой тросами. Но

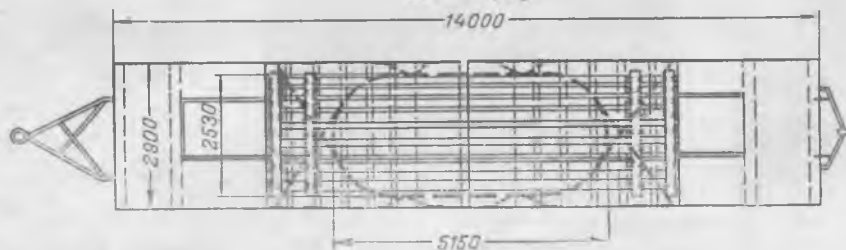
Вид сбоку



Вид спереди



Вид сверху



несмотря на слаженную их работу и засыпку дороги шлаком тягачи не смогли сдвинуть треллеров с места. И только лишь с помощью подсоединенного к ним трактора С-80 сцеп был выведен за ворота товарного двора.

Дальнейшая перевозка трансформатора по хорошей асфальтированной дороге, а также на спусках производилась одним тягачом, и только для преодоления подъемов в 0,1—0,2 подключался второй.

Последняя часть пути (около 400 м) имела весьма крутой подъем и неровный профиль. На этом участке транспортировка была осуществлена следующим образом. Один тягач был укреплен за ранее вкопанный «мертвяк» и своей лебедкой тащил треллеры с трансформатором.

Весь путь (3 км) был пройден за 2 1/2 часа.

Несмотря на то, что трансформатор по высоте проходил под трамвайными и троллейбусными проводами сцеп на всем пути его следования сопровождали две аварийные вышки.

Инж. Г. Я. Копелев

## Механизация рытья ям и установки опор

При сооружении и ремонте воздушных линий электропередачи наиболее трудоемкими работами являются земляные, а также установка столбов и приставок ручным способом.

Для рытья котлованов и установки столбов и приставок в Горьковских городских электросетях по проекту лауреатов Сталинской премии Е. П. Артеменко и А. Ф. Николаева в 1951 г. была изготовлена и введена в эксплуатацию бурильно-крановая гидравлическая машина БКГМ-АН (рис. 1), позволяющая механизировать рытье котлованов и установку столбов.

Машина смонтирована на легковом автомобиле повышенной проходимости ГАЗ-67 и состоит из бурильной головки 1 со стрелой кранового устройства 2 и штанги с буром 3; на машине установлены гидравлическая система с масляным баком и насосом до 65 ат, передаточная коробка и лебедка кранового устройства.

Бурильная головка со стрелой кранового устройства и штангой с буром укреплены на специальной раме, смонтированной в задней части автомобиля.

Гидравлическая система обеспечивает при работе бурильной машины возвратно-поступательное движение штанги, на которой закреплен бур. При этом усилие подачи штанги может регулироваться в пределах от 185 до 1000 кг в зависимости от характера грунта.

Бурильная головка имеет возможность поворота в двух плоскостях, что необходимо для бурения котлованов и укладки головки в транспортное положение.

Передаточная коробка предназначена для передачи вращения фрикциону бурильной головки, лебедке кранового устройства и насосу гидравлической системы. Она крепится к корпусу лебедки и составляет с ней общий агрегат, смонтированный на поперечной траверзе рамы БКГМ-АН. Передаточная коробка собрана в основном из деталей стандартной раздаточной коробки автомобиля ГАЗ-67.

Лебедка предназначена для наматывания грузоподъемного троса при подъеме и установке столбов.

Для бурения грунта бурильная головка устанавливается в вертикальное положение.

Вращение механизмов передаточной коробки и спаренного гидравлического насоса осуществляется следующим образом. Отключаются ведущие мосты автомобиля, заводится мотор, включаются II или III передача и кулачковые муфты. При этом штанга с буром вращается конической парой шестерен, имеющих привод от карданного вала фрикциона и шестерен передаточной коробки. Одновременно штанга, опускаясь вниз давлением масла, производит бурение грунта.



Рис. 1. Бурильно-крановая машина в транспортном положении.

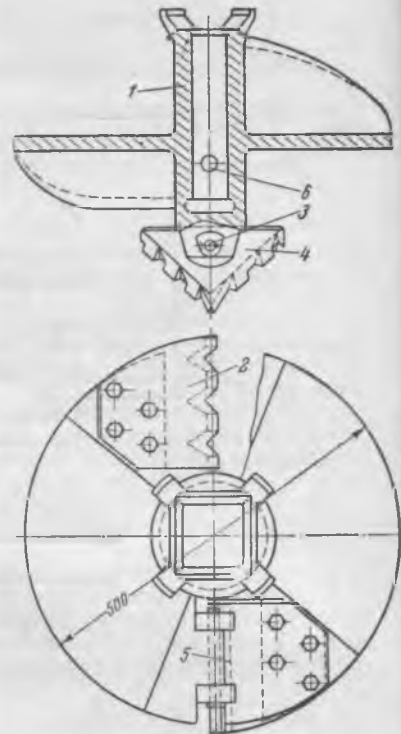


Рис. 2. Бурение ямы и установка столба бурильно-крановой машиной БКГМ-АН. а—машина в момент разброса грунта; б—установка столба в пробуренной яме при помощи кранового устройства машины.

Рис. 3. Бур и его крепления к штанге.

Пробурив пласт грунта на глубину 0,4—0,5 м, вращение штанги с буром прекращают и при помощи гидравлической системы штангу с буром без вращения перемещают вверх, поднимая пробуренный грунт. После этого производится включение фрикциона для быстрого вращения штанги с буром, чем осуществляется разброс грунта вокруг ямы центробежной силой (рис. 2,а). После разброса грунта бур со штангой, вращаясь и одновременно передвигаясь вниз, снова производит бурение грунта.

Процесс повторяется до тех пор пока не будет пробурена яма нужной глубины. Бурение ямы глубиной 1,8 м производится в 5—6 приемов в зависимости от твердости грунта.

Размотав с лебедки трос, укрепляют его к столбу с помощью крюка и включают механизм для наматывания на лебедку троса, при помощи которого производится подъем столба.

После поднятия столба над ямой с помощью кранового устройства и лебедки в вертикальное положение один электромонтер-линейщик направляет комель столба в яму, и столб опускают на дно (рис. 2,б).

Закончив установку столба и засыпав яму вынутым грунтом, освобождают трос, намотав его на лебедку, и переезжают к месту установки следующего столба.

Машину при бурении ям обслуживает водитель автомобиля и рабочий-бурильщик, а при установке столбов—монтер-линейщик, рабочий-бурильщик и водитель автомашины.

Для предупреждения несчастных случаев при установке столбов стрела кранового устройства имеет защитную дугу 1 (рис. 2,б), которая защищает бурильщика в случае падения столба и ограничитель 2 подъема столба, а лебедка—предохранительную предельную муфту, отрегулированную на предельный груз.

Для бурения грунтов различной твердости в машине предусмотрен регулировочный клапан в гидравлической системе, обеспечивающей разную степень давления на штангу при рабочем ходе вниз.

Бурение разных грунтов в любое время года производится одним и тем же буром (рис. 3), имеющем следующее устройство:

Корпус бура 1, отлитый из стали, имеет в средней части квадратное отверстие для надевания на хвостовик

штанги и две лопасти, к которым болтами крепятся два стальных ножа 2.

В нижней части корпуса бура пальцем 3 крепится стальная центральная перка 4. Режущая часть ножей и перки наплавлена твердым сплавом, что обеспечивает их долговечную работу и самозаточку. Для удержания грунта при выемке его из ям к лопастям бура шарнирно укреплены заслонки 5. Бур укрепляется на хвостовике штанги помощью пальца 6.

Установка бурильной головки в вертикальное положение и укладка ее в транспортное положение осуществляются специально предусмотренным винтом продольного поворота.

Основные технические данные бурильно-крановой машины БКГМ-АН, установленные в процессе эксплуатации, приводятся ниже:

Глубина бурения . . . . .	до 1,8 м
Диаметр бурения . . . . .	0,5 м
Максимальная длина устанавливаемых столбов . . . . .	10,5 м
Грузоподъемность крана . . . . .	500 кг
Вес бурильно-крановой установки . . . . .	700 кг
Полный вес автомобиля ГАЗ-67 с бурильно-крановой установкой . . . . .	2 000 кг
Расход горючего при бурении, на 100 ям в грунте II категории (с установкой столбов)	65 кг
Высота в походном положении . . . . .	2 500 мм
Высота в рабочем положении . . . . .	4 300 мм
Высота с поднятой стрелой . . . . .	5 500 мм

Опыт применения бурильно-крановой машины при сооружении новых воздушных линий электропередачи показал следующие ее преимущества:

1. Бурение ямы и установка одного столба с помощью бурильно-крановой машины производится в 10 раз быстрее, чем ручным способом.

2. Затрачиваемое количество человеко-часов на бурение ям и установку одного столба в 22 раза меньше, чем при выполнении этих работ ручным способом.

3. Стоимость рабочей силы при бурении ямы и установке одного столба с помощью бурильно-крановой машины в 10 раз ниже, чем ручным способом.

Инж. Е. П. Мурзанов и инж. П. В. Терников





скался вниз. Благодаря блоку эту операцию производил один рабочий.

Учитывая неточность работы реле переменного тока, была разработана схема и изготовлены панели управления дуговой электросваркой шипов пистолетом с реле постоянного тока.

Для приварки шипов к экранным трубам были использованы серийные сварочные трансформаторы типа СТАН-1-111 и электромагнитные пистолеты.

В процессе шипования изогнутых экранных труб производилось систематическое техническое наблюдение и контроль качества сварки шипов.

