

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТАНЦИИ

**2**



**ГОСЭНЕРГОИЗДАТ**

**1950**

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

# 2

ФЕВРАЛЬ  
1950

Орган Министерства электростанций СССР

21-й ГОД ИЗДАНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

Передовая — Образцово выполнить задание по строительству электростанций и сетей	3	Б. И. Радошинский — О растопочных устройствах топок с шахтными мельницами	51
Н. Г. Залогин — Борьба с абразивным износом оборудования электростанций	6	И. Х. Мангушев — О фосфатировании воды в котлах высокого давления	52
И. Б. Варавицкий и В. А. Локшин — Эксплуатационный контроль воздушного баланса котельного агрегата	10	А. П. Самусенко и П. М. Кулишов — Уплотнение горловины шаровых барабанных мельниц	52
С. Е. Шицман — Схема пылеприготовления со сбросом всего сушильного агента через холостые горелки	15	В. М. Чернявский — Опыт борьбы с коррозией водяных экономайзеров	53
Ф. Г. Логунов — Изоляция топочной камеры котла огнеупорным бетоном и матрасами	20	Б. М. Выморков — Улучшение схемы движения воды в экономайзере	54
Г. И. Семенов и П. И. Юрьев — Анализ схем установок, вырабатывающих сжатый воздух для воздушных выключателей	23	Я. З. Абрамович и Л. А. Мейер — Применение сульфата закиси меди с β-нафтолом при газовом анализе	55
Ф. И. Рапота — Осушка воздуха и выбор давления в установках сжатого воздуха	24	М. Л. Буневич — Передача импульсов телеизмерения суммарной мощности токами высокой частоты по высоковольтной линии	56
Т. П. Мусатов — Еще раз о работе переключателей ответвлений МТЗ	28	С. Н. Дубоовский — Об определении допустимой нагрузки на стальные канаты	57
Замечания Московского трансформаторного завода по статье Т. П. Мусатова	30	Ю. М. Коновалов — Об организации безаварийной работы оперативного персонала	57
А. П. Петроков — Определение допустимой нагрузки трансформаторов тока по вольтамперным характеристикам	31		
А. А. Воскресенский — Токи небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока	34		
А. И. Назаров — О профилактических испытаниях изоляторов на подстанциях 35 кВ	38		
Ю. М. Элькинд — Сравнительные данные магнитоэлектрических логометров	40		

### ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ

В. З. — Приборы для внутреннего вакуумирования бетона	44
* — Штукатурные работы при отрицательных температурах	45
Н. Л. Бутенко — Из опыта ремонта котла парового крана	46
П. Ф. Джуринин — Кислородная раampa, оборудованная индивидуальными редукторами	46
А. В. Лашук — Прибор для замера равномерного затягивания болтов	47
А. Н. Гончаров — Ускорение процесса соединения валов вертикальных гидроагрегатов	48

### ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ

В. И. Абезгус — Из опыта проведения скоростного комплексного ремонта котлоагрегата	49
--	----

### ХРОНИКА

В Техническом отделе Министерства	
О несимметричных нагрузках гидрогенераторов	53
В Техническом управлении по строительству и монтажу	
Альбом типовых проектов временных сооружений	59
Выбор конструктивной схемы металлоконструкций главного корпуса тепловых электростанций	59
Безмазутные растопочные устройства	60
Сессия по ремонту электрооборудования	60

### ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВО ЗА РУБЕЖОМ

Промежуточный перегрев пара — В. С. Плотников	62
Газовая турбина полузакмкнутого цикла, обраб. А. П. Михайлов	63

### КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

П. Г. Грудинский — Рецензия на книгу Е. Ф. Иоффе „Оперативная работа в высоковольтных распределительных устройствах“	64
--	----



---

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. А. Боровой, П. Г. Грудинский, И. И. Гурвич, Б. И. Дуб, Н. Д. Лаврененко,  
С. Г. Мхитарян, Н. Н. Романов, Б. М. Соколов, И. А. Сыромятников,  
С. Ц. Фаерман

Редактор Н. Д. Лаврененко

## ОБРАЗЦОВО ВЫПОЛНИТЬ ЗАДАНИЕ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ

В истекшем, четвертом году послевоенной сталинской пятилетки советским народом, под руководством великой партии Ленина — Сталина одержаны новые победы во всех областях народного хозяйства, свидетельствующие об успешном и неуклонном движении нашей страны по пути к коммунизму.

Увеличенный Правительством государственный план 1949 г. в целом по промышленности выполнен на 103%. Валовая продукция промышленности СССР в минувшем году выросла на 20% по сравнению с 1948 г., а по сравнению с довоенным 1940 г. — на 41%. Объем всех капитальных работ в народном хозяйстве составил 120% к 1948 г.

Определенных успехов в 1949 г. добились и строители Министерства электростанций, выполнив объем капитальных работ на 39,1% больше, чем в 1948 г. Строителями и монтажниками Министерства введено в 1949 г. в эксплуатацию значительно больше турбин, котлов, подстанций и высоковольтных линий электропередачи, чем в 1948 г.

Однако, рядом строителств не соблюдены установленные государственным планом сроки ввода новых мощностей. Не пущены котлы и турбины на Штеровской грэс, Харьковской тэц 3, Кураховской грэс и ряде других электростанций.

Главэнергострой и Главэлектросетьстрой не выполнили плана строительно-монтажных работ и не обеспечили ввода ряда важнейших объектов. Главгидроэнергострой не сумел обеспечить надлежащего разворота работ на ряде новых строек.

Партия и Правительство неоднократно подчеркивали необходимость опережающего развития энергетики как основного условия для дальнейшего, более мощного развития народного хозяйства. Поэтому совершенно нетерпимо отставание с вводом энергетических мощностей.

Анализ работы отстающих строительных и монтажных организаций показывает на необходимость резкого повышения организационного и технического руководства строительством как в аппарате главных управлений, так и на самих стройках.

Руководителям таких строек нужно с большевистской непримиримостью бороться за изжитие недостатков, концентрировать материально-технические ресурсы на важнейших участках и обеспечить высокую производительность труда.

В 1949 г. строительные организации Министерства электростанций получили значительное количество высокопроизводительных строительных механизмов. Однако, у некоторых строительно-монтажных организаций уровень механизации работ продолжал оставаться недопустимо низким. Например, Главэнергострой механизировал земляные работы всего на 67% при плановом задании 73%. Трест «Уралэнергострой» выполнил в 1949 г. вручную 600 тыс. м<sup>3</sup> земляных работ, или 45% общего годового объема, при использовании экскаваторов всего лишь на 54%.

Неудовлетворительным оставалось в 1949 г. положение с обеспечением строек рабочими проектами организации работ. Из основных строек Главэлектросетьстроя только 25% было обеспечено проектами организации работ. Главэнергострой не проверял исполнения рабочих проектов производства работ на строительстве.

Неудовлетворительно справились многие стройки Министерства с внедрением в технологию производства строительных и монтажных работ новой передовой техники. Задания, установленные Министерством в этой области на 1949 г., в ряде случаев остались невыполненными, основной причиной чего является отсутствие у руководителей этих строительных и монтажных организаций постоянной борьбы за внедрение новой техники. На строительстве одной грэс в Сибири вместо предусмотренной передовой технологии производства работ по главному корпусу, заключающейся в выполнении всего комплекса работ по подземному хозяйству до начала работ по надземной части, было произведено только бетонирование фундаментов под каркас здания, вследствие чего работы по подземному хозяйству недопустимо задерживались; предусмотренный проектом организации работ гидромеханический способ добычи инертных материалов не был осуществлен; не освоен метод искусственного понижения уровня грунтовых вод при производстве земляных работ. На строительстве одной грэс на Юге второй год не выполняется работа по устройству водоотводящего канала путем взрыва на выброс.

Проектные организации Министерства обеспечивали стройки чертежами иногда со значительным опозданием и некомплектно. В частности, трест «Теплоэлектропроект» по ряду важнейших строек несвоевременно выдал чертежи, что при-



вело к задержке и нарушению технологии производства работ.

Имело место «размазывание» ресурсов, в результате чего важнейшие строительства не обеспечивались материалами в необходимой мере и испытывали затруднения, в то время как на других строительствах отдельные виды материалов имелись в избытке.

Многие строительные организации Министерства не справились в 1949 г. с заданиями по снижению стоимости строительства. Убытки только по Главэнергострою за год исчисляются миллионами рублей. Это прежде всего следует отнести за счет недостаточной борьбы за экономное расходование материалов, полноценное использование транспорта и механизмов, соблюдение штатной дисциплины, систематической борьбы с потерями и непроизводительными затратами, борьбы за высокую производительность труда.

Опыт передовых строек подтверждает реальную возможность рентабельной работы при хорошей организации строительства. Днепрострой, имевший в 1948 г. значительные убытки, наведя порядок в своем хозяйстве, дал в 1949 г. 1 млн. руб. сверхплановых накоплений.

Правительство поставило перед строителями энергетики на 1950 г. весьма важные задачи. Ассигнования на капитальное строительство в 1950 г. увеличиваются по сравнению с фактически выполненным объемом работ в 1949 г. в 1,6 раза. Значительно должны возрасти ввод мощности и строительство линий электропередачи. Будет начато строительство многих новых гидравлических и тепловых электростанций. В 1950 г. предстоит переработать земли в два с лишним раза больше, чем в прошлом году. В сооружениях электростанций предстоит уложить бетона также в два раза больше, чем в 1949 г.

Выполнение такого объема работ осуществимо при условии немедленного и решительного устранения существующих недостатков в работе строительно-монтажных организаций Министерства электростанций и при обязательном переходе на более высокий ступень уровня организационного и технического руководства строительством.

Выполнение грандиозной программы энергостроительства будущих лет требует широкого внедрения скоростных методов строительства электростанций и электросетей. Уже в 1950 г. удельный вес строительства, ведущегося скоростным способом, должен составить значительную часть общего объема. Министерством намечено строить скоростным способом в 1950 г. несколько десятков электростанций и несколько сот километров высоковольтных линий электропередачи.

Существовавшее положение с развертыванием строительства новых электростанций свидетельствует о недопустимой длительности подготовительного периода, предшествующего началу работ по основным сооружениям.

Строительство временных сооружений и подсобных предприятий, как правило, ведется медленно, сдерживая разворот основных строительных работ. Задача строителей заключается во всемерном сокращении подготовительного пери-

ода, в доведении его длительности не выше чем до  $\frac{1}{2}$  — 1 года на средних стройках и не выше 1 —  $1\frac{1}{2}$  лет на крупных стройках.

Существенное значение для сокращения подготовительного периода должно сыграть широкое внедрение сборных инвентарных временных сооружений заводского изготовления. С этой точки зрения важную роль сыграет организация Министерством в 1950 г. заводского изготовления инвентарных бетонных заводов, складов цемента и прочих временных сооружений.

Громадное значение для скоростного и правильного разворота новых строек имеет быстрый ввод в эксплуатацию жилой площади, обеспечивающей возможность создания необходимых коллективов строительных рабочих. Правительством оказана в 1950 г. большая помощь Министерству в обеспечении новых строек домами заводского изготовления.

Все стройки, получающие стандартные дома, должны организовать их сборку поточно-скоростным методом. Для этого прежде всего нужно до получения домов произвести все подготовительные работы на территории будущего поселка, заранее заложить фундаменты и т. д.

Необходимость выполнения значительно возрастающих физических объемов работ в 1950 г. прежде всего требует дальнейшего повышения уровня механизации всех трудовых строительных-монтажных процессов. Механизация земляных работ в целом по Министерству электростанций должна превысить уровень 1949 г. не менее чем на 10%; должна резко повыситься механизация погрузочно-разгрузочных работ и комплексная механизация бетонных работ.

Перед механизаторами стоит задача не только повысить уровень механизации, но и расширить область ее распространения на работы, выполнявшиеся до настоящего времени вручную. Это, в свою очередь, требует создания и внедрения новых типов строительных механизмов.

На строительстве линий электропередачи в 1950 г. должна быть освоена машина для рытья прямоугольных котлованов под фундаменты опор, созданная коллективом работников Ленинградского опытного завода механизации энергохозяйства. Внедрение этой машины позволит механизировать почти полностью процесс строительства линий, широко применять способ строительства линий специальными механизированными колоннами.

Министерство электростанций приступило в 1950 г. к изготовлению бетононасосов производительностью 12—15 м<sup>3</sup>/час. Внедрение этих совершенных машин позволит полностью механизировать такой трудоемкий процесс, как бетонировка облицовок туннелей.

Громадное значение имеет комплексность процесса механизации, так как комплексная механизация работ приводит к новым, совершенным формам организации, к высокой производительности труда.

Требование максимальной механизации работ должно найти свое отражение и в конструктивных решениях отдельных сооружений, и в технологии строительных и монтажных процессов.

Конструкторы должны решить вопрос об из-

менении системы заполнения стен промышленных сооружений; перехода от кирпичной и другой мелкоблочной кладки, требующей применения ручного труда, к крупнопанельному заполнению стен с помощью мощных грузоподъемных механизмов. Выполнение ажурных железобетонных конструкций должно производиться только из сборного железобетона.

Технология процесса штукатурки так называемым мокрым способом позволяет механизировать этот процесс всего лишь на 60—65%. Технологи должны разработать новую технологию производства этого вида работ, исключающую ручной труд, так как даже применение сухой штукатурки не исключает ручных работ.

В 1950 г. необходимо добиться такого положения, чтобы основным законом развития любой стройки стал заранее разработанный, глубоко продуманный проект организации и производства работ, созданный на основе новейших достижений передовой строительной техники. Все стройки Министерства должны быть обеспечены рабочими проектами организации работ, составленными с полным учетом всех местных условий и возможностей. Должна проводиться жесточайшая дисциплина в соблюдении этих проектов при производстве работ.

Решающую роль в исполнении проектов организации работ должно сыграть окончание разработки типовых проектов организации и производства работ по основным сооружениям электростанций, подстанций и линий электропередачи, начатой в 1949 г.

Проектные организации Министерства электростанций должны в 1950 г. полностью обеспечить стройки рабочими чертежами еще до того, как они приступят к производству работ. Необходимо и в этой области работы проектных организаций также добиться максимального внедрения типовых решений и комплексных типовых рабочих проектов зданий и сооружений.

Производство строительных и монтажных работ в 1950 г. должно происходить при широком использовании новых достижений строительной техники. Необходимо, чтобы широкое распространение получили новые технологические процессы, как, например, производство штукатурных, каменных и бетонных работ при отрицательных

температурах воздуха по предложению инж. Безрезина.

Максимально должны применяться в строительстве уже освоенные в нашем Министерстве такие передовые высокопроизводительные методы производства строительных и монтажных работ, как гидромеханизация земляных и карьерных работ; грунтовой водоотлив; скоростные методы проходки туннелей; широкая индустриализация основных видов работ с использованием деталей заводского изготовления; блочный монтаж основного технологического оборудования; широкое производство и применение новых эффективных строительных материалов. Опыт передовых строительно-монтажных организаций в этой области должен широко распространяться.

От руководителей строительных и монтажных организаций требуется овладение всеми этими передовыми достижениями современной строительной техники и повседневная борьба за их внедрение.

В 1950 г. все стройки Министерства электростанций должны работать рентабельно. Решающую роль в этом должны сыграть широкое внедрение на стройках внутреннего хозяйственного расчета, жесточайшая хозяйственная и финансовая дисциплина. Особенно большое значение имеет бережное и экономное расходование строительных материалов и, в первую очередь, металла, леса и цемента.

Успешное выполнение задач, стоящих перед строителями и монтажниками Министерства электростанций в 1950 г., возможно только при коренной перестройке их работы, повышении уровня организационного и технического руководства, беспощадной борьбе с имеющими место недостатками, непримиримой большевистской настойчивости в преодолении затруднений, возникающих в процессе работы.

Партия, Советское Правительство, лично товарищ Сталин уделяют огромное внимание электрификации нашей страны, повседневно оказывают энергостроителям большую помощь.

Долг каждого строителя и монтажника Министерства электростанций — с честью выполнить и перевыполнить государственный план по строительно-монтажным работам и вводу новых энергетических мощностей.



# Борьба с абразивным износом оборудования электростанций

Канд. техн. наук Н. Г. Залогин

Абразивный износ оборудования является одним из основных факторов, снижающих надежность и экономичность работы электростанций. Движущиеся твердые частицы топлива и золы, начиная с топливоподачи и кончая лотками и трубами гидрозолоудаления, соприкасаясь с металлом, постепенно разрушают его. Устранить абразивный износ оборудования на электростанциях не представляется возможным; однако снизить его интенсивность и удлинить сроки безремонтной эксплуатации оборудования — вполне реальная и неотложная задача. Эта задача прежде всего должна решаться при проектировании нового оборудования. Однако, далеко не всегда при проектировании учитываются все обстоятельства, позволяющие снизить абразивный износ.

## Механизм абразивного износа

Высказывалось предположение, что при прочих равных условиях износ пропорционален нормальной составляющей силы, возникающей при ударе абразивных частиц о металлическую поверхность и количеству ударов частиц о единицу

поверхности. В этом случае наиболее интенсивный износ детали будет на участках, расположенных нормально к направлению движения твердых частиц. Вследствие этого на изнашивающихся деталях должны постепенно образовываться плоскости, расположенные перпендикулярно направлению движения твердых частиц.

Однако, конфигурация многих деталей оборудования, подвергавшихся абразивному износу, не подтверждает высказанного предположения и вытекающих из него следствий. На рис. 1 изображены части оборудования, находившиеся некоторое время в эксплуатации. Как видно, наиболее интенсивный износ металла происходит на участках поверхности деталей, расположенных под некоторым углом к направлению движения частиц, отличным от  $90^\circ$ . Там, где частицы угля ударяются об отбойную плиту пневмомельницы под углом, близким к  $90^\circ$  (центр плиты), износ едва заметен, а там, где они, отнесенные потоком воздуха, обтекающим плиту, ударяются о нее с меньшим углом, износ значительно интенсивнее. Особенно показателен в этом отношении характер износа растяжки дымососа. Несмотря на большое количество частиц и большую величину нормальной составляющей силы удара в лобовой точке, износ на этом участке меньше, чем на некоторых других.

Для трубы, вырезанной из первого ряда экономайзера (рис. 1, в), был не только измерен износ металла по окружности, но также специальными опытами измерено распределение количества ударов частиц золы по окружности трубы. Если построить кривую распределения интенсивности износа по окружности трубы и кривую распределения количества ударов и поделить ординаты первой кривой на соответствующие ординаты второй, то получается новая кривая с двумя максимумами (рис. 2). Эта кривая показывает, что эффективность каждого удара в отношении разрушения металла сильно зависит от места падения частиц на поверхность цилиндрической трубы.

Специально поставленные опыты показали, что свободно летящие твердые частицы разрушают металл наиболее интенсивно, если ударяются о его поверхность под углом, близким к  $40^\circ$ . Результаты этих опытов графически изображены на рис. 3. Из приведенных данных следует, что

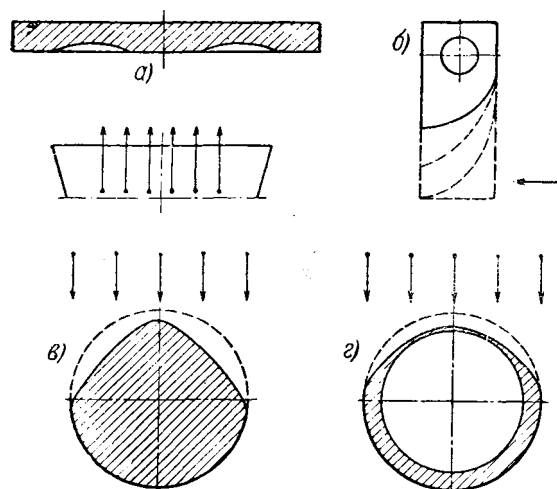


Рис. 1. Части оборудования, подвергшиеся износу. Пунктиром показана первоначальная форма деталей; сплошной линией даны контуры деталей после износа; стрелки показывают направление движения твердых частиц.

а — разрез по диаметру плиты пневмомельницы; б — било шахтной мельницы; в — разрез растяжки дымососа; г — разрез трубы экономайзера.

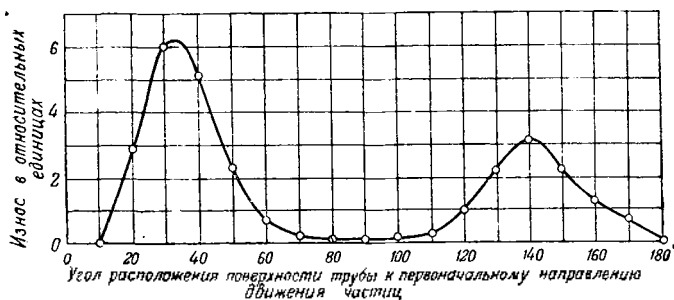


Рис. 2. Зависимость интенсивности износа от угла падения частиц на поверхность металла.