Комплект ошипованных изогнутых экранных труб показан на рис. 3.

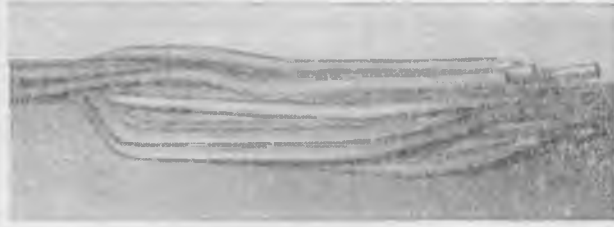


Рис. 3. Ошипованные изогнутые экранные трубы.

После осмотра всей трубы невооруженным глазом и подозрительных участков с помощью лупы устранялись замеченные дефекты. Затем ошипованные трубы подвергались гидравлическому испытанию на давление 75 ат.

Для обеспечения нормального расположения ошипованных труб в котле с образованием зазоров между концами шипов соседних труб в пределах 5—20 мм был устроен плав, на котором производилась сборка экранных труб после гибки по шаблонам и после шипования.

Набивка шиповых экранов производилась пластичной хромитовой массой марки ПХМ-6, изготовленной Красногорским заводом огнеупоров им. Ленина.

Масса, изготовленная из кемперсайской руды, отличается повышенным содержанием  $Cr_2O_3$  и повышенным качеством. В применявшейся массе содержалось:  $Cr_2O_3 = 46,62\%$ ,  $SiO_2 = 8,5\%$ , при влажности 1%.

Первый котел с шиповым зажигательным поясом фронтальной стены был пущен в начале января, а второй — в апреле 1952 г. Оба котла работают вполне удовлетворительно, без заметного износа поясов.

Инж. П. М. Брайловский, инж. Ш. Ц. Голянский  
и инж. В. П. Шанин

## Ремонт арматуры высокого давления

Основным дефектом запорной арматуры Венюковского арматурного завода (вентилей, задвижек) является пропуск воды и пара вследствие быстрых эрозийных разрушений как по поверхностям уплотнений, так и по резьбовым соединениям седел и уплотняющих колец с корпусами.

Запорная арматура по первому конструктивному варианту имела уплотнение запорных деталей, осуществленное прижатием конусной притертой поверхности седла (или уплотнительного кольца) на кромку гнезда корпуса. Такая конструкция уплотнения оказалась неудачной и создавала возможность образования «узкой щели», ведущей в дальнейшем к эрозийным разрушениям и пропуску среды.

Рекомендованная заводом—изготовителем реконструкция уплотнительного узла заключается в проточке конусной поверхности седла или уплотнительного кольца с тем, чтобы создать на них нижние уплотнительные поверхности, прижимаемые к притертой поверхности гнезда корпуса.

Центральный ремонтный завод Ленэнерго выполнил это изменение на ряде вентилей и задвижек, переходя от уплотнения «на кромку» к уплотнению «на плоскость» (рис. 1).

Наличие в конструкции двух пар уплотнительных поверхностей, требующих весьма качественной обработки, и

посадка седла или уплотнительного кольца в гнездо корпуса на резьбе не создавали необходимых условий для получения надежного герметичного соединения, в особенности в области нижнего уплотнения запорного узла.

Конструкция запорной арматуры Венюковского арматурного завода предусматривает ее ремонт путем замены седел новыми, но получение их оказалось весьма затруднительным, а количество получаемых запасных деталей не удовлетворяло потребности.

В связи с этим Ремонтный завод разработал метод ремонта арматуры и применил его при ремонте паровых и водяных крупных вентилей с  $D_y$  до 175 мм и задвижек  $D_y = 200/150$  мм.

При этом методе из корпусов вывинчиваются или ставятся на станке старые седла и уплотнительные кольца.

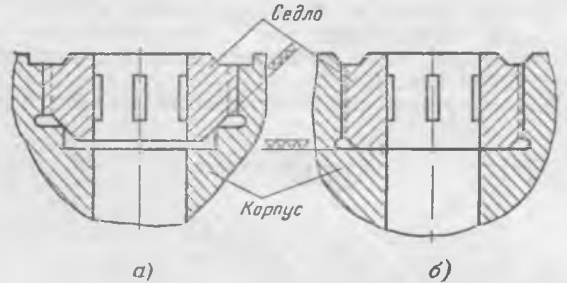


Рис. 1. Уплотнение «на кромку» (а) и «на плоскость» (б).

Взамен них ввариваются новые седла и уплотнительные кольца, изготовленные из обыкновенной мягкой углеродистой стали. Уплотнительные поверхности создаются наплавкой твердого слоя (рис. 2).

Этим было исключено наиболее уязвимое место запора — нижнее уплотнение седла и колец в гнездах корпуса; заменено соединение седла и колец с корпусом на резьбе сваркой их в корпус, дающей гарантию полной герметичности соединения; значительно сокращен расход легированной стали марок 35ХМЮА и ЭЖ-3 на изготовление запасных седел и уплотнительных колец и, наконец, была обеспечена возможность повторного ремонта путем проточки, притирки и доводки поверхности уплотнения наплавленного слоя.

Высота наплавки уплотнительного слоя позволяет производить повторный ремонт указанным способом 3—5 раз. Если наплавленный слой окажется срезанным, то можно произвести новую наплавку. Таким образом, прак-

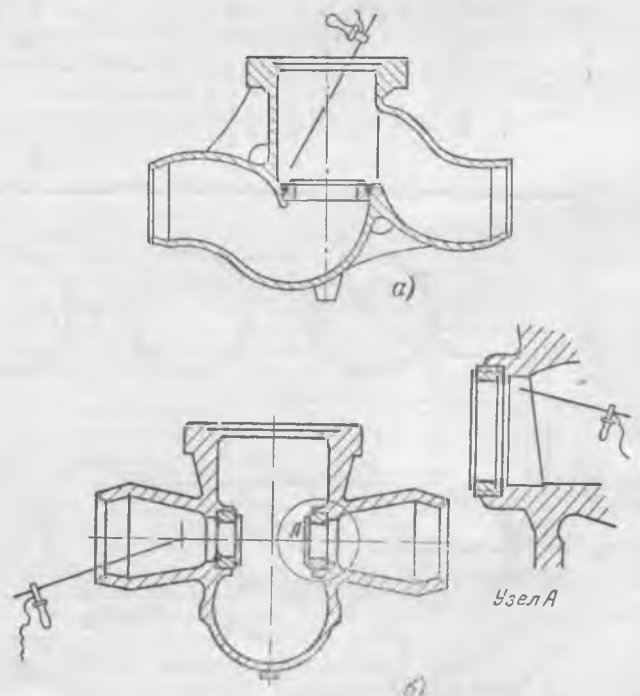


Рис. 2. Ремонт вентилей  $D_y = 175$  мм (а) и задвижки  $D_y = 200, 150$  мм (б).

тический срок службы арматуры может быть продлен путем выполнения очередного ремонта узла уплотнения.

Ниже приводятся основные данные по технологии ремонта арматуры применительно к основным видам этой арматуры.

Для ремонта крупных вентилях и задвижек седла и кольца изготавливаются из мягкой углеродистой стали от Ст-0 до Ст-3 с резьбой для заворачивания в гнезда корпусов и с выбранной по радиусу глубокой фаской под варку в корпус (рис. 3).

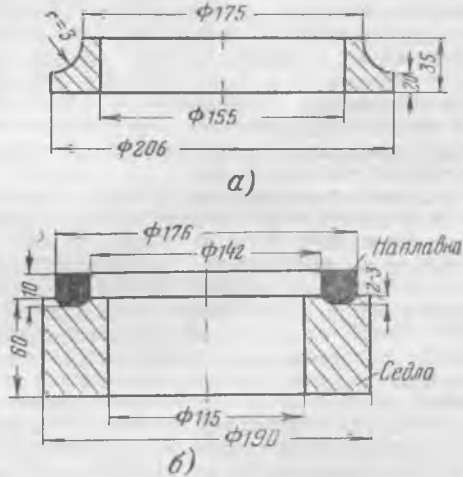


Рис. 3. Заготовки седла вентиля для варки в корпус (а) и уплотнительного кольца для наплавки (б).

В тех случаях, когда резьба гнезда корпуса не сохранилась, гнездо может быть расточено без резьбы, а седло или уплотнительное кольцо выточены также гладкими для свободной посадки в гнезда корпуса. Порядок дальнейших работ при ремонте вентилях и задвижек различен:

1. Наплавка уплотнительной поверхности седла вентиля производится на торец приваренного в корпус седла. Вварка седла в корпус и наплавка уплотнительного слоя производится подводкой электродов в корпус со стороны верхнего фланца (рис. 2). Далее производится проточка наплавленного слоя (по размерам, указанным на рис. 4), притирка и доводка уплотняющей поверхности.

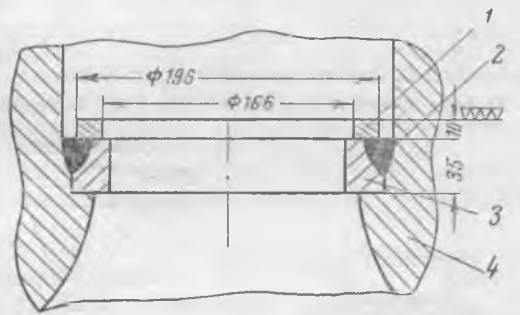


Рис. 4. Проточка уплотнения в вентиле  $D_y = 175$  мм.

1 — наплавка; 2 — шов приварки; 3 — седло; 4 — корпус

2. При ремонте задвижек производится наплавка уплотнительной поверхности непосредственно на торцы заготовленных колец и вся механическая обработка наплавленного слоя, т. е. его проточка, притирка и доводка уплотняющей поверхности по размерам, указанным на рис. 5.

Уплотнительные кольца, окончательно обработанные, ввертываются в гнезда корпуса, после чего их приваривают, подводя электроды через отверстия патрубков (рис. 2, б).

Вварка седел и уплотнительных колец в корпус выполняется на Ремонтном заводе электродами марки Э-42 с обмазкой УОНИИ-13/45 по ГОСТ 2523-51. Эти электроды имеют высокое относительное удлинение (до

35%), что обеспечивает их хорошую свариваемость, без трещин, полную герметичность и высокую прочность соединения.

Приварка седел и уплотнительных колец ведется с подогревом корпуса.

Корпусы водяных вентилях из углеродистой стали, в которые ввариваются седла, также из углеродистой стали, с наплавкой твердого слоя, нагреваются примерно до  $600^{\circ}\text{C}$ . Корпусы паровых задвижек из молибденовой стали, в которые ввариваются уплотнительные кольца с наплавленным и обработанным уплотнительным твердым слоем, подогреваются только до  $\sim 250^{\circ}\text{C}$ .

Для подогрева корпус помещается в коковую жаровню (металлический ящик с крышкой) и выдерживается там в течение 1—2 час.

Приварка ведется на постоянном токе при обратной полярности, причем нужно добиваться равномерной и устойчивой вольтовой дуги. Не следует прерывать процесса сварки до полного использования запроваленного в держатель электрода.

Швы накладываются небольшого сечения, причем после наложения каждого шва образующийся слой шлака должен быть удален. Каждый шов после очистки и удаления шлака слегка проковывается с помощью ручной чеканки.

После вварки седла в корпус при том же температурном режиме производится наплавка уплотнительного слоя на седло вентиля.

Для обеспечения хорошей обработки наплавленного слоя создаются условия медленного остывания корпуса, для чего он прикрывается сухим асбестом и засыпается сухим песком. Охлаждаемый корпус должен быть предохранен от сквозного ветра.

Для наплавки уплотнительных поверхностей седел водяных вентилях применяются электроды марки Э-50Я с обмазкой ЦЛ-2 по ГОСТ 2523-51. Эти электроды характеризуются весьма высокой эрозионной устойчивостью и дают твердость механически обработанной наплавленной поверхности около 180 ед. по Бринелю.

Такая твердость наплавленного слоя не является достаточной для уплотнительных поверхностей задвижек, где кольца и тарелки подвергаются взаимному трению при закрытии и открытии задвижек; при недостаточной твердости наплавки могут произойти «задиры» уплотняющих поверхностей. Поэтому при ремонте этой арматуры наплавка ведется электродами, дающими большую твердость наплавленного слоя.

На Ремонтном заводе для этой цели применялись электроды из нержавеющей стали марки ЭЖ-2, со специальной обмазкой. Эти электроды дают твердость наплавленного и механически обработанного слоя до 500 ед. по Бринелю.

Следует иметь в виду, что для обеспечения хорошей работы затвора задвижки уплотнительные поверхности колец и тарелок желательно иметь различной твердости в пределах примерно 50—100 ед. по Бринелю.

Механическая обработка корпусов крупных вентилях и задвижек производится на расточном станке. Предварительно в корпусах протачиваются поверхности гнезд под посадку седел или уплотнительных колец. Одновременно протачиваются концы патрубков под вварку корпусов в трубопровод. На этом же станке производится и проточка наплавленных уплотнительных поверхностей седел крупных вентилях.

Весьма важными операциями при ремонте и восстановлении арматуры являются притирка и доводка наплавленных и проточенных уплотнительных поверхностей. Для них на Ремонтном заводе были изготовлены наборы специальных притиров из качественного серого чугуна. Тор-

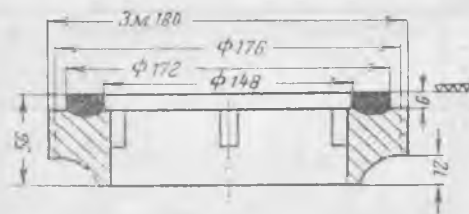


Рис. 5. Окончательная заготовка уплотнительного кольца для вварки в корпус задвижки  $D_y = 200/150$  мм.

цевые рабочие поверхности притиров тщательно пришаб- ривались и проверялись на контрольной плите.

Направляющие втулки обеспечивают работу притиров без сдвигов и перекосов относительно вертикальной оси.

Притиры изготовлялись определенного веса из рас- чета получения их удельного давления на притираемую поверхность в пределах от 1,5—2,0 кг/см<sup>2</sup> для грубой притирки и до 0,5—0,8 кг/см<sup>2</sup> для доводочных операций.

Притиры предназначаются для притирки уплотнитель- ных поверхностей данных размеров одним определенным номером притирочной пасты. Для предварительной притирки применяются пасты из порошка карбидабора зерни- стостью М10-М40, а окончательная притирка (доводка) производится пастой ГОИ (тонкой).

Для контроля качества притирки и доводки исполь- зуются контрольные кольца; проверка обработанных плос- костей производится «на краску».

Методом наплавки уплотнительных поверхностей про- изводится и ремонт тарелок крупных вентилях и зад- вижек.

Запрессовка уплотнительных колец в тарелки круп- ных вентилях конструкции Венюковского арматурного за- вода не дает нужной гарантии полной герметичности со- единения. По месту запрессовки колец часто наблюдается пропуск среды, ведущий к эрозионным разрушениям тарелок. Поэтому Ремонтный завод на месте срезанных старых колец уплотнения наплавляет уплотнительные кольца.

Предварительно в корпусе тарелки протачивается кан- авка под наплавку. Далее наносится слой металла путем наплавки и затем производится механическая обработка этого слоя (рис. 6). Притирка и в этом случае произво- дится специально изготовленными чугунами притирами.

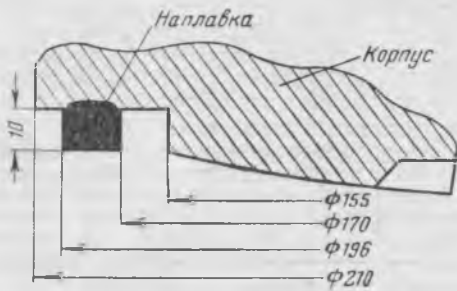


Рис. 6. Наплавка уплотнительного кольца на корпус тарелки  $D_y = 175$  мм.

Уплотнительные поверхности тарелок крупных задви- жек в тех случаях, когда эрозионные разрушения не про- никли еще на всю глубину азотированного слоя уплот- няющих поверхностей тарелок, могут быть восстановлены при ремонте путем перешлифовки, притирки и доводки уплотняющих поверхностей до полного удаления изъянов на них.

Если поверхности уплотнения имеют глубокие раз- рушения, прошедшие через весь азотированный слой, то восстановительный ремонт путем перешлифовки невозмо- жен. В этих случаях производится наплавка нового уплот- нительного твердого слоя (рис. 7).

Ремонтный завод для этой цели изготавливает тарелки из углеродистой стали и наплавляет уплотнительные по- верхности соответствующими электродами, с последующей их механической обработкой.

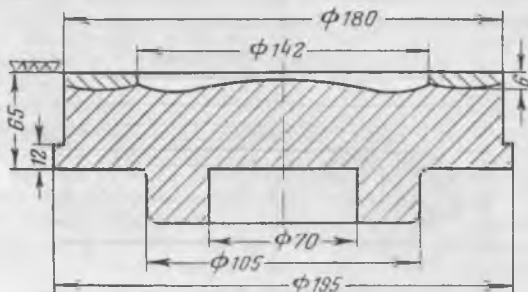


Рис. 7. Тарелка задвижки  $D_y = 200/150$  мм с наплавленным уплотнением.

После сборки отремонтированной арматуры произво- дится ее гидравлическое испытание.

В качестве материала сальниковой набивки для арма- туры высокого давления применяется прографитованный шнуровой асбест. При изготовлении этой набивки не сле- дует применять масло, так как наличие его способствует образованию нагара на поверхности шпинделя и раз- рушению сальниковой набивки. Поэтому в качестве смазки, снижающей трение, служит хлопьевидный (чешуйчатый) графит.

Для набивки сальника плетеный асбестовый шнур разрезается на отдельные элементы в виде колец с зам- ком и косыми срезами под углом 45°. Перед укладкой элементов сальника в камеру каждый элемент сальнико- вой набивки прессуется в форме кольца с квадратным сечением в специальном приспособлении.

После закладки каждого элемента сальниковой набив- ки в камеру насыпается сухой серебристый чешуйчатый графит толщиной слоя до 3 мм.

При укладке спрессованных колец в сальниковую камеру кольца вместе с графитовой засыпкой уплотняют- ся, начиная со второго ряда и дальше после укладки каждого кольца в отдельности; при укладке последнего кольца вся сальниковая набивка равномерно, без пере- косов, подтягивается (уплотняется) грундбуксой.

Ремонт мелкой арматуры производится также мето- дом наплавки уплотнительных поверхностей.

После наплавки выполняется механическая обработка наплавленной поверхности с проточкой уплотнительных поясков, а затем их притирка и доводка (рис. 8).

Ремонт регулирующих клапанов производится путем изготовления и вварки в гнезда корпуса новых направ- ляющих колец из углеродистой стали марки Ст-2 с на- плавленными внутренними поверхностями (рис. 9). После

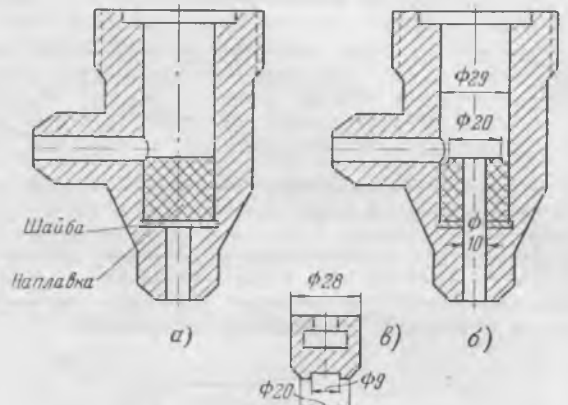


Рис. 8. Ремонт вентилях  $D_y = 10$  мм.  
а — наплавка; б — проточка наплавленного слоя; в — тарелка.