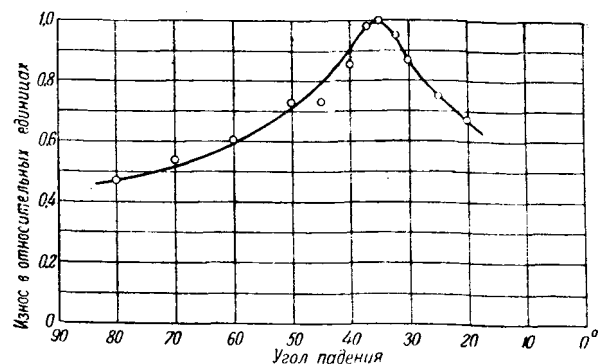


Рис. 3. Зависимость эффективности ударов от их места падения на поверхность трубы.

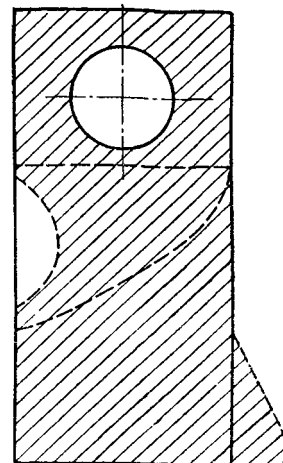
при абразивном износе металла свободно удаляющимися частицами создаются поверхности, расположенные под оптимальным углом (в отношении износа) к направлению движения твердых частиц. Или, иначе говоря, в процессе износа конфигурация предмета изменяется таким образом, что удельная интенсивность разрушения (интенсивность разрушения единицы поверхности) стремится к своему максимально возможному значению. Эта закономерность подтверждается конфигурацией изношенных деталей, приведенных на рис. 1, а также известным фактом увеличения удельного расхода металла по мере износа, например, бил шахтных мельниц. В начале, когда на деталях еще не образовались поверхности, расположенные под оптимальным углом, удельный расход металла меньше, чем после их образования.

Известно, что наибольшее весовое количество стружки может быть сколото зубилом с поверхности металлического предмета при определенном угле наклона оси зубила к поверхности металла. При угле, близком к  $90^\circ$ , эффективность работы весьма незначительна, так же как и при малых углах, при которых происходят скользящие удары. При абразивном износе роль зубила играют твердые частицы с острыми гранями, ударяющиеся о поверхность металла. Если о поверхность ударяются оплавленные шарообразные частицы, интенсивность износа при прочих равных условиях во много раз снижается, при этом изменяется и угол оптимального износа. Удары шарообразных частиц о металл напоминают удары молотка, в результате которых первоначальная прочность поверхностного слоя может увеличиваться.

### Срок службы детали и ее форма

Из практики известно, что в большинстве случаев вес изношенных деталей оборудования, подлежащих замене, составляет не менее половины веса новых неизношенных деталей. Вместе с тем, если не считаться с вопросами технологии изготовления деталей, то почти во всех случаях, изменив существующую форму детали, возможно добиться более рационального распределения металла и несколько повысить длительность ее работы при прочих равных условиях. Пример такого перераспределения металла для била шахтной мельницы показан на рис. 4. Вполне понятно, что длительность работы такого била должна быть больше, так как первоначальная форма

Рис. 4. Изменение формы била шахтной мельницы с целью удлинения срока его службы и снижения удельного расхода металла. Сплошной линией изображен контур существующего била, пунктиром отмечена форма била, подлежащего замене, а штриховкой намечен контур била с более рациональным распределением металла.



будет достигнута лишь после некоторого срока работы.

В связи со сказанным целесообразно проведение экспериментальных работ по удлинению срока эксплуатации деталей оборудования путем изменения формы бил ударных мельниц, лопаток дымососов и т. п. за счет более рационального распределения металла.

Изменение формы детали происходит также при наплавке на ее поверхность различных твердых сплавов. Поэтому, не рассматривая здесь вопроса о качестве навариваемого материала, следует лишь отметить, что в зависимости от распределения одного и того же количества сплава по поверхности детали можно получить различный эффект в удлинении срока ее работы.

### Равномерность износа

Совершенно иными путями ведется борьба с износом поверхностей нагрева. Здесь невозможно изменять форму деталей. Если не принимать во внимание задачи осаждения золы в топке и очистки газов в газоходах котла, то наиболее эффективным способом увеличения длительности работы котельных пучков является устранение причин, приводящих к неравномерному распределению скорости газа и концентрации золы в газоходах котла. Чтобы успешно решить поставленную задачу, необходимо при проектировании соблюдать ряд условий, основные из которых могут быть сформулированы следующим образом:

1. Любая поверхность, расположенная впереди котельных труб под некоторым углом к на-

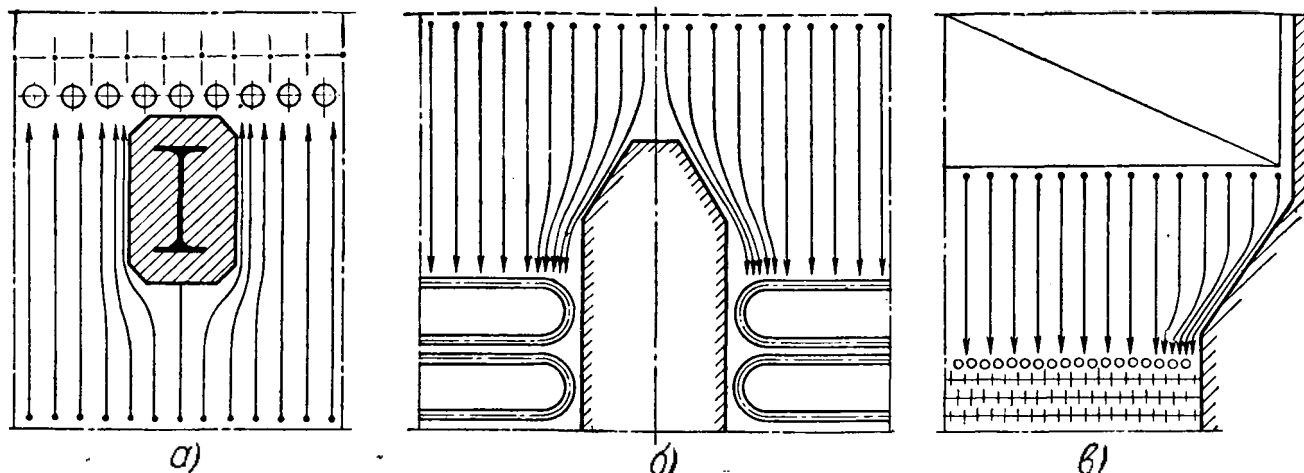


Рис. 5. Примеры местного повышения износа металла.

а — повышение концентрации золь при обтекании балки запыленным газовым потоком; б — то же при обтекании разделительной стенки; в — то же при сужении газохода.

правлению движения газов, создает местное повышение концентрации твердых частиц. В результате этого происходит повышенный износ металла котельных труб на ограниченном участке, что вызывает образование свищей. Сказанное иллюстрируется примерами, часто встречающимися на практике (рис. 5). Таким образом, перед котельными трубами не должно быть поверхностей, приводящих к образованию повышенных концентраций золь. В некоторых существующих конструкциях котлов такие поверхности имеются и вызывают местный интенсивный износ. Основной способ уменьшения износа в рассматриваемом случае заключается в устройстве канала, не соприкасающегося с котельными трубами, по которому концентрированный поток золь отводится, минуя котельный пучок<sup>1</sup>.

2. Все каналы в направлении движения дымовых газов, образованные котельными трубами, трубами и стенками газоходов, трубами и любыми другими элементами котельного агрегата, должны иметь, по возможности, одинаковые коэффициенты гидравлического сопротивления. При соблюдении этого условия скорость газа во всех каналах будет близка к средней величине для всего пучка, и трубы, ограничивающие каналы, будут изнашиваться равномерно. В действительности, каналы (рис. 6), образованные трубами 1, по которым проходит основная масса газа, имеют почти всегда больший коэффициент гидравлического сопротивления, чем каналы 2 и 3 на периферии пучка и каналы являющиеся просветами между змеевиками 4. Поэтому в каналах 2, 3 и 4 скорость газа в несколько раз превышает скорость газа в каналах 1, а износ труб, ограничивающих каналы 2, 3 и 4, бывает в десятки раз выше (износ пропорционален кубу скорости) общего износа пучка.

3. Изменение направления движения газа при повороте газохода, расположенного перед пучком котельных труб, вызывает неравномерный износ, так как в результате поворота создается неравномерное распределение скорости газа и концен-

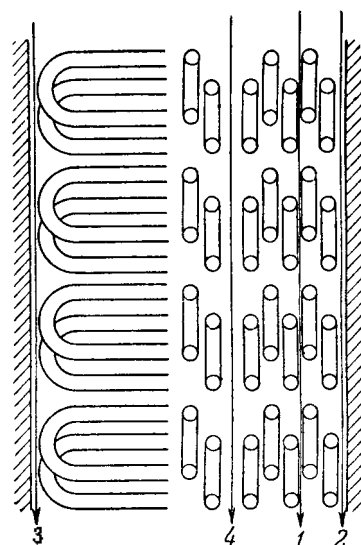


Рис. 6. Каналы с различными значениями коэффициентов гидравлического сопротивления в котельных пучках.

трации золь. Невозможность во многих случаях устранить повороты заставляет принимать меры к выравниванию потока газов на повороте и учитывать, что степень неравномерности возрастает с увеличением скорости газа и с уменьшением радиуса кривизны поворота.

От успешного выполнения при проектировании перечисленных выше условий в значительной мере зависит надежность работы котельных агрегатов, в особенности при сжигании местных зольных углей.

### Защита колен трубопроводов и газоходов

В пневмотранспортных линиях и в трубопроводах гидрозолоудаления наблюдается интенсивный износ колен. В 1940 г. инж. Токаревым опубликованы результаты работы<sup>2</sup>, где описывается метод удлинения сроков работы колен путем

<sup>1</sup> В. А. Локшин, Борьба с золовым истиранием в котельных агрегатах, „Электрические станции“, № 9, 1949 г.

<sup>2</sup> См. „Теплосиловое хозяйство“, № 9, 1940 г.

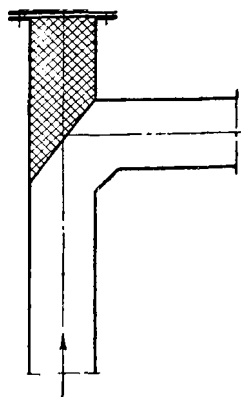


Рис. 7. Колено с отростком.

устройства отростков (рис. 7). Эти отростки во время работы забиваются частицами движущегося по трубопроводу материала и последующие удары твердых частиц воспринимаются не металлом стенок, а запрессованным в отростке материалом. В результате опытов Токарева на стеклянной модели колена установлено, что их желательно выполнять под углом  $90^\circ$ . Если колено с отростком выполнить под углом  $135^\circ$ , то при этом имеет место интенсивный износ внутренней стенки колена

вследствие ударов о нее частиц, отразившихся от слоя запрессованного материала. Весьма вероятно, что этого можно избежать, если секционировать отросток перегородками (рис. 8).

Наконец, отростки могут быть использованы для помещения в них соответствующей формы брони из чугуна или каменного литья, что обеспечит еще более надежную защиту колен и позволит расширить область применения этого способа защиты.

### Стойкость материалов к износу

Одним из важных средств удлинения сроков безремонтной эксплуатации оборудования, подверженного износу, является правильный подбор материалов для изготовления отдельных деталей. Следует, однако, отметить, что в настоящее время нет еще общепринятой методики для определения износостойкости металлов по отношению к ударному абразивному износу. Поэтому отсутствует и классификация металлов и сплавов по величине износостойкости.

Экспериментальные работы, проводившиеся с целью изыскания стойких к износу материалов для изготовления деталей камнедробилок, драг, показали, что наиболее стойкой сталью является аустенитовая марганцовистая сталь (12—14% Mn). Ее износостойкость по данным этих работ оказывается в 7—20 раз выше, чем у обычной углеродистой стали. Однако, стойкость бил мельниц «Резольтор», изготовленных из этой стали, оказывается только в 2—3 раза выше, чем у обычной стали. ВТИ была определена сравнительная износостойкость сталей, употребляющихся для изготовления котельных труб. В результате этих определений было установлено, что углеродистая, хромомолибденовая, молибденовая стали и сталь марки ЭИ-257 практически мало отличаются своей износостойкостью.

Износостойкость твердых сплавов, навариваемых на поверхности изнашиваемых деталей, иногда склонны преувеличивать. Происходит это вследствие неправильного сравнения стойкости сплава. Нередко сравнивают продолжительность работы детали, не защищенной наваркой твердого сплава и защищенной им. При этом забывают, что при наварке происходит значительное утолщение детали, а поэтому более правильно срав-

□ □ □

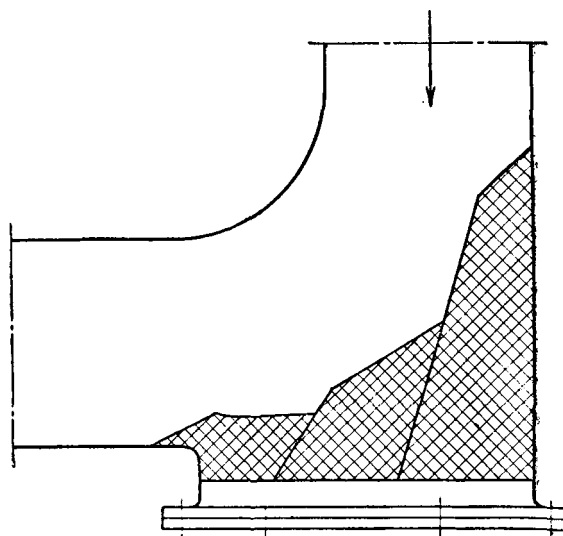


Рис. 8. Колено с отростком и перегородками.

нивать стойкость детали, наваренной обычным электродом и твердым сплавом. При таком более правильном сравнении оказывается, что, например, сталинит всего в 1,7—2,0 раза более стоек, чем обычная сталь. Плавный базальт является одним из наиболее стойких к абразивному износу материалов. Установленные из плавного базальта плитки в каналах гидрозолоудаления оказываются почти в 10 раз более стойкими, чем чугунные плитки. К сожалению, отсутствуют заводы каменного литья, которые могли бы в требуемом масштабе изготавливать многие детали стационарного оборудования, значительно увеличив срок их службы.

### Выводы

1. Твердые частицы, ударяясь о поверхность металла, производят максимальное его разрушение, когда угол падения равен  $36^\circ$ . При меньших и больших углах падения интенсивность износа уменьшается. По этой причине на деталях, находящихся длительное время под воздействием твердых частиц, образуются плоскости, расположенные под оптимальным, в отношении износа, углом к направлению движения частиц, что приводит к более быстрому износу деталей в последний период их работы. Эта закономерность износа деталей оборудования позволит установить наиболее рациональное распределение металла в детали с целью увеличения срока их службы.

2. При проектировании котлов необходимо учитывать, что всякая поверхность, расположенная впереди пучка труб под некоторым углом к направлению движения потока дымовых газов, является причиной увеличения концентрации золы и местного износа труб, расположенных поблизости от поверхности.

3. Основным условием для равномерного износа труб экономайзеров является такое их расположение в пучке, при котором обеспечиваются равные коэффициенты сопротивления для всех каналов, по которым двигаются дымовые газы.

4. Для увеличения срока службы колен трубопроводов при пневмотранспорте, гидрозолоудаления и т. п. следует применять колени с отростками.

## Эксплуатационный контроль воздушного баланса котельного агрегата

Канд. техн. наук И. Б. Варавицкий и канд. техн. наук В. А. Локшин

Условием экономичной и надежной эксплуатации котельных агрегатов является правильная организация топочного режима. Неравномерность тепловыделения по сечению топочной камеры часто является причиной расстройств циркуляции и других неполадок.

Поддержание удовлетворительного топочного режима, обеспечивающего минимальную тепловую неравномерность, связано с правильным подводом и распределением воздуха, используемого для сжигания топлива.

При наладке котельных агрегатов часто приходится устанавливать определенное соотношение между нагрузками отдельных горелок или их групп как по топливу, так и по воздуху. Также большое значение имеет и соотношение количеств первичного и вторичного воздуха.

Наиболее рациональное соотношение составляющих воздушного потока, поступающего в топку, связано с качеством топлива, нагрузкой котла и другими факторами. Эксплуатационный персонал в зависимости от изменения тех или иных факторов в соответствии с инструкцией по эксплуатации обязан изменять также и расходы отдельных потоков воздуха.

Однако, не всегда возможно это выполнить с необходимой точностью из-за отсутствия в эксплуатационных условиях достаточно точных измерений количеств отдельных составляющих воздушного баланса котельного агрегата. Отсутствие постоянно действующих приборов, фиксирующих расходы различных воздушных потоков, направляющихся в топку, мешает во многих случаях организации правильного воздушного режима топочной камеры.

Характер воздушного баланса котельного агрегата зависит от качества топлива, схемы пылеприготовления, способа сжигания и конструктивных особенностей агрегата. Однако, во всех случаях общее количество воздуха, подаваемого в котельный агрегат, складывается из организованного потока горячего воздуха, поступающего через горелки, и неорганизованного воздуха, подсосываемого по трактам котла и сушильно-мельничных систем.

Для правильной организации воздушного режима топки необходимо определение следующих величин: количества холодного воздуха (основная составляющая воздушного баланса), общего

расхода первичного воздуха, расходов вторичного воздуха по отдельным горелкам, количества газозвушной смеси перед сушильно-мельничной системой, за циклоном и по отдельным горелкам.

### Существующие способы измерения расхода воздуха

Для измерения приведенных выше величин существует несколько способов.

Для измерения присоса воздуха в сушильно-мельничной системе часто используют газовый анализ (определение  $RO_2$ ). Этот способ применим только при наличии рециркуляции газов из топки. Кроме того, точность этого способа обычно весьма низка. Последнее объясняется двумя факторами: значительной неравномерностью содержания углекислоты по сечению газопровода, что не дает возможности отобрать необходимую среднюю пробу газов, и малым абсолютным значением определяемого содержания трехатомных газов.

Для измерения количества воздуха, поступающего в воздухоподогреватель, а также расходов первичного и вторичного воздуха при наладке режима работы котельных агрегатов часто применяют различные пневмометрические трубки. Применение этих трубок, измеряющих скорости воздуха или газа в отдельных точках, требует предварительной тарировки сечений газозвухпроводов.

Определение коэффициентов полей скорости в каналах большого сечения является весьма громоздкой работой, поскольку эти коэффициенты не являются постоянными, а зависят от ряда факторов (расход газов, расположение шибров и др.).

Однако, эти трубки могут быть использованы при измерениях в каналах малого сечения. Пневмометрическими трубками приходится пользоваться и там, где по условиям расположения коровов установка других приборов невозможна.

Для эксплуатации всегда наиболее желательно иметь прямое определение количеств воздуха. Непосредственное измерение общего расхода воздуха дроссельными приборами затрудняется значительными потерями давления в них.

При установке острых диафрагм невосстанавливаемое снижение давления составляет величину порядка 20—25% от полного динамического



напора потока, что может вызвать заметный перерасход электроэнергии, а также повлиять на работу пылеприготовительных систем и горелок. Кроме этого в большинстве случаев газо-воздухоканалы имеют прямоугольные сечения, что также препятствует установке круглых шайб.

## Применение лемнискатных сопел для определения расхода воздуха

Значительными преимуществами по сравнению с указанными способами измерения количества газа в качестве первичного измерительного прибора для эксплуатационного определения составляющих воздушного баланса обладают сопла со входом, выполненным по лемнискате<sup>1</sup> (рис. 1).

Сопла с лемнискатным входом могут быть как круглого, так и прямоугольного сечения. Лемнискатные сопла прямоугольного сечения, экспериментальная проверка которых проводилась в котельной лаборатории ВТИ, хорошо себя зарекомендовали в отношении равномерности распределения скоростей по сечению сопла и надежности их измерения.

<sup>1</sup> Лемнискатой называется кривая, которая описывается уравнением  $r^2 = 2a \cos 2\varphi$ , где  $a = OF$  (рис. 4). Положение точек кривой определяется их расстоянием  $r$  от полюса  $O$ .

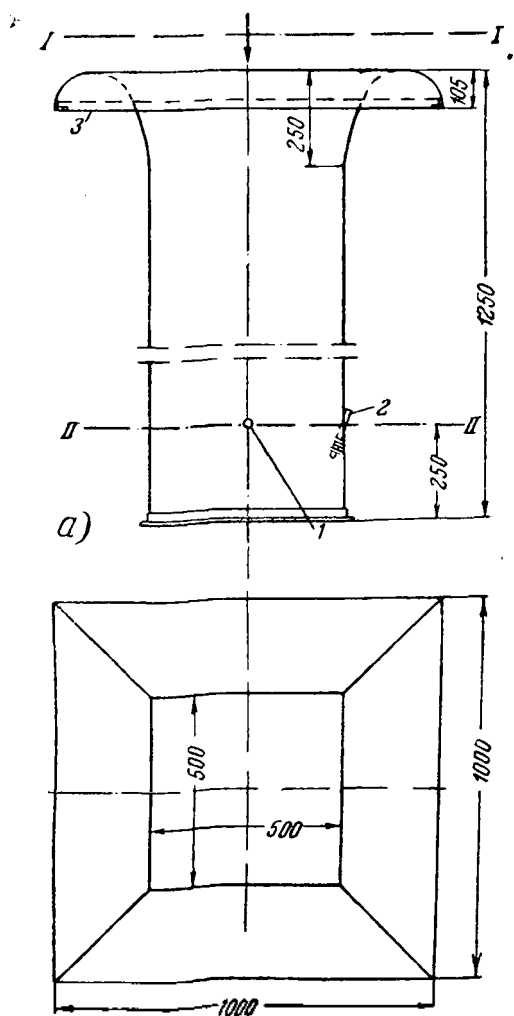


Рис. 1. Общий вид лемнискатного сопла.

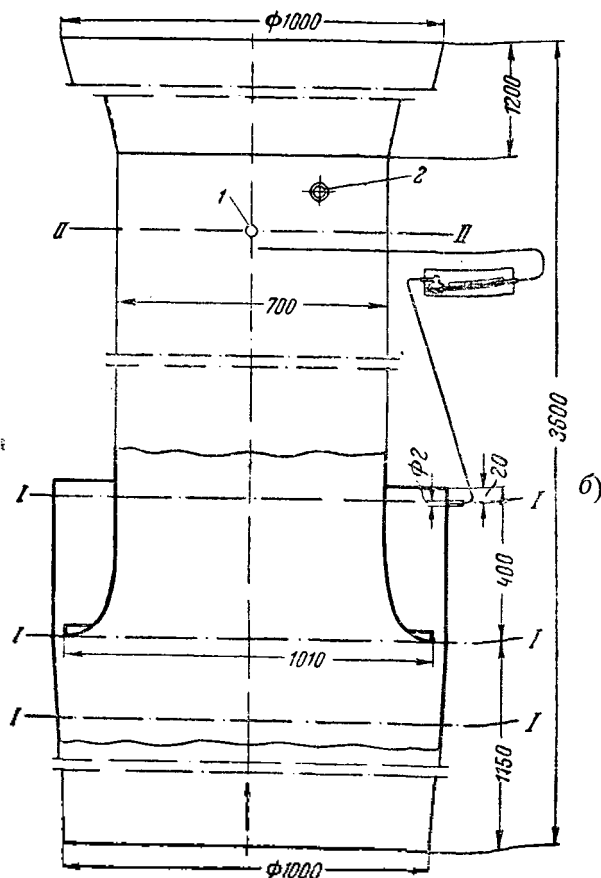
Для установки в начале всасывающего воздухопровода (а) и на промежуточном участке газопровода (б).  
1 — штуцер для измерения давления; 2 — гильза для термометра; 3 — рамка из уголков 10×20×5.

Обычно в лабораторных условиях измерения скоростей производятся при помощи трубок Прандтля, устанавливаемых в лемнискатных соплах. В эксплуатационных условиях достаточно надежно можно определять расход воздуха или газа при помощи лемнискатных сопел без употребления трубок Прандтля. Надежность такого измерения определяется равномерностью скоростного поля и незначительностью потерь в лемнискатном сопле.

Для экспериментальной проверки надежности измерений при помощи лемнискатных сопел и целесообразности их применения в отношении расхода электроэнергии на собственные нужды были установлены на входе и на промежуточном участке газопровода одного из котельных агрегатов лемнискатные сопла прямоугольного сечения.

## Экспериментальная проверка лемнискатного сопла

Тарировка лемнискатного сопла, установленного на входе воздухопровода, заключалась в определении распределения скоростей в поперечном сечении ее и в определении расхождений при вычислении скорости при помощи трубки Прандтля или по статическому напору в лемнискатном сопле. На рис. 2 показано распределение скоростей в поперечном сечении прямоугольного сопла с лемнискатным входом. Приведенные экспериментальные значения скоростей получены по двум взаимно перпендикулярным горизонтальным осям





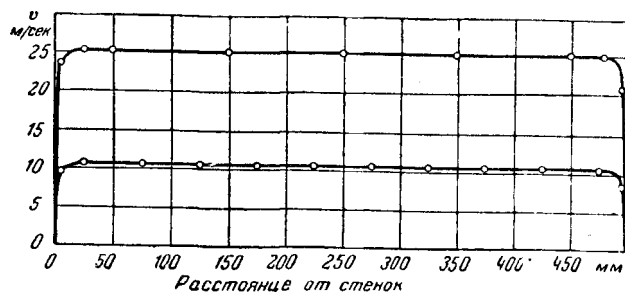


Рис. 2. Распределение скоростей в поперечном сечении прямоугольного сопла с лемнискатным входом при

$$k = \frac{v_{ср}}{v_{макс}} = 0,984.$$

в одном сечении и в соответственных точках одинаковы. Из рисунка видно, что скоростное поле по всему сечению лемнискаты достаточно равномерно. Средняя скорость определялась путем планиметрирования кривой скорости.

Одновременно с измерением динамического напора измерялся и статический напор в лемнискатном сопле. Разница в величинах скоростей воздуха, определенных обоими способами, составляет всего 0,3%.

Были проведены специальные тарировочные опыты по определению расхода воздуха по трубке Прандтля и по статическому напору в лемнискатном сопле при разных нагрузках вентилятора. Соответствующий сравнительный график приведен на рис. 3. Как видно из графика, расхождение в определении значений расхода воздуха обоими способами не имеется.

Для проверки целесообразности установки лемнискатного сопла в отношении расхода электроэнергии на собственные нужды были проведены опыты по определению сопротивления сети при палиции лемнискатного сопла и без него.

Оказалось, что при установке (на входе воздухопровода) лемнискатного сопла сечением  $0,5 \text{ м}^2$  с соответствующим переходным патрубком сопротивление сети уменьшается при данных конкретных условиях на 1—3 мм вод. ст. по сравнению с сопротивлением сети без лемнискатного сопла при неорганизованном входе потока в воздухопровод.

Экспериментальная проверка лемнискатного сопла с камерой торможения, установленной на одном из участков газопровода, показала, что даже при ее установке на заведомо неблагоприятных участках в отношении равномерности распределения скоростей по сечению, расхождение между измеренными количествами воздуха, полученными по разности статических давлений в сопле и в камере торможения и трубкой Прандтля (с соответствующей тарировкой сечения), составляет приблизительно 7%, в широком диапазоне расходов газа при расхождении между значениями скоростей в отдельных точках сечения до 30%.

Установка лемнискатного сопла на каком-либо участке газопровода вызовет некоторое увеличение сопротивления сети. Однако, оно может быть сведено к небольшим относительным и даже абсолютным значениям при правильном конструировании лемнискатного сопла и переходных па-

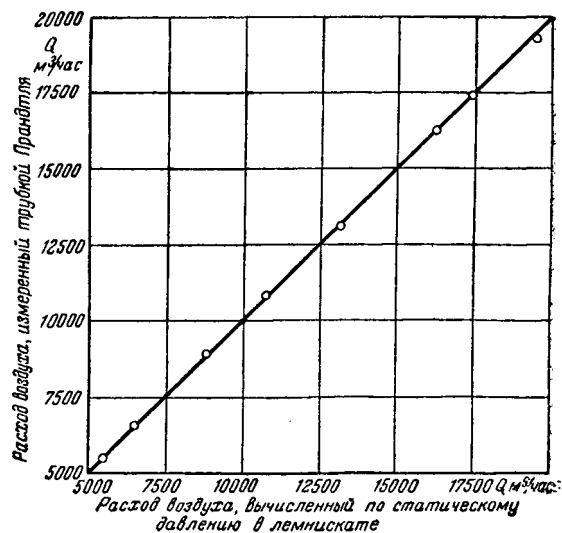


Рис. 3. Сравнительный график определения расхода воздуха трубкой Прандтля и по статическому давлению в лемнискатном сопле.

трубков. Например, при установке лемнискатного сопла (с размерами, указанными на рис. 1,б) с соответствующими переходными патрубками к круглому газопроводу при скорости потока 19 м/сек, сопротивление ее равнялось ~2 мм вод. ст.

### Рекомендуемые способы измерения расходов воздуха и газа

Для измерения расходов воздуха можно рекомендовать следующие способы:

1. Количество холодного воздуха, поступающее в воздухоподогреватель, наиболее просто определяется при помощи лемнискатного сопла, установленного в начале всасывающего воздухопровода.

2. Общее количество первичного воздуха и количество газозвушной смеси за циклоном при прямоугольном коробе следует измерять при помощи лемнискатного сопла. В случае круглых воздухопроводов можно устанавливать сопло с соответствующими переходными патрубками. Если же по местным условиям невозможно поставить правильно выполненные переходные патрубки и они будут иметь повышенные сопротивления, то измерения следует производить пневмометрическими трубками.

3. Расходы вторичного воздуха и расходы аэросмеси по отдельным горелкам в зависимости от конкретных условий должны измеряться либо при помощи лемнискатного сопла (где это возможно), либо пневмометрическими трубками.

4. Количество газо-воздушной смеси перед сушильно-мельничной системой целесообразно измерять при помощи лемнискатного сопла (при  $t'_{см} \leq 400^\circ \text{C}$ ) или охлаждаемых пневмометрических трубок (при  $t'_{см} \geq 400^\circ$ ).

5. Измерения объемов продуктов сгорания желательно производить при помощи лемнискатных сопел, устанавливая их, по возможности, на прямых участках. Можно ожидать хороших ре-

зультатов при установке лемнискатного сопла на выходе из газоочистительных устройств. Такая установка, однако, экспериментально еще не опробована.

Ниже приводятся выражения для вычисления динамического напора, по которому определяется расход газа для различных случаев установки лемнискатных сопел и способов измерения статических давлений:

1. При установке лемнискатного сопла в начале всасывающего воздухопровода (рис. 1, а) выражение динамического напора будет:

$$\Delta P_d = \frac{\gamma_a v_{II}^2}{2g} = H_{II} - \Delta P_{пот} \text{ мм вод. ст.},$$

где  $\Delta P_d$  — динамический напор, мм вод. ст.;

$H_{II}$  — статический напор, мм вод. ст.;

$\gamma_a$  — удельный вес окружающего воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta P_{пот}$  — сумма потерь, мм вод. ст.

Индексы II относятся к сечению II-II, в котором производится измерение (рис. 1). Аналогично индексы I относятся к сечению I-I. Нивелирные высоты рассматриваемых сечений сравниваются с уровнем, в котором замерено барометрическое давление.

2. При установке лемнискатного сопла на каком-либо участке газовоздухопроводов и при измерении разности статических давлений в камере торможения потока (рис. 1, б) и на ее прямом участке

$$\Delta P_d = \frac{\gamma_a v_{II}^2}{2g} = \Delta P_{ж} - \Delta P_{пот} + (\gamma_a - 2\gamma_2)(y_{II} - y_I) \text{ мм вод. ст.},$$

где  $\Delta P_{ж} = (\gamma_{ж} - \gamma_a) \Delta h$  — показание тягомера, мм вод. ст.;

$\Delta P_{пот}$  — сумма потерь, мм вод. ст.;

$\gamma_2$  — удельный вес протекающего газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_a$  — удельный вес окружающего воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$y_{II} - y_I$  — разность нивелирных высот между точками измерения, м.

3. При установке лемнискатного сопла на каком-либо участке газовоздухопроводов и при измерении разности статических давлений перед ней и на ее прямом участке

$$\Delta P_d = \frac{\gamma_a v_{II}^2}{2g} = [\Delta P_{ж} - \Delta P_{пот} + (\gamma_a - 2\gamma_2)(y_{II} - y_I)] \times \frac{1}{1 - \alpha^2} \text{ мм вод. ст.},$$

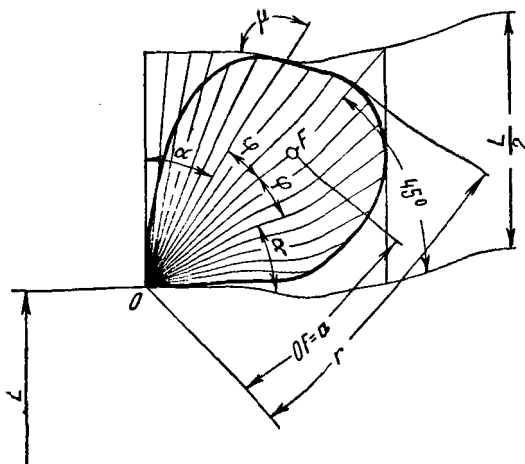


Рис. 4. Построение лемнискаты.

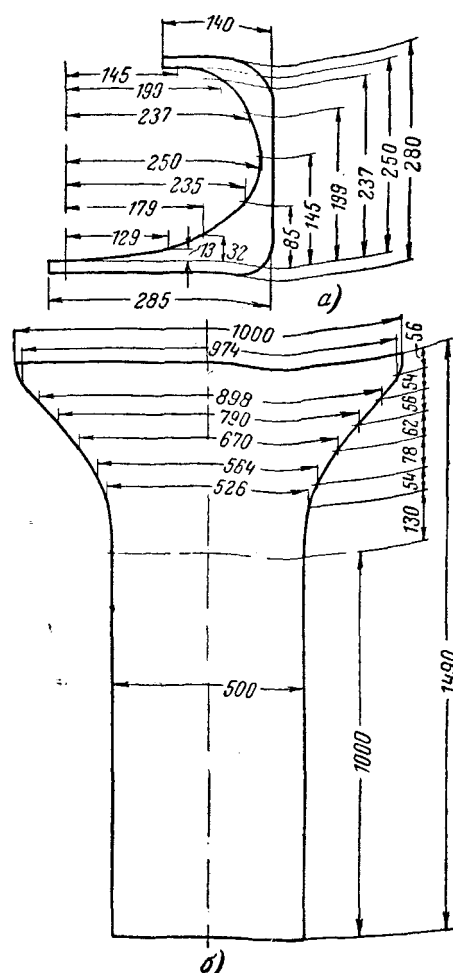


Рис. 5. Развертка лемнискатного сопла соответственно рис. 1, а и шаблон для его изготовления.

а — шаблон для изготовления сопла; б — развертка одной стенки сопла.

где  $\alpha = \frac{f_{II}}{f_I}$  есть отношение соответствующих сечений.

Величина  $\Delta P_{пот}$  представляет собой потери при входе в сопло, потери на трение на ее прямом участке до точки измерения и потери на

вихреобразование в камере торможения. Коэффициент сопротивления входа лемнискатного сопла и потери на трение очень малы. Практически можно не учитывать и потери на вихреобразование в камере торможения. Поэтому средний динамический напор в каком-либо сечении лемнискатного сопла равен статическому напору в этом же сечении, если нет больших погрешностей в измерениях.

При измерении соответственно третьему случаю нужно иметь в виду, что при близком расположении штуцера к входному сечению сопла ( $< 0,5$  м) могут быть погрешности в измерении статического давления.

Во всех случаях установок лемнискатных сопел подсчет средней скорости потока  $v$  следует производить по формуле

$$v = 4,43 \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\gamma}}.$$

Из приведенных выше способов измерения количеств воздуха и газа вытекает, что применение лемнискатных сопел в эксплуатационных условиях позволяет достаточно просто и надежно составлять воздушный баланс котельного агрегата.

Измерение продуктов сгорания при помощи лемнискатных сопел также позволяет надежно и просто определять избытки воздуха в месте измерения, зная расход топлива или паропроизводительность котла, параметры пара, состав топлива и к. п. д. установки. Если известны избытки воздуха в месте измерения количества продуктов сгорания (при равномерном распределении  $\alpha$  по всему сечению) и состав топлива, то можно определить расход топлива и к. п. д. установки.

Путем несложных преобразований известных соотношений между значениями характеристик продуктов сгорания получается простая зависимость между действительными избытками воздуха в продуктах сгорания, их количеством и количеством сожженного топлива в любой точке котельного агрегата, где производится измерение дымового газа. Эта зависимость имеет следующее простое выражение:

$$\alpha = a + b \frac{V_2}{B},$$

где  $\alpha$  — коэффициент избытка воздуха;

$$a = 1 - 0,984 \frac{V_{сг}^{мин} + V_{вп}^{мин}}{V_0},$$

$V_{сг}^{мин}$  — теоретический объем сухих газов,  $нм^3/кг$ ;

$V_{вп}^{мин}$  — теоретический объем водяных паров,  $нм^3/кг$ ;

$V_0$  — теоретически необходимый расход воздуха,  $нм^3/кг$ ;

$$b = \frac{0,984}{V_0},$$

$V_2$  — измеренное количество продуктов сгорания,  $нм^3/час$ ;

$B$  — расход топлива,  $кг/час$ .

В случае, когда расход топлива непосредственно не определяется, можно вычислить его из теплового баланса котельного агрегата.

## Практический способ построения лемнискаты

Построение лемнискаты квадратного сечения (рис. 4). Обозначим стороны квадрата прямого участка патрубка через  $L$ . Затем примем сторону квадрата, в который заключена одна ветвь лемнискаты, равной  $\frac{L}{2}$  (такое соотношение принято на основании длительной экспериментальной практики котельной лаборатории ВТИ, при которой лемниската дает хорошее распределение скоростей).

Принимаем  $\varphi = 15^\circ$ , а угол  $\alpha = 30^\circ$  (это вытекает из равенства  $\mu = \frac{\pi}{2} + 2\varphi$ , справедливого

для лемнискаты). Для угла  $\alpha$  вычисляем значение  $r$  и фокусное расстояние  $OF$ . Затем разбиваем область, ограниченную лемнискатой, на равномерное число секторов, например через каждые 5 или  $10^\circ$ , и вычисляем для них соответствующие величины отрезков  $r$ . По полученным значениям  $r$  и соответственным углам нетрудно построить кривую лемнискаты.

На основании построенной лемнискаты для изготовления лемнискатного сопла необходимо вычертить шаблон и развертку. На рис. 5 приведены примеры развертки лемнискатного сопла и шаблона для его изготовления.

Построение лемнискаты прямоугольного сечения. Последние экспериментальные данные показывают, что хорошее распределение скоростей получается также и в лемнискатных соплах с прямоугольным входом. Например, котельной лабораторией ВТИ применялись лемнискатные сопла прямоугольного сечения с размерами  $0,75 \times 0,36$  и  $0,33 \times 0,13$  м.

Стороны квадратов, в которых строятся ветви лемнискаты, принимаются равными  $\frac{L}{2}$  для всех четырех сторон, где  $L$  — большая сторона прямоугольника. Остальное построение совпадает с предыдущим.

Кроме описанного способа построения лемнискаты существуют и другие, например, графический способ (см. справочники по математике).

Таким образом, постоянный контроль за расходом воздуха по отдельным каналам следует считать обязательным при эксплуатации современных котельных агрегатов. Такой контроль в большинстве случаев просто и надежно осуществляется использованием лемнискатных сопел прямоугольного сечения.

Установка необходимого количества измерительных лемнискатных сопел должна предусматриваться при проектировании газозовоздухопроводов котельного агрегата.



# Схема пылеприготовления со сбросом всего сушильного агента через холостые горелки

Инж. С. Е. Шицман

Многолетний опыт эксплуатации пылеугольных котлов с пылеприготовлением по схеме с промежуточными бункерами выявил как положительные, так и отрицательные стороны этих установок. Схема пылеприготовления с промежуточными бункерами на котельных агрегатах средней и большой мощности обеспечила в общем надежную работу котлов, возможность применения крупных сушильно-мельничных систем и сокращение их количества, безопасную работу сушильно-мельничных систем на всех углях при соблюдении правил взрывобезопасности.