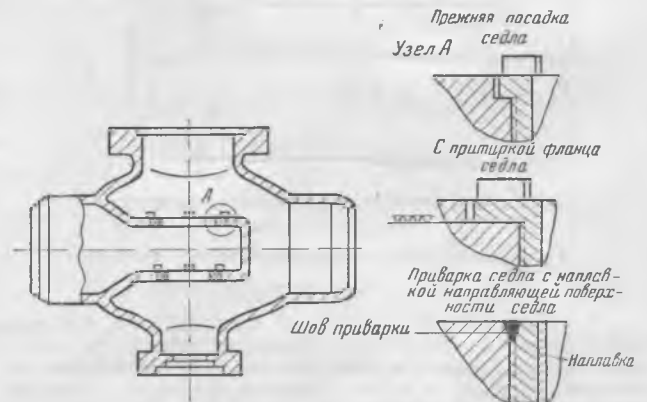


Рис. 9. Ремонт регулирующего клапана  $D_y = 175$  мм.

вварки колец в корпус производится окончательная про- точка их наплавленных направляющих поверхностей на расточном станке.

Инж. Л. Л. Бошняк

## Размол угля при пониженной загрузке мельницы шарами

На электростанции, работающей на смеси кизеловского угля с отходами коксохимического завода, пылеприготовительная система состоит из шаровой барабанной мельницы 272/430 с электродвигателем 350 квт, сепаратора воздушно-проходного типа ЦККБ диаметром 3 000 мм и мельничного вентилятора производительностью 64 000 м<sup>3</sup>/час при напоре 800 мм вод. ст. Схема пылеприготовления индивидуальная, одновентиляторная с промежуточным бункером пыли, общим коробом первичного воздуха, имеющим четыре рабочих пылепровода и два холостых сброса в топку.

Эта пылеприготовительная система испытывалась Уральским отделением Оргрэс в 1951 г. В результате этих испытаний, проведенных при постоянной шаровой загрузке мельницы 27—29 т производительность пылеприготовительной системы колебалась в пределах 10,92 ÷ 15,64 т/час при влажности промпродукта  $W^p = 7,56—9,6\%$ ; удельный расход на пылеприготовление составлял 33,3—42,3 квтч/т, а остатки на ситах  $R_{88} = 12,8 \div 21,56\%$  и  $R_{200} = 3,02 \div 6\%$ .

Получение более грубой пыли ограничивалось характеристикой мельничного вентилятора.

В дальнейшем силами электростанции было проведено 10 опытов по определению производительности мельницы в зависимости от шаровой загрузки при размоле влажного промпродукта  $W^p = 7,5 \div 10\%$ . Опыты проводились при полностью открытых лопатках сепаратора с шаровой загрузкой 12, 14,5 и 16,7 т (см. таблицу). Оказалось, что шаровая загрузка 12 т явно недостаточна для обеспечения нормального размола промпродукта, так как обуславливает значительное угрубление помола пыли с остатками на сите  $R_{88} = 28 \div 32\%$ ;  $R_{200} = 6,8 \div 9\%$ . При этом мельница быстро загружалась, требовалась ее периодическая разгрузка.

Шаровая загрузка 14,5 т обеспечивала производительность мельницы 13,6 ÷ 16 т/час при влажности промпродукта  $W^p = 7,25—9,86\%$ ; при этом был несколько угрублен помол пыли ( $R_{88} = 23,6—28,2\%$ ;  $R_{200} = 6,1—6,4\%$ ), удельные расходы на пылеприготовление составляли 26,4—29,9 квтч/т.

Шаровая загрузка 16,7 т обеспечивала производительность мельницы 12,54 ÷ 13,75 т/час при влажности промпродукта  $W^p = 7,8 \div 9,58\%$ , при этом тонкость помола характеризовалась остатками  $R_{88} = 20,5 \div 22,6\%$  и  $R_{200} = 4,8 \div 5\%$ , удельные расходы на пылеприготовление составляли 30,4 ÷ 34,0 квтч/т.

Несмотря на то, что опыты Оргрэс и электростанции производились в разное время и при различных условиях эксплуатации, а в опытах станции с разной шаровой нагрузкой получался различный рассев пыли, все же на основании сопоставления полученных данных могут быть сделаны следующие выводы:

1. Наиболее экономичной шаровой загрузкой для мельницы следует считать такую, при которой обеспечи-

вается снабжение пылью котельного агрегата при его нормальной производительности (в данных условиях примерно 14—15 т/час).

2. Рекомендуемые в технической литературе шаровые загрузки мельниц не являются наиболее экономичными. Экономичные шаровые загрузки значительно меньше рекомендуемых.

3. Переход на пониженные шаровые загрузки в указанных выше пределах (до 14,5 т) снижает удельные расходы электроэнергии на пылеприготовление на 15—25%. Полученное при этом угрубление помола пыли, повысив содержание горючих в шлаках, практически не изменило содержание горючих в уносе.

Инж. Б. Г. Локтев

## Наладка работы градирен

Для охлаждения циркуляционной воды на тэц установлены три капельных градирни башенного типа с площадью оросителя каждой 2 400 м<sup>2</sup>. Расчетная плотность дождя составляет для них 3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> час, фактическая — 3,34 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> час (общий расход охлаждаемой воды 24 000 м<sup>3</sup>/час).

В плане градирня (оросительное устройство) имеет форму правильного двенадцатиугольника с длиной стороны 14,74 м. Общая высота градирни от поверхности земли 46,36 м. Вместо обычного центрального водосборного бассейна она имеет кольцевой бассейн по периферии оросителя, а под центральной частью оросителя расположена внутренняя железобетонная розета. Емкость кольцевого бассейна 1 977 м<sup>3</sup>. Решетник градирни выполнен снизу ступами, постепенно понижающимися к центру градирни. Соответственно расположены и воздухонаправляющие щиты, обеспечивающие более равномерное распределение поступающего воздуха по площади оросителя (рис. 1). Вытяжная башня градирни имеет металлический каркас и обшивку из оцинкованной гофрированной стали, вместо деревянных щитов.

Подаваемая вода поступает по стояку к центру градирни, откуда с помощью шести радиальных желобов разводится к периферии. Рабочие лопатки с внутренней части градирни (под башней и шатром) расположены в виде секущих хорд; над внешней частью оросителя имеется открытый кольцевой желоб.

Сливные насадки с диаметром выходного отверстия 25 ÷ 30 мм (преимущественно 28—29 мм) и разбрызгивающие тарелочки изготовлены из керамики. В периферийной части кольцевого желоба просверлены дополнительно 320 отверстий, диаметром 40—55 мм, которые включаются в работу в зимний период года, а на летний период заглушаются пробками.

Длительная эксплуатация градирен выявила ряд недостатков в их работе, приводящих к тому, что темпера-

Наименование величин	Опыты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шаровая загрузка, т . . . . .	12	14,5	14,5	14,5	14,5	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7
Производительность мельницы, т/час . . . . .	12,4	16,0	14,7	13,6	14,16	12,54	12,9	13,75	12,64	11,3
Влажность угля $W^p$ , % . . . . .	7,52	7,25	9,04	9,86	8,79	9,56	9,58	7,8	9,02	—
Зольность угля $A^p$ , % . . . . .	—	36,05	35,33	—	38,52	34,15	35,42	—	34,61	—
Мощность, потребляемая мельницей, квт . . . . .	218	261	256	242	240	265	264	264	—	268
Мощность, потребляемая эксгаустером, квт . . . . .	237	230	217	235	231	228	235	218	—	214
Мощность, расходуемая на пневмотранспорт, квт . . . . .	166	161	154	165	162	162	166	155	—	151
Удельный расход электроэнергии на размол, квтч/т . . . . .	17,6	16,4	17,4	17,8	16,9	21,2	20,4	19,2	—	24,7
Удельный расход на пневмотранспорт, квтч/т . . . . .	13,4	10,0	10,5	12,1	11,2	12,9	12,8	11,3	—	13,8
Сопротивление мельницы, мм вод. ст. . . . .	256	289	276	295	284	261	302	245	259	267
Остаток на сите $R_{88}$ , % . . . . .	6,8	6,4	6,1	6,16	6,3	4,8	4,8	5,0	4,9	3,6
Остаток на сите $R_{200}$ , % . . . . .	28,4	28,2	26,1	26,3	23,6	20,5	21,2	22,6	21,9	17,2

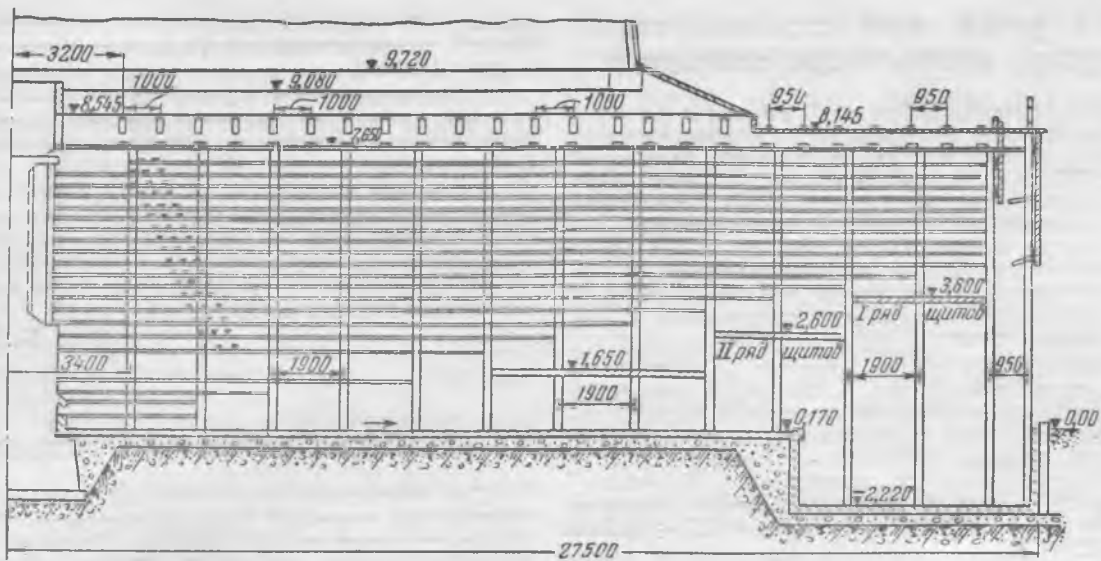


Рис. 1. Разрез оросителя градирни.