В то же время эксплуатация выявила серьезные недостатки схемы пылеприготовления с промежуточными бункерами, обусловленные тесной связью между воздушным режимом сушильно-мельничных систем и воздушным режимом топки и воздухоподогревателя при замкнутом цикле пылеприготовления, в особенности на влажных углях.

В связи с этим в эксплуатационных условиях нарушаются оптимальные режимы работы как сушильно-мельничных систем, так и котельных агрегатов. Топочный режим ведется при переменных и несоответствующих расчетным условиям: количестве и соотношении первичного и вторичного воздуха, их скоростях и температурах, а также при переменной тонкости и влажности пыли. Пропуск воздуха через воздухоподогреватели бывает меньше расчетных величин вследствие значительного количества холодного воздуха, поступающего через сушильно-мельничные системы в топку в виде присосов или в качестве добавки к горячему воздуху перед вентиляторами первичного воздуха.

В результате эксплуатационный к. п. д. котельных агрегатов и удельный расход электроэнергии на пылеприготовление значительно хуже парадоксных величин, получаемых при испытаниях.

В связи с указанными недостатками в последнее время предлагаются схемы пылеприготовления по разомкнутому циклу для высоковлажных бурых углей с применением шахтных мельниц.

Однако, схема пылеприготовления с промежуточными бункерами может быть серьезно улучшена при устройстве сброса всего сушильного агента через холостые горелки и использовании в качестве первичного сухого, горячего воздуха.

## Преимущества новой схемы пылеприготовления для влажных углей

На рис. 1 показана принципиальная схема пылеприготовления со сбросом всего сушильного агента через холостые горелки и с подачей пыли в топку сухим горячим воздухом для влажных

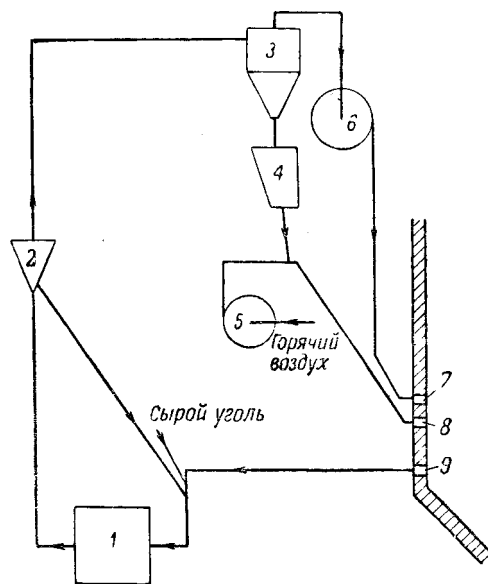


Рис. 1. Схема пылеприготовления со сбросом сушильного агента через холостые горелки для влажных углей.

1 — мельница; 2 — сепаратор; 3 — циклон; 4 — промежуточный бункер; 5 — вентилятор первичного воздуха; 6 — мельничный вентилятор; 7 — холостые горелки; 8 — основные горелки; 9 — забор газов.

углей, требующих высокой начальной температуры сушильного агента. Сушка угля производится газами, отбираемыми из топки. Температура газов в газозаборном окне обычно находится в пределах 600—750° С.

## Температурный режим топки

При сбросе сушильного агента с низкой температурой 60—80° С, пониженным содержанием кислорода и повышенным содержанием водяных

паров через холостые горелки, расположенные выше рабочих горелок, в зоне рабочих горелок и в нижней части топки температура факела должна повышаться. При свободном выборе оптимального соотношения между первичным и вторичным воздухом и их выходных скоростей создается возможность уменьшить в нижней части топки избыток воздуха, необходимый для достижения требуемой полноты горения.

Так, на одной из грес Мосэнерго на подмосковном угле при центральном пылезаводе и горячем первичном воздухе<sup>1</sup> удается работать с избытками воздуха в точке 1,05—1,10. На других же станциях на подмосковном угле, где первичным воздухом служит сушильный агент, избыток воздуха в топке составляет 1,2—1,25 и выше.

Повышение температуры в нижней части топки не только обеспечивает повышение к. п. д. топки, но и создает возможность организации жидкого шлакоудаления во всех случаях, когда это целесообразно.

В верхней зоне топки — выше холостых горелок, в связи со сбросом сушильного агента должна снижаться температура газов, чем создаются условия для предупреждения шлакования кипящего пучка и перегревателя. Со сбросом уносится очень тонкая угольная пыль (размер частиц до 50—60 м), и в верхней зоне топки может быть обеспечено ее полное сгорание.

Следует отметить, что с целью создания двух зон в топке с различными температурами факела ЦКТИ было ранее предложено<sup>2</sup> при сжигании высоковлажных топлив производить сброс газов из сушильной трубы при трехвентиляторной схеме пылеприготовления в особую камеру смещения над собственно топочной камерой. По расчетам авторов предложения, такое решение позволяет увеличить в 2,5 раза тепловую нагрузку суммарного объема топки и камеры смещения.

### Воздушный баланс топки

При схеме со сбросом сушильного агента в топку через холостые горелки сушка топлива и вентиляция сушильно-мельничных систем должна производиться только дымовыми газами.

При сушке топлива дымовыми газами в топку поступает максимальная доля воздуха для горения — через рабочие горелки, в качестве первичного и вторичного воздуха. Только небольшая часть воздуха, представляющая собой присосы в сушильно-мельничных системах, поступает в топку через сбросные горелки.

Выполненный автором расчет воздушного баланса топки применительно к котельному агрегату 160/200 т/час на подмосковном угле при работе двух сушильно-мельничных систем производительною по 35 т/час дал следующие результаты:

<sup>1</sup> Пример этой станции в данном случае недостаточно показателен, так как при ее разомкнутой схеме пылеприготовления сушонка сгорает во всей топке, т. е. условия горения значительно благоприятнее, чем в описываемой схеме. Ред.

<sup>2</sup> М. А. Стырикович и И. Б. Барштейн, Новый цикл сжигания высоковлажных топлив, «Советское котлостроение», № 1, 1937 г.

	Нагрузка 160 т/час	Нагрузка 200 т/час
Присосы в сушильно-мельничной системе . . . .	80 %	80%
Количество присосанного воздуха, сбрасываемого через холостые горелки	28 000 м <sup>3</sup> /час	28 000 м <sup>3</sup> /час
То же в процентах от необходимого для горения воздуха . . . . .	16,2%	13,3%
Количество топлива, поступающего в топку через холостые горелки (при к. п. д. циклона 90%) . .	7 т/час	7 т/час
То же в процентах от всего расхода топлива . . . .	15,7%	12,4%

Приведенные результаты расчета показывают, что количество воздуха и угольной пыли, поступающие в топку через холостые горелки, практически соответствуют друг другу.

### Воспламенение и устойчивость горения факела

Использование сухого горячего воздуха в качестве первичного дает дополнительную сушку и нагревание угольной пыли перед поступлением ее в горелки. Поэтому должна сократиться фаза воспламенения пыли и за счет этого будет достигнута повышение тепловой нагрузки топки.

Устойчивость горения факела при пониженных нагрузках топки повышается, что является существенным фактором повышения надежности и экономичности работы котлов. На повышение устойчивости горения факела благоприятно сказывается не только повышение температурного уровня в нижней части топки<sup>3</sup>, но и возможность выбора и поддержания оптимальных выходных скоростей первичного и вторичного воздуха при пониженных нагрузках топки.

### Работа питателей пыли

Существующая конструкция шнековых питателей пыли не обеспечивает в эксплуатационных условиях надлежащей равномерности подачи пыли. Это связано с различной степенью износа отдельных питателей, неодинаковыми условиями притекания пыли из бункера к питателям, колебаниями влажности пыли, подпором давления и присосом воздуха в питатели из пылепроводов, неустойчивой характеристикой двигателей питателей. Неравномерность подачи пыли отрицательно сказывается на экономичности топочного процесса вследствие нарушения оптимального соотношения воздух—топливо по отдельным горелкам и возникновения тепловых перекосов по ширине топки. Это обстоятельство особенно неблагоприятно отражается на работе котлов с высокими параметрами пара и на устойчивости автоматического регулирования процесса горения.

При подаче пыли в топку горячим воздухом улучшаются условия работы питателей пыли благодаря возможности обеспечения постоянной

<sup>3</sup> Возможность повышения температур и, следовательно, снижения избытка воздуха в нижней части топки может быть ограничена условиями шлакования. Ред.

влажности пыли и уменьшения давления в пылепроводах. Однако, этим еще не устраняется полностью неравномерность подачи пыли питателями. Эту неравномерность подачи практически трудно контролировать по изменению давления аэропыли перед горелками, так как давление аэропыли перед горелками часто неодинаковое и пульсирующее.

При использовании горячего воздуха в качестве первичного имеется возможность для углей с высокой гигроскопической влажностью пыли осуществить надежно и просто контроль равномерности подачи пыли питателями по температуре аэросмеси. На одной грэс Мосэнерго на подмосковном угле при температуре первичного воздуха 230°С и влажности угольной пыли 15—16% температура аэропыли перед горелками падает до 70—80°С. Опытами было установлено, что неравномерность температуры аэропыли в 1° соответствует неравномерности в производительности питателей пыли около 3%. Таким образом, по показаниям встроенных термометров сопротивления имеется возможность подрегулировать равномерность подачи пыли питателями.

### Работа вентиляторов первичного воздуха

Надежность работы вентиляторов первичного воздуха непосредственно определяет и надежность работы котла. Остановка вентилятора первичного воздуха требует выключения связанных с ним питателей пыли и горелок и вызывает соответствующее снижение нагрузки агрегата. Вследствие содержания в сушильном агенте пыли, неудовленной в циклонах, высоконапорные и высокооборотные вентиляторы мельничных систем подвержены значительному износу. Срок службы крыльчаток мельничных вентиляторов и вентиляторов первичного воздуха, работающих на сушильном агенте, составляет 1,5—2 мес. Кроме того, вследствие увеличения вибрации высокооборотных вентиляторов по мере износа крыльчаток требуется частая их балансировка и имеет место повышенный износ подшипников. Значительное количество аварий и неполадок в работе пылеприготовительного оборудования обусловлено вентиляторами. Работа вентиляторов первичного воздуха на чистом воздухе протекает без указанных недочетов.

Нормально на всех работающих агрегатах одна или несколько сушильно-мельничных систем не работают и находятся в резерве или ремонте. При существующих схемах приходится подавать пыль к горелкам холодным воздухом, иногда с подмешиванием небольшого количества горячего воздуха, так как вентиляторы рассчитаны для постоянной работы на отработавшем сушильном агенте с температурой до 100°С. Вследствие этого на отдельных агрегатах недоиспользуются воздухоподогреватели из-за пониженного пропуска через них воздуха и повышается температура уходящих газов.

На одном из котлов грэс Мосэнерго были установлены одна мельница и два вентилятора первичного воздуха. Один из вентиляторов всегда работал на воздухе. Вентилятор типовой и допу-

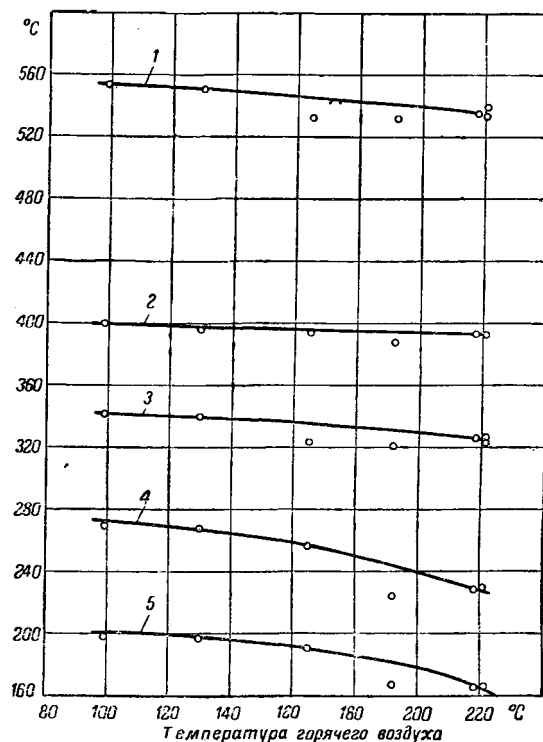


Рис. 2. Изменение режима работы котельного агрегата 160 т/час при повышении температуры первичного воздуха.

1 — температура газов за котлом; 2 — перегретый пар;  
3 — газы за водяным экономайзером; 4 — горячий воздух;  
5 — уходящие газы.

скал температуру воздуха только до 100°С. Поэтому он засасывал воздух из котельной с небольшой добавкой горячего воздуха.

С целью повышения допустимой температуры воздуха вентилятор был реконструирован. Вал вентилятора был удлинен на 100 мм и на это расстояние были отнесены от подшипника ступица с крыльчаткой и кожух вентилятора. Это позволило поднять допустимую температуру воздуха до 230°С. Специальными опытами было выявлено влияние повышения температуры первичного воздуха, путем подмешивания горячего воздуха, на изменение режима работы агрегата при постоянной нагрузке 160 т/час (рис. 2). При увеличении температуры первичного воздуха со 100 до 220°С температура уходящих газов снизилась с 200 до 165°С за счет уменьшения подачи в топку холодного воздуха из котельной и соответствующего увеличения пропуска воздуха через воздухоподогреватель.

Для котла высокого давления Таганрогского завода производительностью 230 т/час при работе на подмосковном угле и с одной сушильно-мельничной системой получается согласно выполненному расчету уменьшение количества воздуха, протекающего через воздухоподогреватель, на 15,8%, если вентилятор работает на смеси горячего и холодного воздуха в 200°С, и на 20,8%, если вентилятор допускает температуру смеси только 130°С (согласно техническим условиям). Так как вторая ступень воздухоподогревателя находится в зоне относительно высоких температур дымовых газов, то при уменьшении пропуска воздуха трубчатые воздухоподогреватели подвергаются опасности коробления и перегрева.

При одновентиляторной схеме мощность мельничного вентилятора в несколько раз превышает действительно необходимую мощность для подачи пыли в топку. Поэтому использование мельничного вентилятора в качестве вентилятора первичного воздуха, когда мельница не работает, вызывает также значительный перерасход электроэнергии.

Очевидно, что при схеме с постоянной работой вентилятора первичного воздуха на горячем воздухе отпадают указанные источники понижения экономичности и надежности работы отдельных элементов котельных агрегатов. Количество первичного воздуха может быть выбрано минимальным по условиям пневмотранспорта и оптимального топочного режима. В связи с этим сокращается необходимая производительность вентиляторов первичного воздуха и диаметр пылепроводов. Вентиляторы должны быть рассчитаны на дополнительный напор сверх давления в коробе вторичного воздуха и на температуру воздуха до 350—400° С. Последнее обстоятельство предъявляет специальные требования к конструкции вентиляторов первичного воздуха, в частности, требует усиленного охлаждения подшипников.

Следует отметить, что схема может быть упрощена путем полного отказа от установки вентиляторов первичного воздуха и использования напора дутьевых вентиляторов для подачи пыли к горелкам. Такая возможность может быть реализована при уменьшении сопротивления пылепроводов и горелок за счет соответствующей компоновки котельной и применения горелок с малым сопротивлением по первичному воздуху.

### **Работа мельниц**

В существующих установках для подачи пыли в топку затрачивается напор 300—350 мм вод. ст. При сбросе сушильного агента через холостые горелки требуется затратить для сброса 50—100 мм. Выигрыш в напоре в размере 200—300 мм вод. ст. позволяет при тех же вентиляторах увеличить вентиляцию или концентрацию угля в сушильно-мельничных системах, увеличить производительность мельниц при влажных топливах. Производительность мельниц не ограничивается пропускной способностью пылепроводов и горелок и не снижается при необходимости отключения отдельных пылепитателей для чистки с отключением соответствующих пылепроводов.

На практике вследствие недостаточной пропускной способности пылепроводов и горелок часто прибегают к частичному сбросу сушильного агента через холостые горелки.

### **Применение новой схемы пылеприготовления для тощих углей и АШ**

Можно предполагать, что указанные выше преимущества новой схемы для влажных углей отчасти относятся также к тощим углям и АШ. Однако, наиболее существенным преимуществом новой схемы пылеприготовления для углей с малым выходом могло бы явиться более быстрое воспламенение пыли, повышение устойчивости горения факела и более полное сгорание пыли

при заданной тепловой нагрузке топки<sup>6</sup>. Особенно большие возможности для повышения эффективности сжигания тощего угля и АШ открываются при удовлетворительном решении вопроса использования напора дутьевых вентиляторов или установки самостоятельных дутьевых вентиляторов с отдельным воздухоподогревателем для подачи пыли к горелкам. В этом случае оказалось бы возможным применять высокоподогретый первичный воздух для подачи пыли в топку, обеспечивающий тепловую подготовку топлива на пути от питателей пыли до топки.

### **Конструктивное выполнение новой схемы**

Конструктивно схемы со сбросом всего сушильного агента через холостые горелки могут оформляться различно. Холостые горелки можно расположить на тех же стенках топки, что и рабочие горелки, или перпендикулярно к рабочим горелкам. Опытным путем должна быть установлена возможность расположения холостых горелок на фронтальной стенке топки; такое расположение обеспечивает минимальную длину сбросных пылепроводов. Скорость сушильного агента в сбросных пылепроводах и в холостых горелках желательно выбирать минимальной в пределах 15—20 м/сек, что, однако, необходимо проверить в эксплуатации. В сбросных пылепроводах не должно быть мертвых углов и тупиков, где могла бы оседать пыль.

Схема допускает установку любых типов мельниц, применяемых в настоящее время, — барабанно-шаровых, пневматических системы ВТИ и шахтных мельниц, в зависимости от рода топлива.

Схема со сбросом всего сушильного агента через холостые горелки и с подачей пыли к горелкам горячим воздухом запроектирована Проектно-конструкторским бюро Мосэнерго и осуществляется на двух вновь устанавливаемых на подмосковном угле котлах паропроизводительностью по 100 т/час. Схема пылеприготовительной установки и ее компоновка показаны на рис. 3. На каждый котел устанавливается одна барабанно-шаровая мельница типа 287/470 с расчетной производительностью 35 т/час и один мельничный вентилятор типа ВМ-75/1200. Мельница снабжена сушильной трубой с коротким подъемным участком высотой 1,6 м и с нисходящим участком длиной около 3,5 м. Газы для сушки отбираются из нижней части топки.

Мельничным вентилятором сушильный агент сбрасывается в топку по четырем пылепроводам диаметром 450 мм через сбросные горелки. Расчетная скорость в сбросных пылепроводах 30 м/сек. Сбросные горелки расположены по четырем углам топки над рабочими горелками на сравнительно небольшой высоте — всего 1,4 м. Выходная скорость из сбросных горелок 20 м/сек.

Для подачи пыли к рабочим горелкам устанавливаются два вентилятора первичного воздуха (из них один резервный). Производительность

<sup>6</sup> Эффективное влияние температуры аэросмеси на указанные стадии горения исследовано и подтверждено рядом работ ВТИ.

каждого вентилятора 32 000 м<sup>3</sup>/час, напор 300 мм при температуре воздуха 250° С. В качестве вентиляторов первичного воздуха выбран консольный дымосос типа Д-40/200. Количество первичного воздуха составляет 15% от всего необходимого для горения воздуха и 20% от всего воздуха, поступающего через рабочие горелки.

Подача пыли производится по восьми пылепроводам диаметром 200 мм к рабочим горелкам и двумя пылепроводами диаметром 150 мм к муфельным горелкам. Рабочие горелки щелевого типа расположены по углам топки в два яруса. Муфельные горелки расположены с фронта. Расчетная выходная скорость в рабочих горелках составляет для первичного воздуха 22 м/сек.

Описанная схема пылеприготовления применяется впервые, поэтому в процессе наладки и эксплуатации установки могут потребоваться изменения приведенных расчетных параметров.

### Заключение

Схема пылеприготовления со сбросом сушильного агента через сбросные горелки и с подачей пыли к рабочим горелкам горячим воздухом создает условия для серьезного улучшения работы ряда элементов котельного агрегата—топки, воздухоподогревателя, вентиляторов первичного воздуха, питателей пыли и мельниц.

При новой схеме, разработанной Мосэнерго, исключается ряд специфических отрицательных свойств замкнутого цикла и тем самым усиливаются положительные качества схемы с промежуточными пылевыми бункерами для котлов средней и большой мощности.

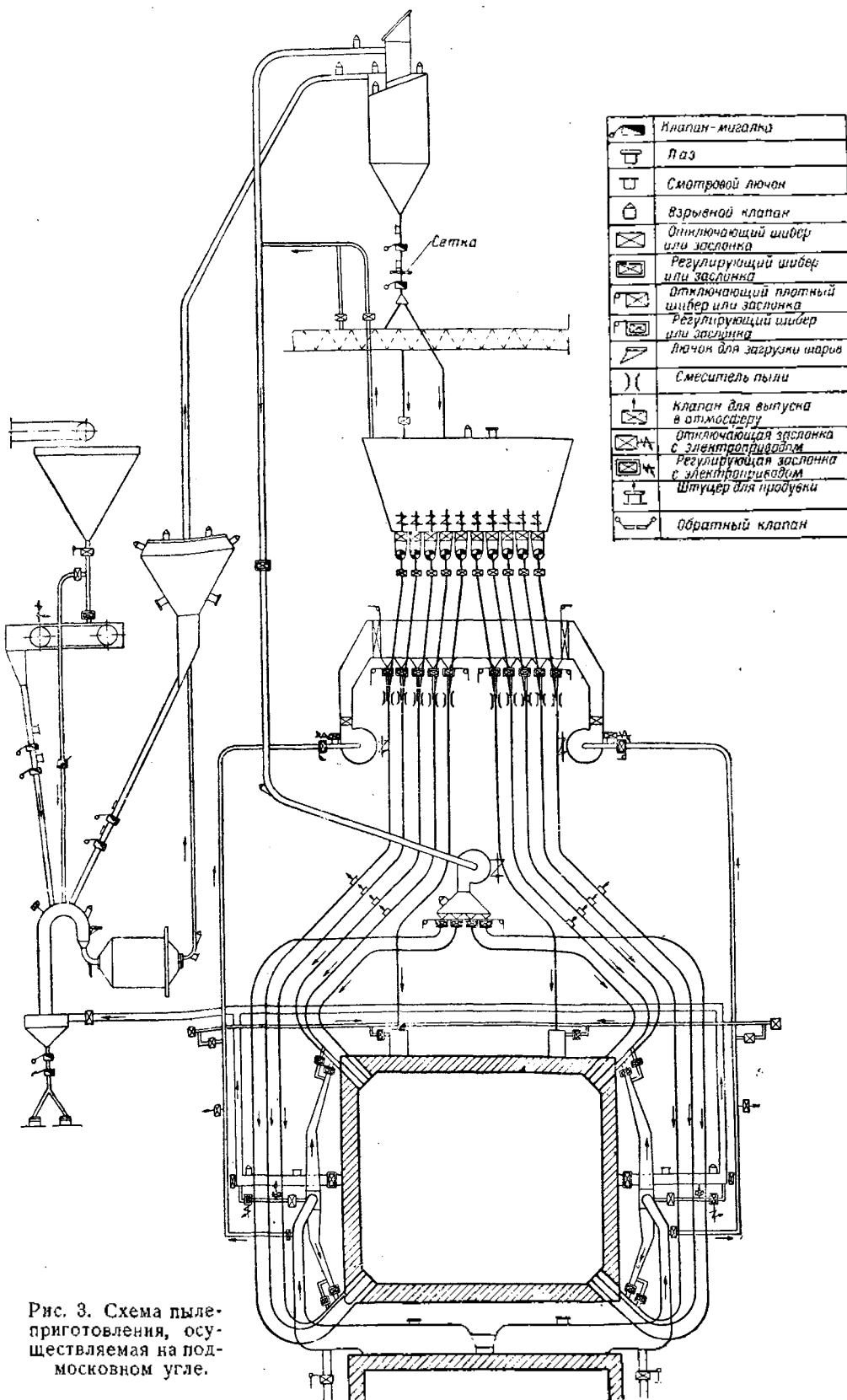


Рис. 3. Схема пылеприготовления, осуществляемая на подмосковном угле.

После проверки работы установки по новой схеме Мосэнерго на подмосковном угле, вводимой в эксплуатацию в ближайшее время, желательно произвести также проверку этой схемы на тошем угле или антрацитовом штыбе.



# Изоляция топочной камеры котла огнеупорным бетоном и матрацами

Инж. Ф. Г. Логунов

Конструктивные особенности футеровки топочной камеры котла огнеупорным бетоном и матрацами представляют большой интерес.

На одном паровом котле 90/110 т/час трестом Донбассэнерго в 1948 г. были проведены работы по изоляции топочной камеры пластичным огнеупорным бетоном и специальными матрацами из шлаковой и стеклянной ваты.

Котел имеет полностью экранированную топочную камеру. Экраны выполнены из труб диаметром 101, 6/91 мм, снабженных плавниками с шагом между осями труб 151 мм. Вся экранная система в этом котле, включая холодную воронку с каркасом и обшивкой, и все коллекторы закреплены лишь вверху. Нижние коллекторы боковых, фронтального и заднего экранов, а также холодная воронка с каркасом и изоляцией висят на вертикальных трубах экранов. Следовательно, удлинения труб почти всех

экранов при нагревании происходят только вниз. На рис. 1 показана схема экранов и даны численные значения удлинений для всех точек топочной камеры.

Второй конструктивной особенностью этого котла является покрытие труб с наружной стороны тонким слоем специального огнеупорного бетона (вместо кирпичной обмуровки), перемещающегося вместе с трубами при расширении. Таким образом, нагрузки, приходящиеся на верхние вальцовочные соединения экранных труб, будут значительными и складываются из веса: труб, нижних коллекторов, огнеупорного бетона, холодной воронки вместе с каркасом, бетоном, изоляцией и обшивкой, гарнитуры, закрепляемой на плавниках экранов, и т. д. Проектом реконструкции котла был предусмотрен зажигательный пояс на всех четырех стенах топочной камеры и, следовательно, добавлялся еще вес (около 22 т) кирпичей зажигательного пояса, подвешиваемых на экранных трубах.

Изоляция углов камеры сделана в виде угловых столбиков, состоящих частично из огнеупорной кладки и литого огнеупорного бетона, опирающихся на основной каркас топки и не связанных с экранами (рис. 2).

Наружная поверхность бетона на стенках топочной камеры и холодной воронки по проекту должна была покрываться специальными плитами сжимаемой изоляции и на угловых столбиках диатомом, укрепляемым обшивочными листами. Толщина слоя огнеупорного бетона на стенах топочной камеры составляет 50 мм за плавниками. Плиты сжимаемой изоляции в сжатом состоянии должны бы-

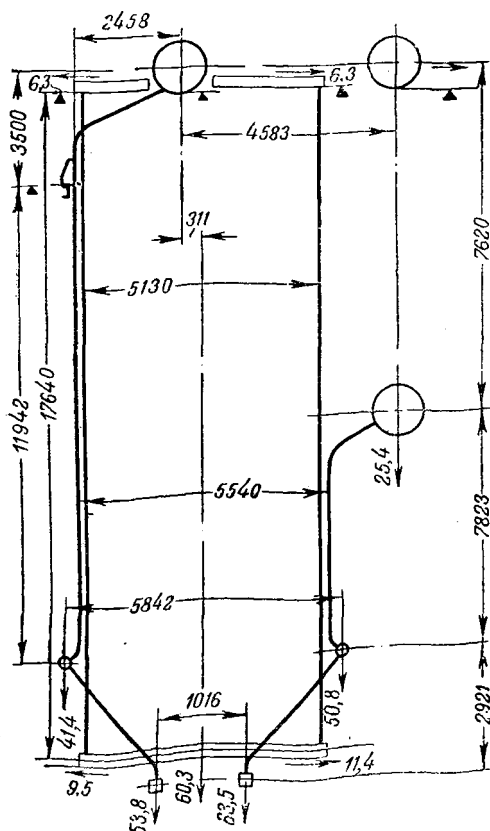


Рис. 1. Схема линейных расширений экранов.

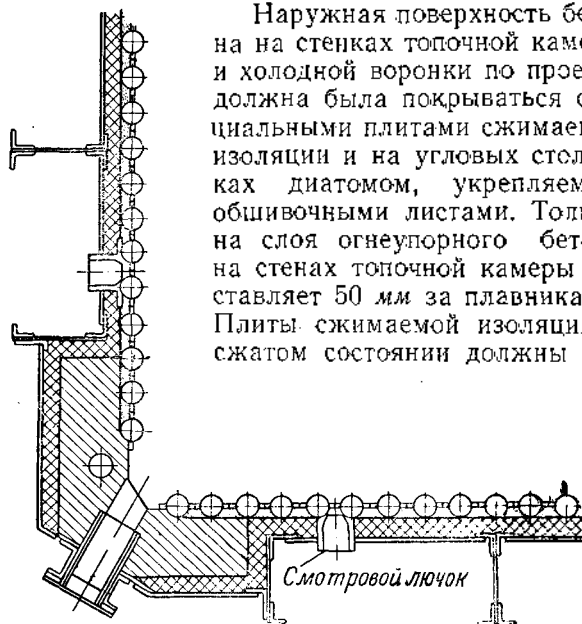


Рис. 2. Изоляция стенок топочной камеры.

ли иметь толщину 76 мм, а за стойками каркаса обшивки — даже 57 мм.

Бетон, применяемый для изоляции стен топочной камеры, должен обладать соответствующими огнеупорными свойствами, низким коэффициентом теплопроводности, значительной механической прочностью и пластичностью. Только при этих условиях слой бетона может быть небольшим, но обеспечивающим хорошую тепловую изоляцию топочной камеры.

Проектом предусматривалось применение огнеупорного бетона трех сортов, отличных по своей огнеупорности и пластичности: одного для выполнения угловых столбиков топочной камеры, а также изоляции коллекторов и барабанов; второго — для изоляции труб экранов тонким слоем с наружной стороны и третьего для нанесения тонким слоем (6 мм) на поверхность бетона, соприкасающегося с пламенем.

Однако, в распоряжении строительства имелся лишь бетон одного сорта, вызывавший к тому же сомнения в своем качестве, так как при изготовлении опытных образцов он хотя и схватывался но после высыхания крошился, трескался и рассыпался. В табл. 1 приведены результаты химического анализа этого бетона.

Таблица 1

Окислы	Валовой, %	Фракции крупнее 0,06, %	Фракции мельче 0,03, %
SiO <sub>2</sub> . . . . .	41,28	42,08	22,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO . . . . .	42,80	45,98	34,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	4,00	2,56	7,68
CaO . . . . .	7,75	Не определялся	14,32
MgO . . . . .	0,59	—	3,00
Прочие . . . . .	2,74	0,30	13,89
Итого . . . . .	99,56	97,92	95,90
Гигроскопическая влага	0,65	0,20	2,12

Минералогический анализ, выполненный для фракций от 0,075 до 0,06 мм, показал следующее содержание компонентов:

Зерна шамота . . . . .	22,8%
Непрозрачные зерна шамота . . . . .	43,0%
Глинистые агрегаты (бетонитовая глина) . . . . .	32,0%
Стекло . . . . .	2,0%
Кварц . . . . .	0,2%

В табл. 2 показан по данным исследований Орггрес гранулометрический состав взятых образцов бетона. Огнеупорность бетона невысока и составляет от 1310 до 1360° С.

Таблица 2

Величина зерен, мм	Количество зерен, %		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Больше 3 . . . . .	26,1	16,2	16,2
От 2 до 3 . . . . .	20,5	20,9	16,9
От 1 до 2 . . . . .	7,6	10,7	10,2
От 0,2 до 1 . . . . .	13,2	18,1	20,0
От 0,08 до 0,2 . . . . .	0,6	6,1	7,1
Меньше 0,08 . . . . .	31,1	26,9	23,6

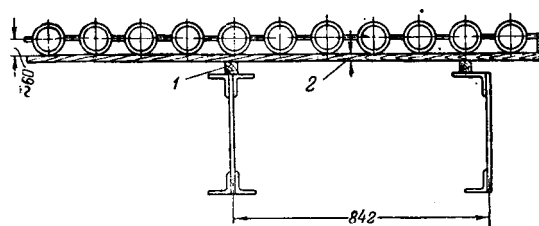


Рис. 3. Установка опалубки для заливки бетона на задней и фронтальной стенах топочной камеры.

1 — раскливающий брусок 40 × 32 мм; 2 — шпунтованные доски δ = 15 мм.

Основным компонентом примененного бетона является измельченный высокоглиноземистый шамот (бой высокоглиноземистых изделий). Связывающим веществом является бетонитовая глина и частично цемент, типа портландского. К этим компонентам добавлен тонкомолотый шлак для лучшего спекания материала в процессе работы.

Бетон готовится из четырех частей сухой массы по объему и одной части воды. Из бетона путем отливки из жидкой массы изготавливались в соответствии с проектом отдельные секции:

а) при изоляции коллекторов длина секций принималась до 457 мм, причем заливка бетона производилась через одну секцию;

б) при заливке углов топочной камеры — секциями высотой 762 мм;

в) при заливке стен за ребристыми трубами — секциями высотой до 1524 мм.

Для отливки бетона изготавливалась деревянная опалубка из строганных досок (рис. 3). Отлитые секции бетона подвергались медленной сушке при положительной температуре в течение 24 час. После этого опалубка снималась и переносилась на другое место.

Приготовление бетона производилось непосредственно у заливаемой ячейки. При бетонировании в условиях высоких температур необходимо покрыть поверхность бетона мокрыми мешками или периодически смачивать водой, а в холодных условиях следует защищать от мороза.

Тонкий слой огнеупорного бетона с относительно высоким коэффициентом теплопроводности совершенно недостаточен для тепловой изоляции стен топочной камеры. Температура наружной поверхности бетона ожидалась около 400° С. Дальнейшее снижение температуры стенки, а значит, и уменьшение тепловых потерь в окружающую среду намечалось достигнуть за счет плит сжимаемой изоляции.

Ввиду отсутствия предусмотренных проектом для изоляции топочной камеры плит сжимаемой изоляции необходимо было их заменить равноценными материалами.

В результате изучения этого вопроса Центроэнергомонотажом было предложено вместо плит сжимаемой изоляции поставить матрацы из шлаковой и стеклянной ваты, изготавливаемые по двум вариантам.

Первый вариант: матрац состоит из слоя шлаковой ваты с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,052 + 0,00013 t \text{ ккал/м час } ^\circ\text{C}$  и объемным весом 200—300 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 28 мм и слоя стеклянной ваты с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,034 + 0,0008 t \text{ ккал/м час } ^\circ\text{C}$  и объемным весом 100—170 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 25 мм. Сна-

ружи шлаковая и стеклянная вата обертывалась со всех сторон асбестовым картоном толщиной 5 мм и проволоочной сеткой. Для придания матрацу одинаковой толщины и плоской формы он прошивается стальной проволокой.

Второй вариант: матрац состоит из тех же основных материалов, но в отличие от первого варианта без металлической сетки.

Выбран был первый вариант и были изготовлены прессы, обеспечивающие быстрое изготовление необходимого количества матрацев. При этом оказалось, что матрацам, изготовленным по первому варианту, нельзя придать прямоугольную форму; края его получали овальную форму и при укладке их в стыках образовывались неплотности. Для устранения этого недостатка было решено ставить асбестовый картон и сетку только с боков матраца, причем торцевые части матраца оставались как бы обрезанными и незащищенными асбестом и сеткой. Практика показала, что при транспортировке и установке таких матрацев не происходило высыпания шлаковой и тем более стеклянной ваты.

Для изоляции топочной камеры требовались плиты 162 размеров. Совершенно ясно, что при станочном изготовлении матрацев нет возможности изготовить их с таким диапазоном размеров. После проверки возможности резать матрацы (перед установкой - на место) на части был принят только один размер их:  $0,5 \times 1,0 = 0,5 \text{ м}^2$  (рис. 4). Характеристика матрацев, использованных на котле, следующая:

Шлаковая вата . . . . .	5,2 кг
Стеклянная вата . . . . .	3,5 .
Асбест листовой $\delta = 5 \text{ мм}$ . . . . .	5,0 .
Сетка металлическая . . . . .	0,6 .
Общий вес матраца . . . . .	14,3 .
Размеры матрацев . . . . .	$1\,000 \times 500 \times (63-68) \text{ мм}$

Всего было изготовлено около 850 матрацев, а установлено около 1 000 шт. (часть изготовленных матрацев разрезалась на несколько частей).

Так как предполагалось, что температура поверхности бетона будет около  $400^\circ \text{С}$ , то мат-

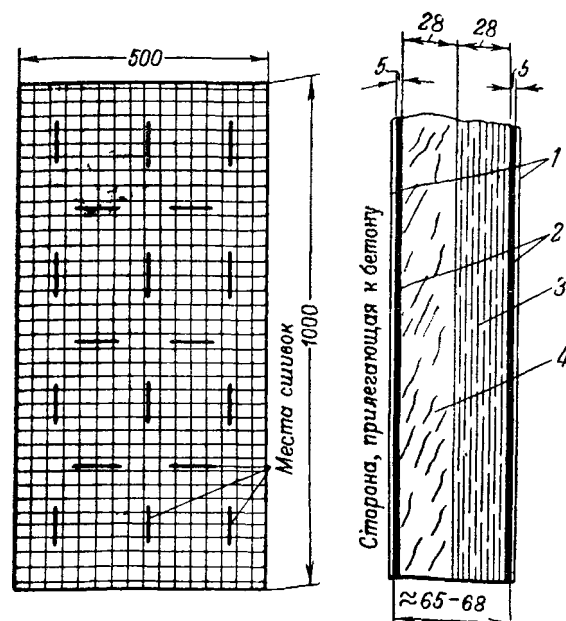


Рис. 4. Матрац для изоляции топочной камеры.

1 — металлическая сетка; 2 — асбестовый картон;  
3 — шлаковая вата; 4 — стеклянная вата.

рацы ставились стороной шлаковой ваты к бетону.

Сразу после установки матрацев ставились обшивочные листы.

## Выводы

1. Опыт работы котла в течение 9 мес. показал, что даже при малой прочности бетона и использовании изоляционных матрацев из шлаковой и стеклянной ваты изоляция топочной камеры остается все же надежной и вполне эффективной.

2. При изоляции топочной камеры огнеупорным бетоном и матрацами вместо кирпичной кладки резко сокращается объем обмуровочных работ. Вес уложенных материалов сократился с 400 до 50 т, т. е. в 8 раз.

3. Необходимо широко развернуть работы по изысканию специальных марок бетона, обладающего достаточными огнеупорностью, пластичностью и прочностью, для применения его вместо кирпичной кладки.



# Анализ схем установок, вырабатывающих сжатый воздух для воздушных выключателей<sup>1</sup>

Инж. Г. И. Семенов и инж. П. И. Юрьев

В статье инж. В. В. Афанасьева неправильно указано, что процесс осушки воздуха, производимый методом сжатия и последующего расширения, протекает по уравнению  $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{T_1}{T_2}$ .

Если бы расширение сжатого воздуха протекало действительно по указанному процессу, то температура воздуха значительно снижалась бы, в результате чего могло выделяться большое количество влаги.

Фактически процесс расширения происходит путем дросселирования при постоянной температуре по закону  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{P_2}{P_1}$ . При этих условиях

влаги не выделяется из воздуха, но уменьшается лишь относительная влажность его. Исходя из этого характера протекания процесса, дадим анализ эксплуатационной пригодности схем установок, приведенных т. Афанасьевым.

Для рационального применения схемы рис. 2 статьи инж. Афанасьева требуется, чтобы большую часть суток температура в компрессорной, где установлены ресиверы, была ниже, чем в распределительном устройстве. Осушка воздуха в этом случае происходит за счет изменения влагопоглощающей способности воздуха при разных температурах. Так, например, если в распределительном устройстве температура воздуха равна  $+15^\circ\text{C}$ , а в компрессорной — только  $+5^\circ\text{C}$ , то насыщенный влагой воздух при  $+5^\circ\text{C}$  содержит воды  $6,8 \text{ г/м}^3$ , а при  $+15^\circ\text{C}$  —  $12,8 \text{ г/м}^3$ . Воздух, поступая из ресивера в распределительное устройство, нагревается с  $5$  до  $15^\circ\text{C}$  и относительная влажность его, таким образом, изменяется в отношении  $6,8:12,8$ . Именно этим и объясняется в схеме рис. 2 отсутствие водосборников вдоль трассы и в помещении распределительного устройства.

Схема рис. 3 может применяться для тех же условий, что и схема рис. 2, причем место установки химического очистителя определяется местными условиями. Для открытых установок схема рис. 3 может применяться только там, где нет больших колебаний температур в течение суток и воздушные выключатели не требуют постоянной продувки (просушки).