тура охлажденной воды в летний период заметно превышала расчетную и особенно сильно возрастала против расчетной в зимних условиях, даже при температуре наружного воздуха  $-30$ — $-35^{\circ}\text{C}$ , вследствие интенсивного обледенения как наружной периферийной части, так и внутренней части оросителя градирен. По данным наладочных испытаний Орггрэс, «недоохлаждение» воды составляло в летнее время для отдельных градирен от  $1,6$  до  $2,2^{\circ}\text{C}$ , а зимой примерно  $3,5$ — $5^{\circ}\text{C}$ .

Как меру борьбы с наружным обледенением градирен на электростанции, прежде практиковали сколку льда, для чего выделялась бригада в составе 5—6 чел., причем удаление образующегося льда производилось только в дневное время. В 1947 г. по предложению Южорггрэс на станции было смонтировано вокруг градирен кольцевое брызгальное устройство<sup>1</sup>, в которое подается нагретая циркуляционная вода под напором 7—8 м. Выходящий из брызгал теплый дождь омывает градирню в зоне, подверженной обледенению. Это мероприятие оказалось эффективным и позволило держать полностью открытыми нижние и вторые окна градирни. Вода, подаваемая через брызгала, легко смывает образовавшуюся пленку льда, что дает возможность поддерживать воздушные окна «чистыми», освободив от трудоемкой работы по околке льда бригаду в 5—6 чел.

Для борьбы с наледью, образующейся на бетонных панелях вокруг градирен при работе брызгального устройства вследствие выноса ветром мелких капель воды, летом 1951 г., по предложению Южорггрэс, было осуществлено дополнительное мероприятие, сводящееся к затоплению панелей слоем теплой воды. С этой целью по внешнему и внутреннему обводам панели были сооружены бетонные бортики и к кольцевому трубопроводу брызгального устройства были приварены в нескольких местах короткие штуцеры с вентилями. Благодаря тому, что бетонный бортик, расположенный по внешнему обводу градирни, выполнен более высоким, чем бортик, расположенный по внутреннему обводу, излишек воды может сливаться в бассейн градирни.

Отепление наружной розетки ликвидировало образование наледей на ней, что снизило сопротивление доступу воздуха в нижнюю часть градирни.

При температуре наружного воздуха минус  $10$ — $12^{\circ}\text{C}$  и очищенных от льда наружных окнах градирни наблюдалось обледенение внутренней ее части. Кромки между вторым и третьим рядом воздухонаправляющих щитов затягивались при этом ледовыми завесами, препятствовавшими доступу воздуха во внутренние части оросителя. Кроме того, это приводило к разрушению оросителя в тех местах, где лед нарастал наиболее интенсивно.

<sup>1</sup> Описание брызгального устройства для предотвращения обледенения градирни приведено в статье В. Ф. Мазаурова, «Электрические станции», 1948, № 9 и в книге Л. Д. Бермана «Испарительное охлаждение циркуляционной воды», Госэнергоиздат, 1949.

При интенсивном внутреннем обледенении градирен станция производила временное отключение брызгального устройства, вследствие чего воздушные окна затягивались снаружи ледяными завесами и температура циркуляционной воды повышалась до  $20$ — $22^{\circ}\text{C}$ , вызывая таяние льда, образовавшегося внутри градирни. Во избежание внутреннего обледенения градирни температуру циркуляционной воды, даже при низких температурах наружного воздуха, приходилось поддерживать на уровне не ниже  $16$ — $18^{\circ}\text{C}$ .

В результате детального обследования, проведенного Южорггрэс в 1950—1951 гг., были также выявлены следующие дефекты градирен, неблагоприятно отражавшиеся на охлаждении воды: а) худшие по сравнению с другими зонами оросителя условия работы его периферийной части, ограниченной верхним рядом воздухонаправляющих щитов, вследствие чрезмерного заполнения этой части, оросителя решетником; б) плохая нивелировка водораспределительного устройства и неорганизованные течи воды в желобах; в) большой диаметр сливных насадок и, как следствие этого, малое заполнение желобов водой.

В целях улучшения охлаждающего эффекта градирен и ликвидации внутреннего обледенения были рекомендованы мероприятия, осуществленные на станции в течение летнего периода 1951 г., а именно:

1. Произведена нивелировка всех лотков и кольцевого желоба, в результате чего достигнуто более равномерное распределение воды как в центральной, так и периферийной части оросителя.
2. Произведена разрядка оросителя в его периферийной части путем удаления шести рядов решетника (через один ряд по высоте).
3. Удалены воздухонаправляющие щиты первого и второго ряда во всех градирнях, а в градирне № 3 также и третьего ряда.
4. Сняты навесные зимние щиты третьего яруса воздушных окон.

Произведенные Орггрэс измерения температуры охлажденной воды по радиусу оросителя в опытных секторах с воздухонаправляющими щитами и со снятыми двумя рядами щитов показали, что удаление крайних щитов улучшает условия работы периферийной части оросителя, на которую приходится значительная доля общей площади градирни. Температура воды в центральной части при этом несколько возрастает, что уменьшает возможность обледенения последней в зимний период.

Кроме того, удаление второго и третьего рядов направляющих щитов устранило очаги интенсивного обледенения центральной части градирни, а снятие навесных зимних щитов третьего яруса воздушных окон освободило обслуживающий персонал от трудоемкой работы по регулировке степени открытия этих окон при изменении температуры наружного воздуха.

Нивелировка центральных лотков и кольцевого желоба периферийной части даже при существующих слив-

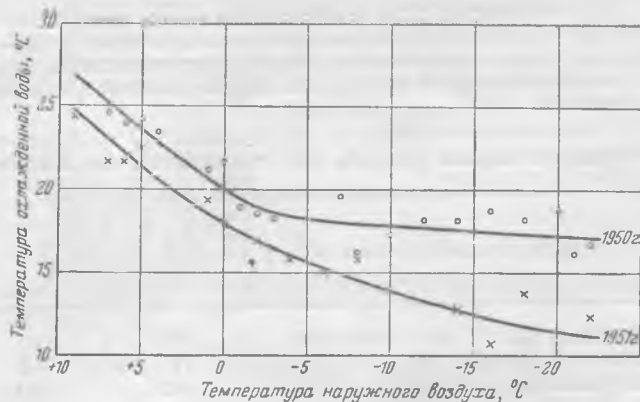


Рис. 2. Температура охлажденной воды (по эксплуатационным данным за 1950—1951 гг.).

ных насадках диаметром 28—30 мм, вместо требуемых 22 мм, способствовала повышению уровня воды в желобах и уменьшению прососа воздуха через насадки.

В результате проведенных мероприятий значительно улучшился охлаждающий эффект градирен, и температуру циркуляционной воды в зимнее время удалось снизить на 4—5°С (рис. 2).

Углубление вакуума благодаря понижению температуры охлаждающей воды показано в таблице.

Наименование	Декабрь		Январь		Февраль	
	1950 г.	1951 г.	1950 г.	1951 г.	1950 г.	1951 г.
Температура наружного воздуха, °С . . . . .	-9,8	-7,4	-16	-13,2	-19,7	-16
Температура циркуляционной воды на входе, °С	15,5	14,1	17,3	13,1	17,2	12,4
Вакуум, % . . . . .	93,7	94,6	94,5	95,8	94,5	95,7

Как видно из таблицы, углубление вакуума в зимние месяцы составило до 1,3%.

Инж. Д. М. Васин и инж. Е. В. Ямпольский

## Недостатки схемы включения воздушных выключателей фирмы ВВС

В распределительном устройстве собственных нужд одной электростанции на присоединениях к высоковольтным электродвигателям установлены воздушные выключатели фирмы Броун-Бовери типа ДВ-10 к-400, работающие при давлении 12—14 ат, с запасом воздуха в баке на один цикл (включение и отключение).

Для работы с АПВ эти выключатели не рассчитаны. Восстановление нормального давления в баке выключателя после операции отключения длится от 10 до 13 сек. На все это время золотники, управляющие впуском воздуха на включение и отключение, механически заблокированы. Таким образом, после операции «отключение» выключатель может быть снова включен лишь через 10—13 сек.

В схеме управления выключателями (рис. 1) предусмотрен нормальный контроль исправности цепи отключения красной лампой ЛК и цепи включения зеленой лампой ЛЗ. Дистанционное управление осуществляется с помощью двух кнопок К, установленных у электродвигателя.