<sup>1</sup> В порядке обсуждения статьи В. В. Афанасьева „Установки, вырабатывающие сжатый воздух для воздушных выключателей“, „Электрические станции“, № 3, 1948 г.

Схему рис. 4, чтобы сделать более пригодной для эксплуатации, необходимо дополнить установкой после редукторов резервуаров рабочего давления.

Схема рис. 5, приведенная автором и рекомендованная фирмой ВВС в 1938 г. для открытых подстанций, обладает почти всеми недостатками ранее рассмотренных схем рис. 2, 3 и 4, не имея в то же время никаких преимуществ. Например: если отделить внутреннее кольцо низкого давления ( $15 \text{ атм}$ ), то данная схема превращается в схему рис. 2, а последняя, как это было рассмотрено выше, применима только для закрытых распределительных устройств при условии обеспечения температуры воздуха в помещении компрессоров и ресиверов ниже, чем в распределительных устройствах.

Схема рис. 5 в случае выполнения ее на открытой подстанции требует прокладки воздухопроводов из некоррозийных материалов (медь, латунь). В условиях открытой подстанции применение данной схемы вследствие колебаний окружающей температуры вызывает в трубопроводах высокого давления выделение влаги в значительных количествах.

Крупным дефектом схемы ВВС (схема рис. 5) является наличие большого количества редукционных и обычных вентилях, установленных на открытой подстанции. Для предотвращения замораживания их в зимнее время требуется специальное электрическое обогревание.

Наличие у каждого выключателя собственного резервуара на повышенном давлении не позволяет, однако, считать, что выключатель располагает достаточным количеством резервного воздуха, так как редукторный вентиль дает этот резерв с запозданием в  $1,5\text{--}2 \text{ сек.}$ , что исключает возможность применения АПВ.

На первый взгляд изящное решение фирмы ВВС (отсутствие резервуаров на рабочем давлении, наличие большого количества резервного воздуха) оказывается совершенно непригодным в эксплуатации.

Стоимость воздушной установки фирмы ВВС (схема рис. 5) значительно дороже установки, приведенной на рис. 4, при отсутствии каких-либо эксплуатационных преимуществ перед последней.

Анализ показывает, что установка, выполненная по схеме рис. 6, может давать воздух наилучшего качества.



# Осушка воздуха и выбор давления в установках сжатого воздуха

Инж. Ф. И. Рапота

Для надежной работы установки сжатого воздуха и обслуживающей его аппаратуры очень важное значение имеет качество воздуха, поступающего в распределительную сеть и в пневматические устройства отключающей аппаратуры. Показателями, характеризующими качество воздуха, являются: давление, чистота и степень его сухости.

Для обеспечения работы привода и гарантируемой мощности выключателя необходимо, чтобы давление сжатого воздуха, при котором осуществляются операции, было не ниже установленной величины, определяемой типом аппаратуры. Так, например, при рабочем давлении воздуха 20 *ати* минимальное допустимое давление для выключателя не должно быть ниже 16—18 *ати* (в зависимости от его типа).

Механические примеси, которые могут появляться в сжатом воздухе, в результате, например, недостаточной очистки воздухопроводов после монтажа или коррозии стальных труб, попадая в регулирующие и управляющие механизмы, даже в виде мельчайших частиц пыли и ржавчины, являются причинами очень тяжелых аварий.

При недостаточной осушке воздуха влага может конденсироваться и оседать в трубах и арматуре и при низких температурах может в них замерзнуть. Наличие влаги является также причиной усиленной коррозии труб и арматуры.

## Осушка воздуха

Одним из существенных вопросов в установках сжатого воздуха является осушка его до того, как он поступит в сеть и в резервуары выключателя, и постоянное поддержание относительной влажности воздуха в сети на уровне, исключающем конденсацию влаги даже при резких изменениях температуры окружающего воздуха.

Осушка воздуха может производиться различными способами, причем для рассматриваемого типа установок практическое применение могут иметь: термодинамический способ, осушка поглотителями влаги (адсорбентами) и в меньшей степени химический способ.

### Термодинамический способ

Термодинамический способ осушки воздуха, осуществляемый путем понижения давления (дресселирования) сжатого воздуха до величины,

при которой работает отключающая аппаратура, основан на следующих термодинамических свойствах воздуха:

1. Абсолютная влажность насыщенного воздуха (весовое количество водяных паров в 1 *м³*) зависит от температуры (а следовательно, и от парциального давления водяных паров) и совершенно не зависит от давления воздуха.

На рис. 1 приведена кривая изменения абсолютной влажности насыщенного воздуха в зависимости от его температуры [Л. 1, 2].

2. Объемы воздуха изменяются обратно пропорционально давлениям и, при одновременном изменении его температуры, определяются из равенства

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1},$$

где  $v_1, v_2$  — удельный объем воздуха;  
 $p_1, p_2$  — абсолютное давление, *ата*;  
 $T_1, T_2$  — абсолютная температура, °К.

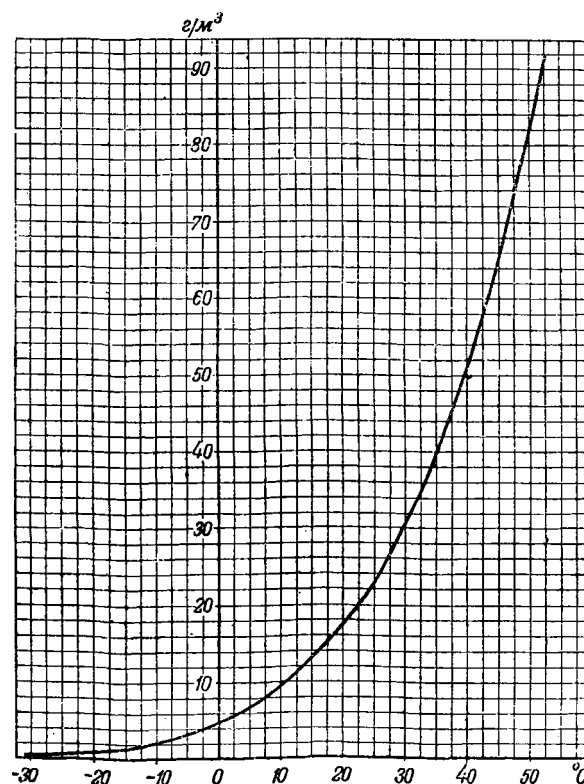


Рис. 1. Абсолютная влажность насыщенного воздуха ( $\gamma_n$ ) в зависимости от температуры ( $t$ ).

Процесс осушки воздуха этим способом состоит из следующих двух отдельных процессов: 1) удаления конденсирующейся влаги при сжатии воздуха и его охлаждении; 2) понижения относительной влажности путем дросселирования сжатого воздуха.

Первый процесс осушки. Атмосферный воздух с относительной влажностью  $\varphi_n$  и температурой  $t_n$ , поступающий в компрессор, при сжатии в последнем нагревается, температура его повышается, а относительная влажность уменьшается.

При выходе из компрессора нагретый воздух поступает в дополнительный охладитель, в котором температура воздуха постепенно понижается, а относительная влажность увеличивается и при достижении предельного насыщения ( $\varphi = 100\%$ ) начинается конденсация влаги из воздуха.

Конденсация влаги будет происходить не только в охладителе, но и в резервуаре — аккумуляторе сжатого воздуха, установленном за ним, в связи с охлаждением сжатого воздуха в последнем до окружающей температуры.

Следует отметить, что воздух, нагнетаемый в центральные резервуары, поступает через редукционный клапан в сеть не сразу, а через некоторый промежуток времени (после снижения давления в сети), в течение которого его температура успевает сравняться с температурой окружающего воздуха.

Улавливание конденсирующейся влаги происходит в масловодоотделителях, которые устанавливаются после охладителя, и в резервуарах, аккумулирующих сжатый воздух.

Количество (весовое) паров воды, которое конденсируется в дополнительном охладителе и в резервуаре из  $1 \text{ м}^3$  всасываемого воздуха, определяется из уравнения

$$W = W_n - W_1 = \frac{T_n}{T_0} \cdot \frac{\varphi_n}{100} \cdot \gamma_n - \frac{1}{p} \cdot \frac{T_1}{T_0} \cdot \gamma'_n, \quad (1)$$

где  $\varphi_n$  — относительная влажность воздуха, засасываемого компрессором, %;

$T_n, T_1$  — абсолютная температура воздуха, засасываемого компрессором, и сжатого воздуха за дополнительным охладителем или в резервуаре, °K;

$T_0 = 273^\circ \text{ K}$ ;

$\gamma_n, \gamma'_n$  — абсолютная влажность насыщенного воздуха при  $T_n$  и  $T_1$ , г/м<sup>3</sup>;

$p$  — давление сжатого воздуха на выходе из компрессора, ата;

$W_n$  — количество влаги, содержащееся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха, засасываемого компрессором, г;

$W_1$  — количество влаги за компрессором, содержащееся в объеме сжатого воздуха, равном  $\frac{1}{p} \cdot \frac{T_1}{T_0}$ , г.

Из уравнения (1) следует, что количество конденсирующейся влаги  $W$  зависит от температуры воздуха, поступающего в компрессор, и температуры его за дополнительным охладителем и

в резервуаре. Ввиду этого необходимо, чтобы температура компрессорного помещения при заборе воздуха из последнего была минимально возможной летом и минимально допустимой ( $\sim 5^\circ \text{ C}$ ) — зимой (при заборе воздуха вне помещения место забора должно быть расположено с теневой стороны здания) и чтобы размеры дополнительного охладителя обеспечивали на выходе температуру воздуха, незначительно отличающуюся от окружающей.

Второй процесс осушки. Воздух, аккумулируемый в резервуаре, установленном после компрессора, имеет предельное насыщение ( $\varphi_p = 100\%$ ); при поступлении такого воздуха в распределительную сеть всякое понижение окружающей температуры может вызывать конденсацию влаги в воздухопроводах.

Для понижения относительной влажности воздуха в компрессоре сжимается до некоторого повышенного давления  $p_1$  и затем подвергается дросселированию до давления  $p_2$ , при котором работает отключающая аппаратура; при этом объем воздуха увеличивается в отношении величины этих давлений ( $p_1/p_2$ ) при таком же весе в количестве влаги в воздухе, а его относительная влажность понижается.

Относительная влажность воздуха в сети рабочего давления определяется из уравнения:

$$\varphi_c = \varphi_p \cdot \frac{\gamma'_n}{\gamma''_n} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{p_2}{p_1}, \quad (2)$$

где  $\gamma'_n, \gamma''_n$  — абсолютная влажность насыщенного воздуха при температуре соответственно в резервуаре и в сети  $T_1$  и  $T_2$ , г/м<sup>3</sup>.

При  $T_1 = T_2$  и  $\varphi_p = 100\%$  значения  $\gamma'_n = \gamma''_n$ , и относительная влажность воздуха в сети определяется из уравнения

$$\varphi'_c = \frac{p_2}{p_1} \cdot 100. \quad (3)$$

Таким образом, воздух в сети рабочего давления при правильно выбранной величине повышенного давления будет всегда находиться в ненасыщенном (перегретом) состоянии; только в случае значительного снижения окружающей температуры и неизменной при этом температуре воздуха в резервуарах повышенного давления (например, при расположении резервуаров в закрытом помещении и прокладке воздухопроводов снаружи) может иметь место выпадение влаги из воздуха в воздухопроводах.

Чтобы избежать влияния колебания температуры окружающего воздуха и связанной с ним конденсации влаги в воздухопроводах, питающие резервуары, сеть воздухопроводов и резервуары выключателей должны находиться, по возможности, в одинаковых температурных условиях. Так, в установках, обслуживающих открытые распределительные устройства, резервуары сжатого воздуха необходимо располагать вне помещения — из условий зимнего режима и защищать от нагревания их солнечными лучами (располагать у теневой, северной стороны здания) — из условий летнего режима.



химически, ни физически; они легко регенерируются и сохраняют свои адсорбционные свойства при многократной регенерации.

После осушки адсорбентами содержание влаги в воздухе составляет: при силикагеле  $0,03 \text{ г/м}^3$  и при активной окиси алюминия (алюмогеле)  $0,01 \text{ г/м}^3$ , что отвечает влагосодержанию насыщенного воздуха при его охлаждении до температуры соответственно  $-52$  и  $-60^\circ \text{С}$ .

Периодически, когда содержание влаги в воздухе начинает возрастать (адсорбент насыщается парами воды), адсорбент подвергается регенерации электрическим подогревателем.

Установка сжатого воздуха с адсорберами также требует, как правило, двух ступеней давления (рис. 3), что дает возможность: а) включать адсорберы только при неблагоприятных атмосферных условиях; б) иметь по одному адсорберу на каждый компрессорный агрегат (вместо обычно предусматриваемых двух) и при его регенерации работать без адсорбера; в) иметь адсорберы малой пропускной способности.

При небольших расходах воздуха (например, при обслуживании только пневматических приводов выключателей и разъединителей) установка с адсорберами может иметь одну ступень давления.

Наряду с высокой эффективностью осушки воздуха схема установки с адсорберами имеет такие недостатки, как: усложнение, вызываемое включением дополнительных элементов (баллоны с адсорбентом, система вентилей); дополнительное обслуживание и удорожание установки.

### Химический способ

Способ осушки воздуха помощью химических веществ (едкий калий, едкий натр) не получил применения в установках, обслуживающих отключающую аппаратуру, так как он мало эффективен по сравнению с осушкой твердыми адсорбентами.

Наименьшее содержание влаги, которое остается в воздухе при использовании едкого натра, составляет  $0,8 \text{ г/м}^3$ . На практике же среднее содержание влаги составляет  $2 \text{ г/м}^3$  и больше, что соответствует влагосодержанию насыщенного воздуха при охлаждении его до  $-10^\circ \text{С}$ .

Осушка воздуха химическим способом имеет весьма существенные недостатки: усложнение и удорожание установки; дополнительное обслуживание (наблюдение, периодическая перезарядка осушительных батарей); расход дефицитных химических реактивов; корродирование аппаратуры, арматуры и труб.

### Выбор давления

Способ осушки воздуха, осуществляемый путем понижения давления (дресселирования) сжатого воздуха, требует применения в установках двух ступеней давления: рабочего — для распре-

делительной сети и отключающей аппаратуры и повышенного — для компрессорной установки и резервуаров — аккумуляторов сжатого воздуха.

Рабочее давление сжатого воздуха, применяемое для отключающей аппаратуры, колеблется в широких пределах — от 5 до 24 атм и зависит от ее типа и конструкции; для воздушных выключателей давление принимается преимущественно в пределах от 10 до 21 атм.

Величина повышенного давления определяется требуемой степенью осушения сжатого воздуха, т. е. величиной относительной влажности воздуха, при которой устраняется возможность конденсации влаги в распределительной сети.

На выбор давления также влияет величина располагаемого перепада давления в установке, которая определяет размеры резервуаров — аккумуляторов сжатого воздуха.

Для определения величины повышенного давления автором были произведены сравнительные расчеты при различных соотношениях между повышенным и рабочим давлением:  $n = p_1/p_2 = 3; 2; 1,5$  и  $1,25$ . Результаты расчетов показали, что при повышении давления компрессорной установки вдвое по отношению к давлению, принятому для отключающей аппаратуры ( $p_1 = 2p_2$ ), достигается достаточная степень осушки воздуха при сравнительно небольших резервуарах.

При  $n = 2$  и относительной влажности воздуха в сети  $\varphi_s = 50\%$  количество влаги, содержащейся в сжатом воздухе, будет отвечать влагосодержанию насыщенного воздуха при его охлаждении примерно на  $9 - 12^\circ \text{С}$  (начало конденсации влаги).

Учитывая особенности работы установок, обслуживающих распределительные устройства (наличие достаточного запаса воздуха в резервуарах, поступление его в сеть через некоторый промежуток времени после нагнетания, постепенное расходование его для поддержания давления в сети, периодическая работа компрессорной установки), и размещение резервуаров и распределительной сети в одинаковых температурных условиях, можно сделать вывод, что при таком располагаемом перепаде температуры поддержание относительной влажности в сети ниже 100% обеспечивается даже при значительных суточных колебаниях температуры окружающего воздуха.

При следующей ступени давления ( $n = 3$ ) хотя и повышается эффективность осушки воздуха, но увеличивается стоимость как отдельных элементов, так и всей установки в целом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Вукалович, Термодинамические свойства водяного пара, Госэнергоиздат, 1946 г.
2. С. Я. Герш, Глубокое охлаждение, ч. I и II, Советская наука, 1947 и 1949 гг.
3. П. Э. Бурго и И. П. Шикин, Осушка воздуха силикагелем, „Кислород“, №5, 1948 г.





## Еще раз о работе переключателей ответвлений МТЗ

Инж. Т. П. Мусатов

Автором уже отмечалась<sup>1</sup> недостаточная термическая устойчивость так называемых роликовых или иначе кольцевых переключателей ответвлений МТЗ.

В свое время выводы автора о недостаточной термической устойчивости переключателей и об отсутствии на МТЗ исчерпывающей методики их испытаний были отведены<sup>2</sup>, а приведенный случай повреждений переключателей П-100/35 был отнесен за счет качества сборки и наладки на месте. Утверждалось, что неоднократные испытания переключателя П-100/35 на нагрев не показали значительного перегрева над маслом в месте контакта и что, например, при четырехкратном токе от номинального перегрев составил  $8,7^{\circ}\text{C}$  при установленном заводом пределе в  $10^{\circ}\text{C}$ . Далее указывалось, что испытания переключателя на предельно возможный по реактивному сопротивлению трансформатора ток короткого замыкания в продолжение 3 и 5 сек. не дали никаких следов оплавлений и нагаров контактных поверхностей колец и стержней.

В настоящее время приведенные доводы представляются недостаточными, так как случаи повреждений именно переключателей ответвлений П-100/35, установленных на трансформаторах 5600 кВа, стали повсеместным явлением.

Имеющиеся фактические данные дают возможность сделать окончательное суждение об этом типе переключателя и определить возможность оставления его в эксплуатации. Последнее тем более необходимо, так как большая повреждаемость этого переключателя вынудила работников эксплуатации приступить к их демонтажу без установки новых переключателей, что естественно, осложняет эксплуатацию невозможностью перехода на другое ответвление без выемки сердечника.

Поэтому небезынтересно рассмотреть более подробно причину повреждаемости кольцевого переключателя П-100/35, конструктивное исполнение которого схематически представлено на рис. 1.

Прежде всего следует указать, что в настоящее время ненадежность кольцевого переключателя П-100/35 признана заводом. Так, например,

<sup>1</sup> См. "Электрические станции", № 7, 1940 г.

<sup>2</sup> И. А. Антонов, О переключателях ответвлений МТЗ, "Электрические станции", № 4, 1941 г.

на трансформаторах 5600 кВа последних поставок установлены переключатели, в которых кольца заменены одним подвижным контактом, выполненным в виде сегмента. По свидетельству завода это изменение представляет собой улучшение конструкции переключателя П-100/35 с кольцевым контактом.

Однако, с точки зрения эксплуатации такое изменение едва ли целесообразно, так как переключатель с кольцевым контактом обладает весьма существенным достоинством, заключающимся в его способности самоустанавливаться. Последнее исключает возможность установки его в каком-либо промежуточном положении, обычно влекущем за собой повреждение обмоток. Подобного рода повреждения имели место с первым образцом переключателя МТЗ, так называемым пластинчатым, впоследствии снятого со всех трансформаторов, где они были установлены.

Сегментный переключатель также допускает любое промежуточное положение, и заводу следовало бы идти по пути усиления переключателя П-100/35, учтя положительный опыт эксплуатации многокольцевых переключателей.

Удельная нагрузка на одно кольцо от максимального возможного тока короткого замыкания с учетом реактивного сопротивления трансформаторов в переключателе П-100/35, имеющем 3 кольца, значительно выше, чем в переключателях, имеющих 8 колец, установленных на всех мощных трансформаторах и к тому же длительно находящихся в работе, чем и объясняется отсутствие повреждений этих переключателей.

Конструктивное исполнение ролика переключателя П-100/35 представлено на рис. 2, из ко-

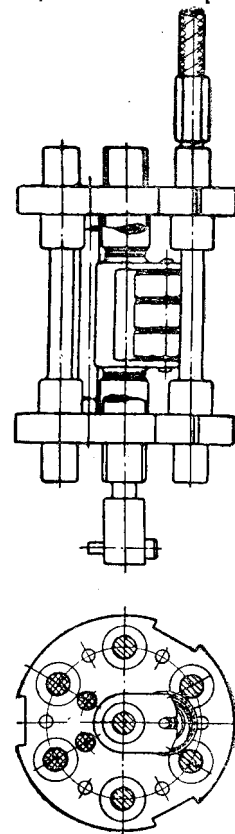


Рис. 1. Переключатель П-100/35, устанавливаемый на трансформаторах 5600 кВа.

торого следует, что нажим на контактный стержень осуществляется за счет давления свернутой плоской пружины, вставленной внутрь ролика. Пружина имеет четыре оборота, причем первый от ролика образует замкнутый виток в результате того, что к нему в рабочем положении частично прилегает второй оборот пружины, который собственно и обуславливает величину давления кольца на контактные стержни.

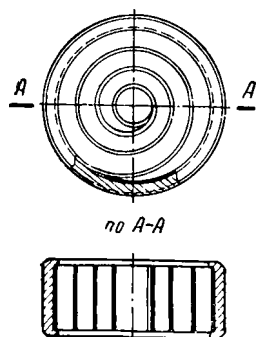


Рис. 2. Контактное кольцо переключателя П-100/35 в нерабочем состоянии.

При протекании по поверхности контактного стержня предельного по значению сквозного тока короткого замыкания возникает самостоятельный нагрев и перегрев отдельных участков пружины. Само явление довольно сложное<sup>3</sup> и обуславливается наличием тока в замкнутом витке пружины, а также токами Фуко и потерями на

гистерезис на участках пружины, расположенных между контактными стержнями.

В результате этого происходит местный отпуск пружины и ее посадка со снижением давления на контактное кольцо.

Тщательный осмотр пружин, снятых с поврежденного переключателя П-100/35, установленного на трансформаторе 5 600 кВА, полностью подтверждает это заключение.

При разгибе вынутых пружин второй оборот пружины легко перегибается именно на тех участках, которые находились между контактными стержнями, в этих местах образовался плотный нагар от разложившегося масла.

В этом трансформаторе повреждение переключателя произошло, как обычно, при протекании сквозного тока короткого замыкания, вызванного коротким замыканием на выводах отходящей линии.

Только полная уверенность в сохранности самих обмоток и отсутствии других причин, могущих вызвать работу газовой защиты на сигнал, даю возможность после неоднократных переключений с одного положения на другое поставить переключатель на следующую ступень и включить в работу трансформатор до наступления очередного выходного дня, когда представилось возможным произвести выемку керна без ограничения потребителей. Попутно отметим, что это вынужденное решение было принято после проверки цепей, изоляции и коэффициента трансформации на всех ступенях, и вообще говоря, не может быть рекомендовано из-за возможности значительно увеличить размер внутренних повреждений трансформатора.

В каждом случае протекания значительного по величине сквозного тока короткого замыкания

происходит постепенный отпуск из-за нагрева второго оборота пружины по плоскости соприкосновения его с первым оборотом. Вследствие этого ослабевает нажим кольца на контактные стержни, из-за чего уже в дальнейшем происходит повышенный нагрев в месте касания колец к контактным стержням, с последующим их обугливанием и полным разрушением.

Как правило, в таких случаях, когда повреждение переключателя вызывает работу газовой защиты на сигнал или отключение, характер повреждений контактной части требует демонтажа переключателя.

В другом случае автору представилось возможным осмотреть установленный заводом на трансформаторе 5 600 кВА переключатель П-100/35 в начальной стадии его повреждения. На этом трансформаторе переключатель был переставлен со среднего положения на положение +5%, причем у лиц, производивших переключение, возникла неуверенность в надежном положении контактов переключателя, в результате чего была произведена выемка сердечника.

При выемке сердечника было установлено повреждение переключателя, в котором значительно подгорел один стержень и одно кольцо. Повреждение переключателя на среднем положении свидетельствовало, что оно произошло в процессе эксплуатации трансформатора, однако не сопровождалось работой газовой защиты.

Отказ в работе газовой защиты в начальной стадии повреждений переключателей объясняется их конструктивным недостатком. Установка глухих боковых цилиндров затрудняет свободный выход небольшого объема газов, образующихся при перегреве пружин, а затем и контактов. Только при большой дуге, вызывающей значительное оплавление колец и контактных стержней, образуется достаточное избыточное давление, ускоряющее выход газа из переключателя и накопление его в газовом реле.

По нашему мнению, нет оснований для такого полного закрытия переключателей и поэтому следует имеющиеся в них смотровые окна держать открытыми.

## Выводы

1. Переключатель ответвлений П-100/35 термически неустойчив при установке его на трансформаторах 5 600 кВА и подлежит демонтажу при очередных ревизиях. Для замены переключателей П-100/35 МТЗ должен поставить переключатели улучшенной конструкции.

2. Завод должен учесть требование эксплуатации и сохранить как более удобный в обслуживании переключатель П-100/35, усилив в нем контактную часть (удлинить стержни и увеличить число контактных колец).

3. Демонтированные и исправные переключатели П-100/35 могут быть установлены на трансформаторах 3 200 кВА и ниже, на которых нет переключателей ответвлений.

<sup>3</sup> См. Г. Т. Третьяк и Н. Е. Лысов, Основы тепловых расчетов электрической аппаратуры. ОНТИ 1935 г.

## Замечания Московского трансформаторного завода по статье Т. П. Мусатова

По существу положений, выдвинутых т. Мусатовым, можно отметить следующее:

1. Автор считает неправильной замену однокольцевых переключателей сегментными, указывая на то, что кольцевые якобы самоуставляются и исключают ошибки персонала. Следует отметить, что при затянутом сальнике уплотнения силы колец недостаточно для правильной установки переключателя, давление кольца на стержни с одной стороны (по движению кольца) получается недостаточным, что и может привести к аварии переключателей. Необходимо обязательно закрепить головку переключателя стопорным болтом, предварительно правильно установив головку посредством нониуса.

Можно полагать, что именно это ошибочное предположение автора и, как следствие, отсутствие внимания к установке переключателя и могло приводить к авариям.

2. Автор ошибочно полагает, что причиной аварий пластинчатого переключателя являлось отсутствие автоматической установки. Причиной этих аварий было слабое давление контактной системы.

3. Преимущества сегментного контакта, послужившие основанием к замене им колец в однокольцевых переключателях, следующие:

а) трущийся контакт вместо катучего в кольцах, т. е. автоматическое удаление окислов с контактных поверхностей;

б) большие возможные отклонения в установке: сегментный контакт позволяет безопасные от-

клонения  $\pm 8^\circ$  от центрального положения, тогда как кольцевой  $\pm 3^\circ$ ;

в) большая теплоемкость.

4. Рассуждения автора об отпуске пружин при коротких замыканиях при нормальной работе защиты неубедительны, поскольку они не подтверждаются многократными лабораторными испытаниями. Такие явления могут иметь место только при длительных, затяжных коротких замыканиях, т. е. при отказе защиты или, что более вероятно, при неправильной установке нониуса переключателя, в надежде на то, что он самоуставится.

5. Совершенно неверно объяснен отказ в работе газовой защиты наличием глухих цилиндров, защищающих переключатель, так как (это явствует и из эскизов, приложенных к статье т. Мусатова) в дисках переключателей имеются отверстия, вполне достаточные для выхода газа.

6. Нельзя согласиться с выводами, сделанными т. Мусатовым в своей статье. Никаких решений о демонтаже переключателей принимать не следует, тем более, что автор противоречит себе, предлагая демонтированные переключатели ставить на трансформаторы мощностью 3 200 кВа и ниже, в то время как практически величины токов короткого замыкания для трансформаторов 3 200 и 5 600 кВа существенно не различаются (учитывая реактивное сопротивление линий и т. п.).

Также неверен вывод о преимуществе кольцевого переключателя перед сегментным.

### ОТ РЕДАКЦИИ

*Редакция не считает, что ответ завода исчерпывающе решает вопрос о причинах повреждения переключателей в трансформаторах, описанных Т. П. Мусатовым, относя их к дефектам монтажа и эксплуатации. Соображения инж. Мусатова достаточно убедительны для того, чтобы продолжить наблюдения за поведением переключателей, отложив окончательное решение до накопления большого опыта.*

*Помещая обмен мнений между инж. Мусатовым и заводом, редакция надеется, что этот материал побудит читателей поделиться своим опытом на страницах журнала, поможет эксплуатационному персоналу установить лучший уход за переключателями и разбираться в причинах их повреждений.*



# Определение допустимой нагрузки трансформаторов тока по вольт-амперным характеристикам

Инж. А. П. Петроков

Как известно, погрешность трансформатора тока зависит от нагрузки, включенной в его вторичную цепь. Чем больше сопротивление вторичной цепи, тем больше намагничивающий ток трансформатора, тем больше погрешность трансформатора.

Определение нагрузки трансформатора тока, при которой погрешность его не выходит за пределы допустимой, обычно производится специальным расчетом. При этом пользуются так называемыми «кривыми пятипроцентной или десятипроцентной кратности», приводимыми в различных справочниках.

В тех случаях, когда нужно произвести расчет допустимой нагрузки на трансформатор, для которого нет типовых «кривых кратности», приходится ориентировочно пользоваться кривыми других типов трансформаторов тока. Практика, однако, показала, что для этой цели совершенно недопустимо пользоваться произвольными характеристиками. Нагрузка, нормально допустимая для одного трансформатора тока, для трансформатора тока другого типа при том же коэффициенте трансформации может быть недопустимо велика.

Из-за такого допущения в одной энергосистеме имел место случай неправильной работы дифференциальной отсечки трансформатора при сквозном коротком замыкании.

Тщательной проверкой было выявлено, что у выключателей 110 кВ фирмы Метро-Виккерс втулочные трансформаторы тока, с коэффициентом трансформации 200/5, при нагрузке во вторичной цепи 1,6 Ом уже при трехкратном токе от номинального дают погрешность по углу 32,5° и по коэффициенту трансформации 23,3%, т. е. результирующую погрешность около 54%.

Отсюда ясно, что при определении нагрузки на такие трансформаторы нельзя пользоваться имеющимися, казалось бы, подходящими типовыми кривыми для трансформаторов ТВ-160.

Более подробные исследования показали, что не всегда допустимо включать одинаковую нагрузку даже на трансформаторы тока одного типа, так как характеристики их могут существенно отличаться одна от другой.

«Кривые кратности», или нагрузочные характеристики трансформаторов тока, как по нашему мнению было бы более правильным их имено-

вать, должны быть определены для каждого конкретного трансформатора тока.

Для этого не требуется ставить специальных опытов. Нагрузочные характеристики легко определяются по вольтамперным характеристикам, которые, вероятно, снимаются теперь всеми службами релейной защиты с целью проверки обмоток трансформаторов тока на отсутствие короткозамкнутых витков. Вопрос относительно снятия и использования вольт-амперных характеристик неоднократно освещался на страницах журнала. В данной же статье ставится задача рассмотреть методику определения предельно допускаемой нагрузки трансформатора тока по его вольтамперной характеристике и по заданной погрешности.

За погрешность трансформатора тока принимается ток, равный геометрической разности первичного и вторичного токов, выраженный в процентах от первичного тока:

$$K\% = \frac{|I_1 - I_2|}{I_1} \cdot 100 = \frac{I_0}{I_1} \cdot 100,$$

где  $K$  — погрешность трансформатора, %;

$I_1$  — первичный ток, приведенный к виткам вторичной обмотки;

$I_2$  — вторичный ток;

$I_0$  — ток намагничивания;

$|I_1 - I_2|$  — модуль вектора, равного разности векторов  $I_1$  и  $I_2$ .

Такое определение погрешности как результирующей ошибки по углу и по коэффициенту трансформации удобно для применения в расчетах релейной защиты, когда требуется предопределить величину возможного тока небаланса при больших кратностях тока короткого замыкания. Оно дает возможность предопределить также наибольшую угловую ошибку трансформатора.

Наибольший угол  $\alpha_{\max}$  между векторами токов  $I_1$  и  $I_2$  соответствует взаимно перпендикулярному положению векторов тока  $I_2$  и  $I_0 = \frac{K}{100} \cdot I_1$ . Поэтому угол  $\alpha_{\max} = \arcsin \frac{K}{100}$ . Так, например, для трансформатора с по-

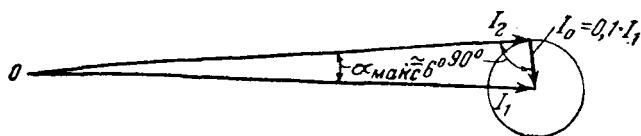


Рис. 1. Векторная диаграмма, соответствующая максимальному сдвигу по фазе между токами  $I_1$  и  $I_2$  при  $K=10\%$ .

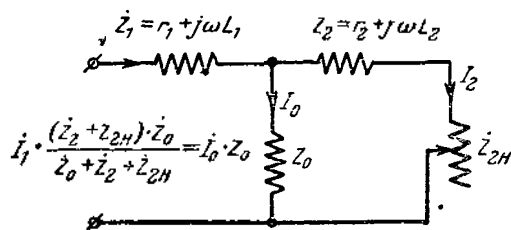


Рис. 2. Схема замещения полных сопротивлений для нагруженного трансформатора тока.  
 $Z_{2H}$  — полное сопротивление нагрузки;  $Z_2$  — полное сопротивление вторичной обмотки;  $Z_0$  — эквивалентное полное сопротивление намагничивания.

грешностью  $K=10\%$  наибольшая угловая ошибка будет около  $6^\circ$  (рис. 1).

Теперь воспользуемся схемой замещения для нагруженного трансформатора тока (рис. 2). Непосредственно из схемы замещения вполне очевидно указанное ниже соотношение между токами и полными сопротивлениями, а также между полными сопротивлениями и погрешностью трансформатора:

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{|Z_2 + Z_{2H}|}{|Z_0 + Z_2 + Z_{2H}|} = \frac{K}{100},$$

$$Z_0' = Z_0 + Z_2;$$

где  $|Z_2 + Z_{2H}|$  — модуль вектора, равного сумме векторов  $Z_2$  и  $Z_{2H}$ ,

$|Z_0' + Z_{2H}|$  — модуль вектора, равного сумме векторов  $Z_0'$  и  $Z_{2H}$ .

Пренебрегая величиной  $Z_{2H}$  в знаменателе полученного уравнения, которая при  $K=5 \div 10\%$  мала по сравнению с  $Z_0'$ , это соотношение можно упростить и значение допустимой вторичной нагрузки, включая сопротивление самой вторичной обмотки трансформатора, выразить следующим уравнением:

$$|Z_2 + Z_{2H}| = Z_0' \cdot \frac{K}{100}.$$

Принятое нами упрощение немного уменьшает величину допустимой нагрузки на трансформатор, что дает некоторый запас в отношении надежности расчетов.

Полное сопротивление  $Z_0'$  является функцией намагничивающего тока и определяется из вольт-амперной характеристики, снятой при разомкнутой первичной обмотке трансформатора:

$$Z_0' = \frac{U_0'}{I_0'},$$

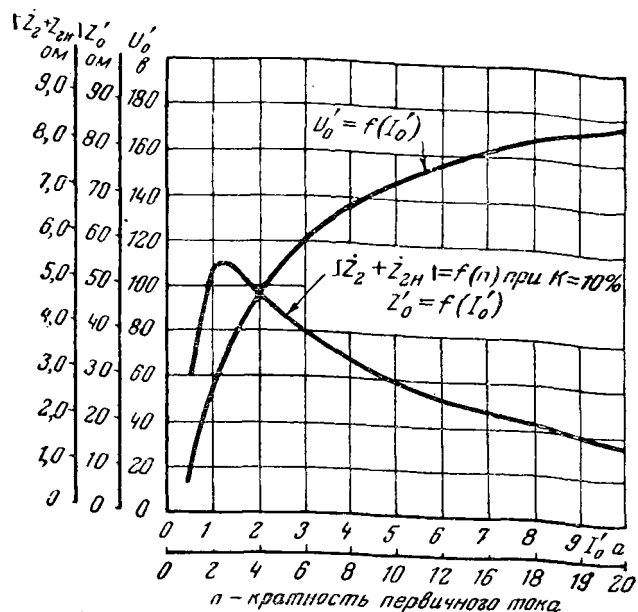


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика трансформатора тока ТВ-160, 400/5 кв.

где  $U_0'$  — напряжение, а  $I_0'$  — ток, измеренные при снятии характеристики.

Для большей точности по вольт-амперной характеристике трансформатора, находящегося в эксплуатации, при желании можно определить не только  $Z_0'$ , но и  $|Z_0' + Z_{2H}|$ , снимая характеристику с подключенной к трансформатору тока фактической его нагрузкой. Однако, особой необходимости в этом нет.

Так как токи  $I_0$  и  $I_0'$  представляют собой намагничивающие токи одного и того же трансформатора, полное сопротивление  $Z_0'$  зависит в одинаковой мере как от тока  $I_0'$ , так и от тока  $I_0$ . В свою очередь, намагничивающий ток  $I_0$  является функцией первичного тока  $I_1$ . Таким образом, при заданной погрешности трансформатора тока через  $I_0$  можно найти зависимость от первичного тока — полного сопротивления  $Z_0'$ , а вместе с ним и полного сопротивления в цепи вторичной обмотки.

Выражая намагничивающий ток  $I_0$  или  $I_0'$  через кратность первичного тока  $n = \frac{I_1}{I_0}$ , получим:

$$I_0 = \frac{I_1 \cdot K}{100} = \frac{n \cdot K}{20} = I_0'.$$

В частности, для трансформатора с погрешностью в 10% намагничивающий ток в амперах соответствует половине численного значения кратности первичного тока.

На рис. 3 показана вольт-амперная характеристика трансформатора тока типа ТВ-160, 400/5 и построенная по ней его нагрузочная характеристика при погрешности 10%. Здесь изображены одной кривой, только в разных масштабах, и нагрузочная характеристика и полное сопротивление холостого хода  $Z_0'$ .

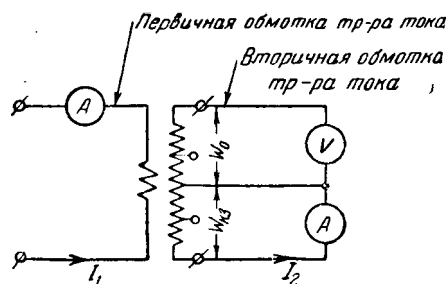


Рис. 4. Схема включения приборов при определении полных сопротивлений вторичной обмотки втулочного трансформатора тока.

По нагрузочным характеристикам, построенным на базе вольт-амперных характеристик, в допускаемую нагрузку включается также и полное сопротивление вторичной обмотки. Чтобы определить, какую нагрузку можно подключать к трансформатору тока, надо знать полное сопротивление его вторичной обмотки.

Для втулочных трансформаторов тока полное сопротивление вторичной обмотки, с достаточной для практических расчетов точностью, можно определить опытом, совмещая этот опыт с проверкой коэффициента трансформации.

На рис. 4 дана схема включения приборов для определения полного сопротивления вторичной обмотки. В качестве контрольной обмотки здесь используется часть свободной вторичной обмотки трансформатора тока. Вольтметр, включенный в разомкнутую часть вторичной обмотки, измеряет э. д. с., пропорциональную падению напряжения в короткозамкнутой части обмотки. Отношение э. д. с. —  $E_{кз}$ , замкнутой обмотки, к э. д. с. —  $E_0$ , обмотки, замкнутой на вольтметр, прямо пропорционально числу витков этих обмоток

$$\frac{E_{кз}}{E_0} = \frac{w_{кз}}{w_0}.$$

Зная  $E_0$  и ток в короткозамкнутой обмотке —  $I_{кз}$ , находим полное сопротивление вторичной обмотки

$$Z_2 = \frac{E_{кз}}{I_{кз}} = \frac{E_0}{I_{кз}} \cdot \frac{w_{кз}}{w_0}.$$

При измерениях должен применяться вольтметр с большим внутренним сопротивлением, предпочтительно — катодный. Омическое сопротивление обмотки можно измерить мостиком.

#### ОТ РЕДАКЦИИ

В связи с помещением статьи инж. Петрокова «Определение допустимой нагрузки трансформаторов тока по вольт-амперным характеристикам» необходимо отметить, что работникам эксплуатации действительно приходится сталкиваться со значительными трудностями при определении пригодности тех или иных трансформаторов тока для целей релейной защиты. В частности неясным является вопрос о выборе трансформаторов тока для дифференциальных защит.

Заводы-изготовители не дают до сих пор достаточных данных для выбора трансформаторов тока для дифференциальной защиты, особенно на большие кратности тока, а также методики проверки трансформаторов тока. Методика расчетов, изложенная в разд. 3, ч. III «Руководящих указаний по релейной защите» (Госэнергоиздат, 1948 г.), встречает ряд возражений и нуждается в пересмотре.