В практике эксплуатации был случай, когда от неправильной работы технологической блокировки на один

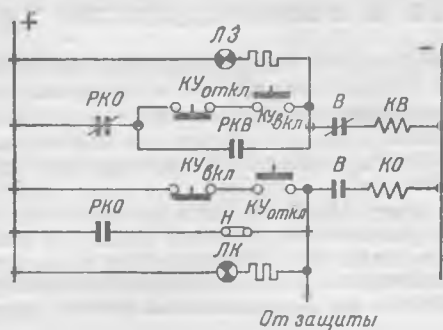


Рис. 1. Схема управления выключателями.

РКО и РКВ — контакты реле команды соответственно отключения и включения технологической блокировки; КУ — ключ управления; ЛК и ЛЗ — красная и зеленая лампы; Н — накладка; В — блокконтакты выключателя; КВ — катушка включения; КО — катушка отключения.

из выключателей был подан импульс на отключение, и последний отключился. Дежурный персонал, убедившись, что блокировка подает ложный импульс, через 3 сек. попытался включить отключившийся выключатель, но так как последний был заперт блокировкой из-за низкого давления воздуха, включения не произошло. Выключатель не включился также и после того, как по прошествии 13 сек. давление в баке выключателя стало нормальным.

Включить этот выключатель оказалось возможным только после того, как напряжение было снято на короткий срок с зеленой лампы и катушки включения поста управления выключателем.

Проверка показала, что конструкция и параметры катушек включения и отключения выключателя таковы, что если при отсутствии воздуха в выключателе подать импульс на включение его, то импульс тока приподнимет соленоид золотника, который в свою очередь поднимет блокировочную планку.

После прекращения подачи импульса на включение ток, потребляемый зеленой лампой (равной 50 ма), достаточен для удержания соленоида золотника в приподнятом состоянии, и выключатель разблокировать уже нельзя.

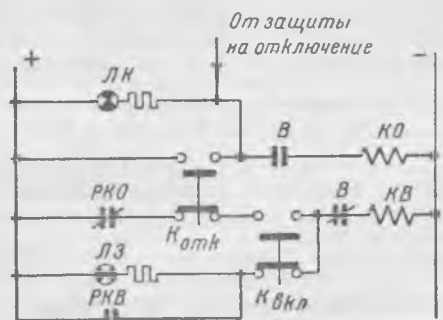


Рис. 2. Измененная схема включения. РКО и РКВ — контакты реле команды соответственно отключения и включения технологической блокировки; ЛК и ЛЗ — красная и зеленая лампы; К — кнопка; В — блокконтакты выключателя; КВ — катушка включения; КО — катушка отключения.

Это же явление свойственно и выключателям типа ДВ-10М-600, имеющимся на электростанции.

Указанный недостаток был ликвидирован изменением схемы включения. В новой схеме (рис. 2) при возврате кнопки включения в исходное положение цепь контроля исправности цепи включения кратковременно прерывается и соленоид золотника включения опускается вниз, деблокируя выключатель.

Схема проверена в эксплуатационных условиях и работает хорошо.

Инж. С. А. Дудель

# Борьба с гололедом на тросах

Методы борьбы с гололедообразованием на защитных тросах еще недостаточно изучены и проверены практикой.

До настоящего времени борьба с гололедообразованием на тросах в большинстве случаев ведется самым простым способом, т. е. обивкой гололеда вручную при отключенной линии.

Такой метод борьбы с гололедом на тросах является весьма затруднительным, особенно когда эти работы выполняются в период обледенения и самих опор, в силу чего в сильно гололедном районе зачастую создаются угрожающие положения на высоковольтных линиях электропередачи.

На подстанции была смонтирована схема, которая допускает производство прогрева как последовательно соединенных тросов обеих линий с целью увеличения длины, так и раздельно каждого троса (рис. 2), что облегчило работы по плавке.

Опыт плавки гололеда на тросе линии 110 кв в особо гололедный период (январь 1952 г.) показал, что плавка

Характер и величина гололеда	Сила ветра, м/сек	Ток плавки, а	Время плавки, мин.	Температура на поверхности воздуха, °С
Плотный, до 70 мм в диаметре	4	200	4	0
Плотная изморозь, диаметр 50 мм	6	170	10	-1
Плотная изморозь, диаметр 70 мм	5	200	7	-2

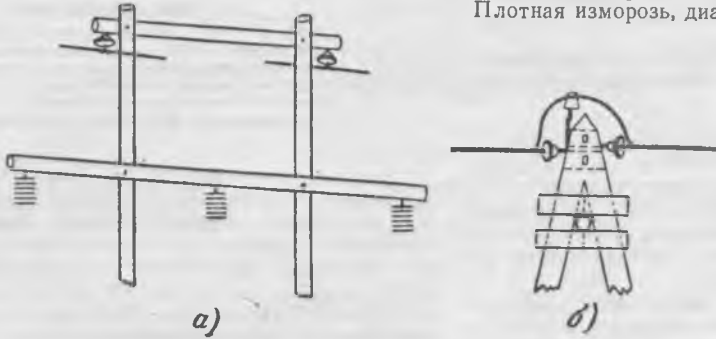


Рис. 1. Подвеска троса на изоляторах ПЦ-4,5 на деревянных опорах.

а—промежуточная опора; б—анкерная опора.

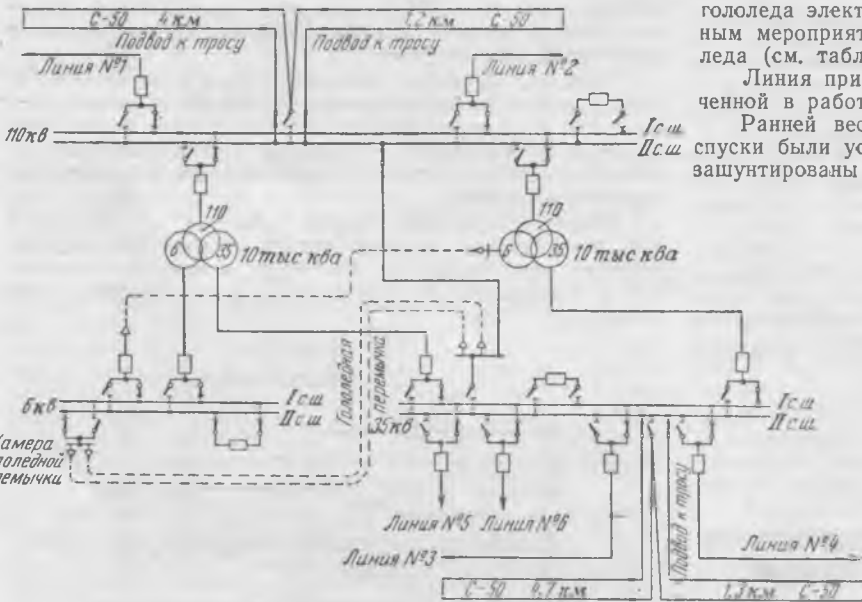


Рис. 2. Схема плавки гололеда на проводах и тросах линий электропередачи.

В одном из гололедных районов, где обледенение проводов повторяется ежегодно в период с ноября по февраль, было решено с целью эффективной борьбы с обледенением тросов применить плавку гололеда электрическим током. Для этого тросовые подходы линий электропередачи были переведены на изоляцию<sup>1</sup>, с использованием нормальных изоляторов ПЦ-4,5, по одному элементу (рис. 1).

Все заземляющие спуски и тросовые перемычки на зимний период отсоединялись и надежно закреплялись на опорах.

Схема плавки была выполнена соединением обоих тросов данной линии в петлю в конце тросового подхода и подачи на тросы напряжения 6 кв с обоих концов от резервной системы шин подстанции. Для этого трос от каждой концевой опоры был заведен на портал подстанции.

гололеда электрическим током является весьма эффективным мероприятием, быстро освобождающим трос от гололеда (см. таблицу).

Линия при плавке гололеда на тросе оставалась включенной в работу.

Ранней весной тросовые перемычки и заземляющие спуски были установлены на место и изоляторы надежно зашунтированы специальными перемычками (рис. 3).

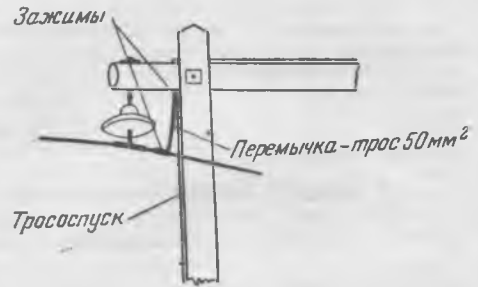


Рис. 3. Шунтировка изолятора ПЦ-4,5 специальной перемычкой.

Для успешного плавления гололеда необходимо создать постоянные схемы на зимний период, пользуясь которыми можно было бы при необходимости быстро осуществить плавку гололеда на тросовых подходах.

Инж. П. И. Гедима и инж. Ю. В. Шиманский

## Валик-каторк для испытания диэлектрических резиновых ковриков и дорожек

До настоящего времени испытание резиновых ковриков и дорожек на электрическую прочность производится ввиду сложности испытательных установок только в высоковольтных лабораториях, оснащенных специальным оборудованием. В ВЭС Мосэнерго опробовано специальное приспособление, предложенное Г. П. Кузьминым, значительно упрощающее такое испытание (рис. 1). Оно состоит из валика-катка, изготовленного из металлической трубы диаметром 127 мм, длиной 650 мм (может быть использована труба и

<sup>1</sup> Плавка гололеда электрическим током на тросах применялась в сетях Баксанского энергокомбината (см. "Электрические станции", 1950, № 8). Ред.

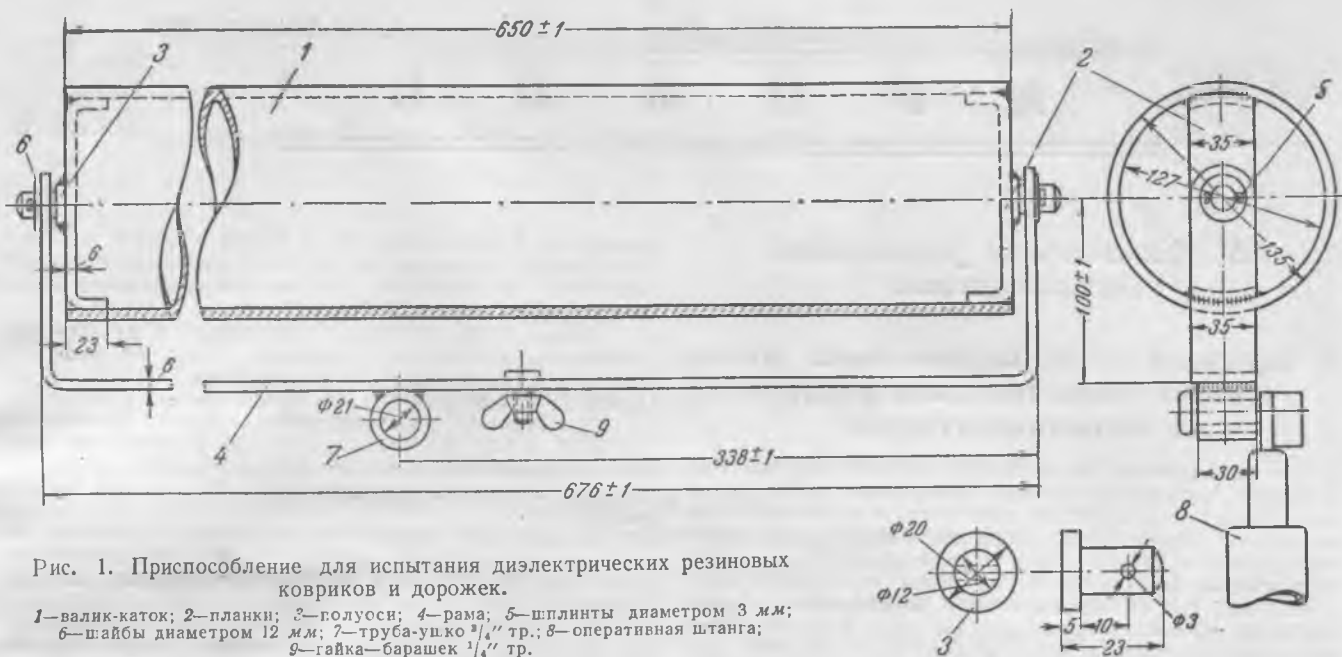


Рис. 1. Приспособление для испытания диэлектрических резиновых ковриков и дорожек.

1—валик-каток; 2—планки; 3—полуоси; 4—рама; 5—шплинты диаметром 3 мм; 6—шайбы диаметром 12 мм; 7—труба-ушко  $\frac{3}{4}$ " тр.; 8—оперативная штанга; 9—гайка-барашек  $\frac{1}{4}$ " тр.

большого диаметра). По диаметру трубы с торцов ее привариваются планки 2, на которых крепятся полуоси 3. На полуоси свободно насаживается рама 4, движение которой по полуосям ограничивается шплинтами 5. На раме крепится ушко 7 под штырь головки оперативной штанги 8 и винт-барашек для подсоединения гибкого провода в резиновой изоляции (типа «Магнето»).

Испытания производятся следующим образом. Испытуемый коврик смачивается водой по рифленой поверхности и расстилается гладкой поверхностью кверху на площадке, представляющей собой неглубокую ванну или просто небольшую гладкую площадку, покрытую кровельной сталью с надежным заземлением.

На испытуемый коврик накладывается валик-каток (рис. 2). Лицо, производящее испытание, после обеспечения всех мер безопасности и подачи испытательного напряжения, медленно, со скоростью, не превышающей  $1,5 \div 2$  м/мин. катит с помощью 30-кв оперативной штанги валик-каток по испытуемому коврику или мату. Контроль тока утечки ведется вторым лицом по миллиамперметру, включенному в цепь высокого напряжения.

Испытание более длинных ковриков или матов производится по частям. Для этого необходимо снять напряжение и наложить «землю» на испытательную установку, передвинуть участок коврика, прошедший испытание (предварительно помеченный мелом), и перейти от испытания одного участка коврика к другому.

Испытание ковриков и дорожек валиком-катком производится согласно требованиям ГОСТ 4997-49 и «Правил пользования и испытания защитных средств, применяемых в электротехнических установках», утвержденных Техническим управлением МЭС в 1951 г.

Движение катка по коврику должно быть плавным, без рывков, и осуществляться параллельно краям коврика таким образом, чтобы с каждой стороны последнего оставалось 50 мм и не было перекрытий с катка на заземленную площадку.

При ширине коврика более 750 мм испытание его производится путем двукратного прокатывания валика.

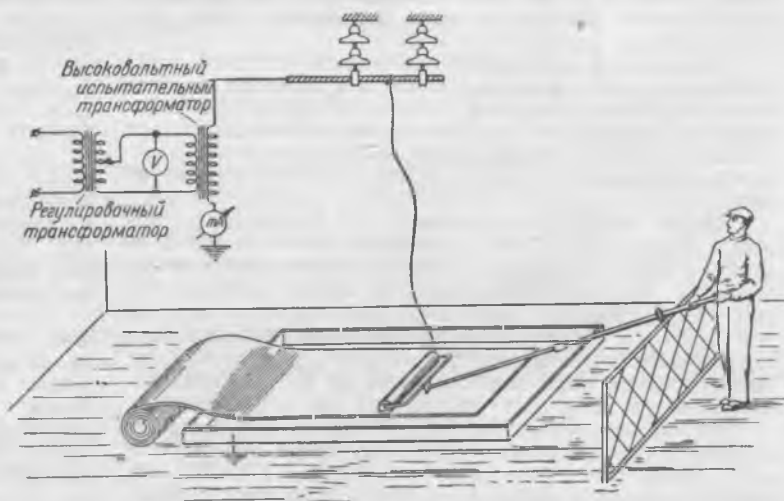


Рис. 2. Схема испытания резиновых ковриков на электрическую прочность при помощи валика-катка.

При испытании коврика в высоковольтных электрических лабораториях районных управлений в качестве испытательного трансформатора может быть использован трансформатор напряжения типа НОМ или трансформатор от аппарата для испытания жидких диэлектриков (масла). При использовании последнего следует иметь в виду, что при включении его для испытания ковриков по схеме один высоковольтный вывод относительно «земли» показание киловольтметра должно делиться на два, так как середина обмотки высокого напряжения у аппарата «заземлена», и в этом случае используется только одна из половинок высоковольтной обмотки.

Описанный способ испытания электротехнической резины принят к широкому внедрению в Мосэнерго. Он может быть рекомендован для любой мало оснащенной высоковольтной лаборатории. Изготовление приспособления просто и не требует больших затрат.

Мастер Г. П. Кузьмин  
и инж. И. А. Яковсон



**В Техническом управлении  
Министерства**

**О применении надежных схем  
пуска электродвигателей  
и компенсаторов**

В эксплуатации до настоящего времени широко применяются сложные и потому ненадежные схемы пуска асинхронных и синхронных двигателей и синхронных компенсаторов. Неоднократно имели место повреждения пусковых устройств, приводившие в ряде случаев к развитию аварий. Так, например, на одной из крупных электростанций при опробовании после капитального ремонта пусковой автоматики двигателя 231 квт, 3 кв имевшего автотрансформаторный пуск, в автотрансформаторе произошел взрыв и в результате стечения ряда обстоятельств электростанция потеряла питание собственных нужд. Нагрузка станции снизилась до нуля.

Неполадки с пусковыми устройствами на этой электростанции имели место и раньше, но, несмотря на указания районного управления о переделке схемы пуска, выполнение мероприятий электростанцией откладывалось по разным причинам. Только после аварии двигатели этого типа переведены на схему пуска непосредственно от сети.

Частые повреждения аналогичного пускового устройства у двигателей 447 квт, 3 кв имели место на одной из электростанций Мосэнерго. После усиления крепления лобовых частей (вследствие большого вылета лобовых частей было установлено дополнительное кольцо и усилены межсекционные перемычки) пуск этих двигателей с 1949 г. осуществляется непосредственно от сети. При этом кратность пускового тока возросла с 3,6 до 6,2. Никаких ненормальностей в работе механизмов не отмечается.

На той же электростанции с 1937 г. отказались от сложной схемы автотрансформаторного пуска двухскоростного асинхронного двигателя 3 кв, 1 000/300 квт, 1 480/965 об/мин и перешли на реакторный пуск с понижением напряжения на выводах двигателя до  $0,7 U_{ном}$ . В 1947 г. схема пуска была вновь упрощена переходом на пуск непосредственно от сети. Каких-либо дополнительных усилений лобовых частей обмотки не производилось. Двигатели и механизмы работают нормально.

Ряд других электростанций и энергосистем также перешли на простые и надежные схемы пуска. Так, в Азэнерго с 1945 г. применяется реакторный пуск компенсатора 7 500 квт; в Казэнерго с 1947 г. осуществляется прямой пуск двигателя АМ-450-2, 6 кв, 450 квт, 2 985 об/мин, спроектированного заводом «Электросила» для пуска через автотрансформатор (для пуска непосредственно от сети жесткость лобовых частей обмотки статора была повышена установкой текстолитовых прокладок между секциями при выходе из паза — пусковой ток статора 8—

9-кратный к номинальному); в Куйбышевэнерго с 1943 г. применяется надежная схема пуска синхронных двигателей СМВ 19А7-16, 6 кв, 1 200 квт непосредственно от сети с приключенным возбудителем.

Схемы пуска синхронных двигателей с наглухо приключенным возбудителем внедрены также на ряде двигателей, установленных на предприятиях Министерства химической промышленности и черной металлургии.

В результате исследовательских работ, проведенных ЦНИЭЛ МЭС, разработана методика расчета для определения допустимого напряжения на выводах электродвигателя с массивным цилиндрическим ротором при пуске и установлено:

1) пуск всех синхронных двигателей с моментом сопротивления механизма менее 40% от номинального может быть осуществлен с наглухо приключенным возбудителем;

2) для электродвигателей с тяжелыми условиями пуска управление включением возбуждения должно осуществляться не по сложной схеме включения по угловому положению ротора в расточке статора, а по простой схеме управления по току или по времени;

3) для электродвигателей с массивным ротором установлено, что напряжение на двигателях при пуске может быть повышено до 50% и более вместо рекомендуемого 25—30% от номинального;

Техническое управление МЭС на основании опыта эксплуатации и работ, проведенных ЦНИЭЛ, предлагает всем районным управлениям и энергокомбинатам (эксплуатационный циркуляр № 7/Э от 16 июля 1952 г.) широко применять надежные простые схемы пуска синхронных компенсаторов и электродвигателей как в установках энергосистем, так и в установках потребителей.

Для электродвигателей собственных нужд электростанций, имеющих фазный ротор и не требующих регулировки скорости, следует упростить схему пуска путем переделки фазных двигателей на короткозамкнутые. Схема пуска с переключением обмоток статора электродвигателей со звезды на треугольник, а также схемы с применением пусковых автотрансформаторов и реакторов должны быть изменены на схемы прямого пуска от сети.

Для всех компенсаторов должен применяться реакторный пуск или пуск непосредственно от сети, используя понижение напряжения в силовом трансформаторе при пуске.

Автотрансформаторный пуск может применяться в виде исключения только в тех случаях, когда при других, более простых схемах пуска получается недопустимое понижение напряжения в сети.

Энергосистемы обязаны оказывать содействие потребителям в выборе схем пуска, изменяя, в случае необходимости, уставки защиты на своих линиях.

Применение упрощенных схем пуска синхронных двигателей позволит значительно расширить область их применения, что является наиболее эффективным и экономичным методом повышения коэффициента мощности промышленных предприятий.

□ □ □

**ПОПРАВКА**

В № 9 журнала «Электрические станции» за 1952 г. в статье С. И. Молоканова, Б. Э. Розенблата и Г. М. Цоликова «Уменьшение износа экономайзеров и потерь с уходящими газами» на стр. 24 и 25 следует рис. 2 и 3 поменять местами, оставив на месте подписи.

---

---

## 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 (обязательно первый экземпляр)*. 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 давать 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  $9 \times 12$  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 текст не вклеивать, а прилагать 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 Советском Союзе меры длины, веса и др.

6. В конце рукописи указывать полностью имя, отчество и фамилию автора, домашний адрес, занимаемую должность, год рождения, номер и место выдачи паспорта.

7. Материал для журнала направлять по адресу: Москва, Ветошный пер., здание ГУМ, III корпус, 1 этаж, помещ. 165, редакции журнала «Электрические станции».



# ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

## ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- ВАЛЬДГАРД С. Л.**, Электричество в современной технике. 1952, 144 стр., тир. 25 000, ц. 3 р. 90 к.
- ВОРОНЦОВ Ф. Ф.**, Выбор сечений проводов и кабелей для электропроводок. 1952, 80 стр., тир. 10 000, ц. 1 р. 90 к.
- ВУКАЛОВИЧ М. П. и НОВИКОВ И. И.**, Техническая термодинамика. Допущено МВО СССР в качестве учебного пособия для теплотехнических специальностей высших учебных заведений. 1952, 568 стр.+1 вкл., тир. 15 000, ц. в п. № 5—22 р. 75 к., в п. № 7—23 р. 25 к.
- ГАНЗБУРГ М. Д.**, Трехламповый супергетеродин, Массовая радиобиблиотека, вып. 145, 1952, 32 стр., тир. 25 000, ц. 80 к.
- ЕВТЕЕВ Ф. Е. и ЖУКОВ В. А.**, Технология радиоаппаратуры. 1952, 360 стр., тир. 10 000 экз., ц. в п. № 5—18 р., в п. № 7—18 р. 50 к.
- ЗАЙЦЕВ И. А. и ЛУРЬЕ А. Г.**, Задачник по теоретическим основам электротехники. 1952, 440 стр., 15 000 экз., ц. 13 р. 75 к.
- КАСАТКИН А. С., ПЕРЕКАЛИН М. А., СЕРГЕЕВ П. С.**, Электротехника. Изд. 4-е, совершенно переработанное. Допущено МВО СССР в качестве учебного пособия по курсу «Электротехника» для неэлектротехнических специальностей. 1952, 360 стр., 25 000 экз., ц. в п. № 5—16 р. 85 к., в п. № 7—17 р. 35 к.
- КИРИЛЛОВ И. В.**, Регулирование паровых и газовых турбин. Допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебного пособия для высших технических учебных заведений. 1952, 428 стр.+2 вкл. тир. 7 000, ц. 12 р. 70 к.
- КРУГ К. А. и др.**, Основы электротехники, под общей редакцией д. т. н. К. А. Круга. Допущено Министерством высшего образования Академии наук СССР в качестве учебного пособия для энергетических вузов и факультетов. 1952, 432 стр., тир. 25 000, ц. 20 р. 35 к.
- КУЗНЕЦОВ А. И.**, Техника безопасности в электрических установках. Изд. 2-е, переработанное. Допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебного пособия для энергетических и электротехнических вузов и факультетов. 1952, 352 стр., тир. 25 000, ц. в п. № 5—10 р., в п. № 7—10 р. 50 к.
- ЛЕЖНЕВА О. А. и РЖОНСНИЦКИЙ Б. Н.**, Эмилий Хрисгианович Ленц. 1952, 192 стр., тир. 4 500 экз., ц. 4 р. 75 к.
- ЛИНЕЙНАЯ и ПОДСТАНЦИОННАЯ АРМАТУРА** и высоковольтные изоляторы треста Армсеть. Информационные материалы. 1952, 136 стр., тир. 3 300, ц. 5 р. 25 к.
- ЛЮТОВ С. А.**, Индустриальные помехи радиоприему и борьба с ними, Изд. 3-е, переработанное. Допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебного пособия для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. 1952, 320 стр.+1 вкл., тир. 10 000 экз., ц. в п. № 5—9 р. 05 к., в п. № 7—9 р. 55 к.
- МАЛГИН К. Ф.**, Опыт скоростной работы на токарном станке. 1952, 32 стр., тир. 1 100, ц. 70 к.
- МАРКОВИЧ И. М.**, Энергетические системы и их режимы. 1952, 312 стр., тир. 5 000, ц. 15 р.
- МЕЙКЛЯР М. В.**, Повреждения водотрубных паровых котлов из-за нарушения циркуляции. 1952, 124 стр., тир. 5 000, ц. 3 р. 50 к.
- НАЛАДОЧНЫЕ и ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ОРГРЭС**, вып. IV, под общей редакцией П. С. Гольденберга, А. И. Мальца и Б. М. Соколова. 1952, 72 стр., тир. 3 200, ц. 4 р. 40 к.
- НОВАКОВСКИЙ С. В. и САМОЙЛОВ Г. П.**, Техника частотной модуляции в радиовещании. 1952, 304 стр., тир. 10 000 экз., ц. 11 р. 75 к.
- НОРМЫ ВРЕМЕНИ** на ремонт энергетического и вспомогательного оборудования электростанций и сетей, вып. 10, Ремонт турбогенераторов и возбuditелей. 1952, 208 стр., тир. 3 000, ц. 3 р. 10 к.
- НОРМЫ ВРЕМЕНИ** на ремонт энергетического и вспомогательного оборудования электростанций и сетей, вып. 11, Ремонт паровых турбин. 1952, стр. 152, тир. 3 000, ц. 6 р. 63 к.
- ПОПОВ В. С.**, Электротехнические измерения и приборы. Изд. 4-е, заново переработанное. Допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебника для техникумов. 1952, 384 стр., тир. 15 000, ц. 11 р. 50 к.
- ПРОПУСК ШУГИ** через турбины деривационных гидроэлектростанций. 1952, 10 стр., тир. 800, ц. 50 к.
- РЕПКИН В. П.**, Ремонт гидротехнических сооружений. 1952, 216 стр.+1 вкл., тир. 5 000, ц. 6 р. 15 к.
- СТОЙЛИК М. А.**, Механизация перегрузки торфа. 1952, 112 стр., тир. 2 000, ц. 3 р. 25 к.
- ФИЛОНЕНКО Г. К. и ЛЕБЕДЕВ П. Д.**, Сушильные установки. Допущено Министерством высшего образования в качестве учебного пособия для энергетических вузов и факультетов. 1952, 264 стр.+1 вкл., тир. 7 000, ц. 13 р. 25 к.
- ЦАРЕВ Б. М.**, Расчет и конструирование электронных ламп. 1952, 344 стр., тир. 5 000, ц. 10 р. 50 к.
- ШКЛОВЕР А. М.**, Теплопередача периодических тепловых воздействий. 1952, 80 стр., тир. 5 000, ц. 3 р. 10 к.

ПРОДАЖА В КНИЖНЫХ МАГАЗИНАХ И КИОСКАХ КНИГОТОРГОВ

Издательство никаких заказов не выполняет