Редакция считает настоятельно необходимым, чтобы заводами-изготовителями трансформаторов тока, в контакте с организациями Министерства электростанций, были проведены работы по уточнению характеристик и методов расчета трансформаторов тока для дифференциальных защит.



# Токи небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока

Инж. А. А. Воскресенский

В настоящей статье сделана попытка найти пути к определению токов небаланса в нулевом проводе при работе трансформаторов тока в области больших кратностей тока и различных нагрузках во вторичной цепи. При этом принимается, что при нормальной работе и междофазовых замыканиях геометрическая сумма первичных токов трех фаз равна нулю; кривая первичного тока не содержит высших гармонических; нестационарный режим трансформаторов тока не рассматривается.

Все расчеты относятся к симметричной трехфазной цепи. Двухфазные короткие замыкания не рассматриваются, так как в этом случае ток небаланса в нулевом проводе будет заведомо меньше.

С целью упрощения расчета не учитывается сопротивление нулевого провода и включенных в нулевой провод нагрузок, вследствие чего расчетные значения тока небаланса будут несколько завышенными против действительных.

## Составляющие тока небаланса

Ток небаланса в нулевом проводе (рис. 1) определяется суммой токов намагничивания трех трансформаторов тока, которая даже при симметричном первичном токе не будет равна нулю вследствие:

- содержания в токе намагничивания значительного процента гармонических;
- некоторой неидентичности характеристик трансформаторов тока.

Ток, протекающий в нулевом проводе, может быть записан как сумма гармонических фазовых токов намагничивания:  $i_A, i_B, i_C$ .

При совершенно идентичных характеристиках трансформаторов тока амплитуды фазовых токов намагничивания всех трех фаз трансфор-

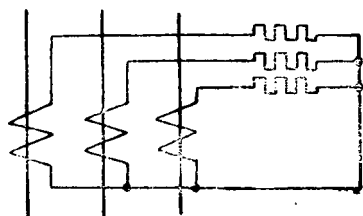


Рис. 1. Схема соединения трех трансформаторов тока.

маторов будут равны между собой  $I_A = I_B = I_C$  и сдвинуты по фазе на угол  $\frac{2\pi}{3}$ .

Тогда:

$$\begin{aligned} i_{\text{но}} &= i_A + i_B + i_C = I_{1m} \sin(\omega t - \varphi_1) + \\ &+ I_{3m} \sin(3\omega t - \varphi_3) + \dots + I_{1m} \sin\left[\omega\left(t - \frac{T}{3}\right) - \varphi_1\right] + \\ &+ I_{3m} \sin\left[3\omega\left(t - \frac{T}{3}\right) - \varphi_3\right] + \dots + \\ &+ I_{1m} \sin\left[\omega\left(t - \frac{2T}{3}\right) - \varphi_1\right] + \\ &+ I_{3m} \sin\left[3\omega\left(t - \frac{2T}{3}\right) - \varphi_3\right] + \dots = \\ &= 3I_3 \sin(3\omega t - \varphi_3) + 3I_9 \sin(9\omega t - \varphi_9) + \dots \end{aligned}$$

Все гармонические фазовых токов взаимно уравниваются и дают в сумме нуль за исключением гармонических порядка, кратного трем. Эти гармонические разнятся друг от друга по времени на целое число периодов этих гармонических и имеют в любой момент одну и ту же величину и одинаковое направление во всех фазах. Поэтому ток в нулевом проводе равен тройной сумме высших гармонических порядка, кратного трем.

Неидентичность характеристик трансформаторов тока обуславливает расхождение фазовых токов намагничивания по величине и углу.

При определении составляющей тока небаланса, обусловленной неидентичностью характеристик трансформаторов, можно учесть только расхождение абсолютных величин векторов фазовых токов намагничивания, так как угловые расхождения в пределах практически возможных величин не могут сколько-нибудь заметно повлиять на величину тока небаланса.

Обозначая через  $A, B, C$  — амплитуды фазовых токов первой гармонической, определим ток небаланса в нулевом проводе при условии  $A \neq B \neq C$ .

Для определения амплитуды первой гармонической тока небаланса можно воспользоваться выражением, следующим из геометрического сложения системы векторов  $A \neq B \neq C$ , расположенных под углом  $120^\circ$ :

$$I_{1\text{но}} = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 - AB - AC - BC}. \quad (1)$$

Составляющими тока небаланса в нулевом проводе будут утроенные суммы токов гармонических порядка, кратного трем, плюс токи 1-й, 5-й, 7-й и т. д. гармонических, обусловленные расхождением величин векторов вследствие неидентичности характеристик трансформаторов.

Практически при определении тока небаланса представляют интерес только 1-я и 3-я гармонические, так как в намагничивающем токе величины следующих за 1-й гармонических резко уменьшаются с увеличением кратности гармонической.

Поэтому уравнение для действующего значения тока небаланса может быть записано в виде:

$$I_{нб} = \sqrt{I_{1нб}^2 + I_{3нб}^2} \quad (2)$$

Содержание гармонических в намагничивающем токе можно определить аналитическим путем по методу, предложенному автором<sup>1</sup>, используя следующие уравнения:

для 1-й гармонической

$$I_{1м} = 1,27 m e^{0,89aB_m} \quad (3)$$

для 3-й гармонической

$$I_{3м} = m (0,805 e^{0,55aB_m} - 0,402 e^{0,89aB_m}) \quad (4)$$

где  $I_{1м}$ ,  $I_{3м}$  — амплитуды 1-й и 3-й гармонических тока;

$e$  — основание натуральных логарифмов;

$B_m$  — амплитуда магнитной индукции;

$m$  и  $a$  — константы, определяемые характеристиками стали и параметрами трансформатора.

Константы  $m$  и  $a$  вычисляются по координатам точек кривой намагничивания. Для их вычисления даются следующие выражения<sup>2</sup>:

$$a = 2,3 \frac{\lg a\omega'' - \lg a\omega'}{B_m'' - B_m'} \quad (5)$$

$$m = \frac{a\omega'}{e^{aB_m'}}, \quad (6)$$

где  $(a\omega', B_m')$  и  $(a\omega'', B_m'')$  — координаты двух произвольных точек кривой намагничивания.

Практически кривая намагничивания получается как зависимость намагничивающего тока от напряжения на обмотке трансформатора  $I_0 = f(U)$ , поэтому при вычислении констант по

<sup>1</sup> А. А. Воскресенский, Уравнения гармонических сложной кривой тока в цепи с железом, "Электричество", № 1, 1948 г.

<sup>2</sup> А. А. Воскресенский и Е. Ф. Воскресенская, Уравнения кривых намагничивания трансформаторной стали, "Электричество", № 4, 1946 г.

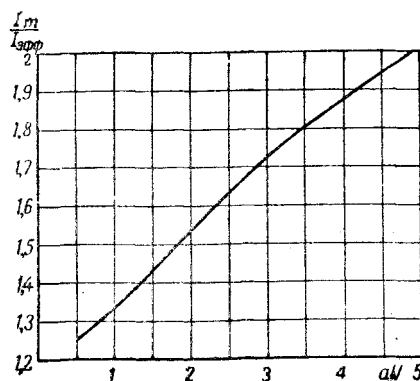


Рис. 2. Зависимость от индукции отношения амплитудных величин тока намагничивания к эффективной его величине.

уравнениям (5) и (6) и вычислении гармонических по уравнениям (3) и (4) вместо индукции  $B_m$  можно подставить напряжение  $U_m$ , ( $U_m \equiv B_m$ ) и вместо ампервитков подставить ток  $I_m$ , ( $I_m \equiv a\omega$ ).

### Условия применения кривых намагничивания

Для вывода уравнений (3) и (4) принималась кривая первоначального намагничивания.

В условиях эксплуатации не представляется возможным иметь полные характеристики стали трансформаторов, и исходным для вычислений может служить лишь кривая намагничивания, снятая на переменном токе.

Если такая кривая  $[I_0 = f(U)]$  снята при синусоидальном напряжении вольтметром и амперметром, показания которых определяются пиковым значением измеряемой величины, то результаты измерения будут близко подходить к искомой зависимости.

При работе с обычными приборами переменного тока, отклонения которых определяются эффективным значением измеряемой величины, полученная зависимость  $I_0 = f(U)$  вследствие резкого искажения формы кривой намагничивающего тока может значительно отличаться от искомой.

Отношение амплитудных величин тока намагничивания к эффективной его величине в зависимости от индукции (по произведению  $aU$ ) дано на диаграмме рис. 2. Эта зависимость вычислена аналитическим путем по гармоническим токам намагничивания, без учета составляющей тока гистерезиса и, как показали измерения, близко совпадает с той же зависимостью, полученной экспериментальным путем.

При вычислении гармонических тока намагничивания для определения тока небаланса в нулевом проводе, казалось бы, следовало внести поправки для кривой намагничивания, снятой в эффективных величинах тока и напряжения, на коэффициент формы кривой тока. Однако, как показал опыт расчета по кривым амплитудных и эффективных зависимостей, для расчета тока небаланса можно пользоваться кривой намагничивания, снятой в эффективных величинах. Расчетные значения тока небаланса в этом случае будут несколько меньшими, чем они были бы при рас-



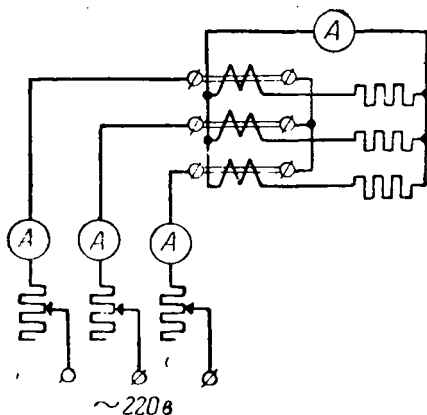


Рис. 3. Схема измерения тока небаланса.

чете по кривой намагничивания, снятой по амплитудным величинам.

Кривая намагничивания должна сниматься при синусоидальном напряжении со стороны вторичной обмотки трансформатора. При снятии кривой следует учесть наши рекомендации по определению погрешностей трансформаторов тока<sup>3</sup>.

Электродвижущая сила вторичной обмотки трансформатора для определения расчетной точки на кривой намагничивания определяется из выражения

$$E_2 = \frac{I_1}{K} (Z_{2T} + Z_n), \quad (7)$$

где  $I_1$  — расчетный первичный ток трансформаторов тока;

$K$  — коэффициент трансформации;

$Z_{2T}$  — полное сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока;

$Z_n$  — полное сопротивление нагрузки вторичной обмотки трансформатора тока.

Полное сопротивление вторичной обмотки трансформатора  $Z_{2T}$  практически может быть учтено лишь активной составляющей сопротивления обмотки. Это не приведет к большой погрешности, если в цепи нагрузки вторичной обмотки трансформатора преобладает активное сопротивление, что обычно и имеет место.

Наличие в нагрузке вторичной обмотки трансформатора тока индуктивной составляющей приведет к некоторому снижению токов небаланса в нулевом проводе.

### Экспериментальная проверка токов небаланса

Измерения токов небаланса были проведены на одном комплекте встроенных трансформаторов тока типа ВТ-35. Для имитации условий работы трансформаторов в области высоких индукций на трансформаторы накладывалась вспомогательная (первичная) обмотка из 40 витков, которые располагались общим жгутом по центру сердечника трансформатора. Трансформаторы испытывались при коэффициентах 200/5 и 300/5. Нагрузкой вторичных обмоток трансформаторов служило

активное сопротивление 2,35 ом на фазу. Схема измерения дана на рис. 3.

Одновременно были измерены токи небаланса в нулевом проводе трансформаторов, в схеме, имитирующей условия протекания суммы токов намагничивания трех трансформаторов (рис. 4).

Ток небаланса, измеренный в схеме рис. 4, относился к первичному току трансформаторов с рекомендованной поправкой<sup>4</sup>:

$$I_{10} = K I_{1u} \frac{R}{R + r}, \quad (8)$$

где  $I_{10}$  — действительная величина первичного тока, соответствующая измеренной величине тока небаланса;

$I_{1u}$  — величина фазового тока при измерении по схеме рис. 4;

$R$  — сопротивление нагрузки вторичной обмотки трансформатора тока;

$r$  — сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока;

$K$  — обмоточный коэффициент трансформации.

Измерения в схемах рис. 3 и 4 дали полное совпадение величин токов небаланса. Результаты измерения и расчетные значения токов небаланса показаны на диаграмме рис. 5 относительно первичных ампервитков при коэффициенте 200/5.

Расчетные значения токов небаланса в некоторых областях индукций имеют значительное отклонение от действительных. Отклонения эти обусловлены, главным образом, пренебрежением в расчетных формулах составляющей тока гистерезиса, 3-я гармоническая которой существенно сказывается на величине тока небаланса.

Проведенные испытания позволяют сделать следующие выводы:

1. Кривые намагничивания трансформаторов тока могут служить исходным условием для определения токов небаланса в нулевом проводе.

2. В токе небаланса, как правило, преобладает 3-я гармоническая тока намагничивания.

3. При определении токов небаланса по кривым намагничивания следует различать:

а) определение 1-й гармонической тока (для анализа работы направленных защит);

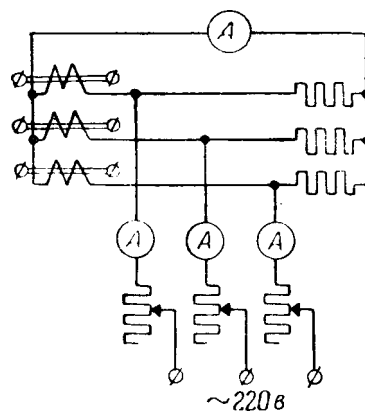


Рис. 4. Схема измерения тока небаланса при имитации тока нагрузки во вторичных цепях.

<sup>4</sup> См. сноску 3.

<sup>3</sup> А. А. Воскресенский, Определение погрешностей трансформаторов тока, "Электрические станции", № 4, 1948 г.

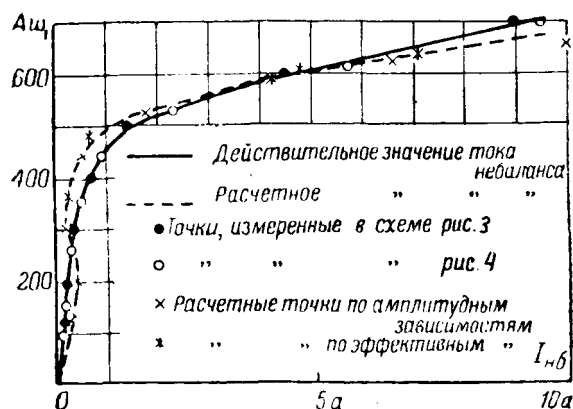


Рис. 5. Результаты измерения и расчетные значения токов небаланса.

б) определение эффективного значения тока небаланса (для анализа работы токовых реле).

4. Можно считать применение расчетных формул для определения 1-й гармонической тока небаланса достаточно точным во всем диапазоне индукций. Расчетный коэффициент запаса может приниматься не более  $1,2 \div 1,3$ .

5. При определении эффективных значений тока небаланса область совпадения расчетных значений тока с действительными ограничена участком кривой намагничивания за перегибом ее в область насыщения ( $aU > 2,5$ ). В этой области расчетный коэффициент запаса может приниматься не более 1,5. В области глубоких насыщений ( $aU > 6$ ) необходимость вводить коэффициент запаса отпадает, так как расчетные значения токов будут заведомо больше действительных.

6. В области начальных и средних индукций ( $aU < 2,5$ ) не представляется возможным дать определенные рекомендации для применения кривых намагничивания, как исходных условий для определения тока небаланса в нулевом проводе. Можно указать только, что в начальной части кривых намагничивания ( $aU < 0,75$ ) расчетные значения токов небаланса будут больше действительных. В диапазоне  $aU = 0,8 \div 2,5$  расчетные значения тока небаланса будут меньше действительных.

7. При расчете токов небаланса в нулевом проводе можно пользоваться кривыми намагничивания, построенными по эффективным величинам тока и напряжения.

8. В эксплуатационных условиях, там, где необходимо знать точно возможные величины токов

$$I_{нб} = \sqrt{4,05^2 + 4,4^2 + 4,45^2 - 4,05 \cdot 4,4 - 4,05 \cdot 4,45 - 4,4 \cdot 4,45} = 0,46 \text{ а.}$$

небаланса, рекомендуется непосредственное измерение по схеме рис. 4. Эта схема дает действительные условия протекания токов небаланса в нуле трансформаторов и может быть легко осуществлена в эксплуатации.

Пример. Требуется определить максимальную величину тока небаланса в нулевом проводе защиты линии при следующих условиях:

трансформаторы тока МКП-160;  $K = 300/5$ ; сопротивление нагрузки вторичной цепи 1,5 ом; сопротивление вторичной обмотки трансформатора 0,2 ом; ток трехфазного короткого замыкания 6 000 а.

Характеристики намагничивания трансформаторов при эффективных значениях тока и напряжения определяются следующими величинами:

$U_e$	7,5	16	15	40	70	110	150	170	100
$I$ фазы А . . .	0,405	0,614	0,76	0,97	1,32	2,2	3,12	4,3	8,2
$I$ . В . . .	0,4	0,615	0,76	0,96	1,3	2,26	3,4	4,86	9,7
$I$ . С . . .	0,41	0,6	0,75	0,95	1,3	2,25	3,35	4,75	9,5

Электродвижущая сила вторичной обмотки трансформатора при расчетном значении тока короткого замыкания по выражению (7) будет:

$$E_2 = \frac{6000}{60} (0,2 + 1,5) = 170 \text{ в.}$$

Для определения констант примем точки (170 ÷ 4,3) и (150 ÷ 3,12) фазы А и согласно (5) и (6)

$$a = 2,3 \frac{\lg 4,3 - \lg 3,12}{170 - 150} = 0,016,$$

$$m = \frac{4,3}{e^{0,016 \cdot 170}} = 0,283.$$

Аналогично определяем константы характеристик трансформаторов тока для остальных фаз:

$$\text{фазы В: } a = 0,018, \quad m = 0,228;$$

$$\text{фазы С: } a = 0,0175, \quad m = 0,242.$$

Гармонические тока намагничивания фазы А согласно уравнениям (3) и (4)

$$I_1 = 1,27 \cdot 0,283 e^{0,89 \cdot 0,016 \cdot 170} = 4,05 \text{ а,}$$

$$I_3 = 0,283 (0,805 e^{0,55 \cdot 0,016 \cdot 170} - 0,402 e^{0,98 \cdot 0,016 \cdot 170}) = -0,61 \text{ а.}$$

Аналогично для трансформаторов фаз В и С находим:

$$\text{для фазы В: } I_1 = 4,4 \text{ а, } I_3 = -0,86 \text{ а;}$$

$$\text{для фазы С: } I_1 = 4,45 \text{ а, } I_3 = -0,81 \text{ а.}$$

Составляющая тока небаланса от 1-й гармонической тока согласно выражению (1):

Составляющая тока небаланса 3-й гармонической тока

$$I_{3нб} = -0,61 - 0,86 - 0,81 = -2,28 \text{ а.}$$

Ток небаланса в нулевом проводе согласно уравнению (2)

$$I_{онб} = \sqrt{0,46^2 + 2,28^2} = 2,32 \text{ а.}$$

□ □ □

## О профилактических испытаниях изоляторов на подстанциях 35 кВ

Инж. А. И. Назаров

Из опыта эксплуатации изоляторов типа ШТ-30, ШТ-35, Т-44 известно, что весьма ненадежным местом их является крепление чугунного фланца к фарфору посредством цементной замазки. При резких изменениях температуры возможно образование трещин под чугунной головкой изолятора, в плоскости, перпендикулярной оси изолятора. Эти частичные повреждения верхнего элемента могут не сказаться на величине электрической прочности изолятора и, следовательно, не могут быть определены ни испытанием изоляторов повышенным напряжением, ни с помощью штанги.

При испытании штангой могут быть не обнаружены изоляторы, имеющие следующие дефекты: с трещинами, скрытыми в фарфоре верхнего элемента, и с открытыми небольшими трещинами, но с сухими не загрязненными поверхностями<sup>1</sup>.

Для определения возможности выявления изоляторов с поврежденной головкой были проделаны следующие опыты.

Изолятор с фланцем, оторванным при механическом испытании, был испытан повышенным напряжением (рис. 1). При испытании переменным напряжением до 70 кВ и постоянным до 50 кВ никаких дефектов на изоляторе не было обнаружено. При испытании этого же изолятора по схеме рис. 2 пробой произошел при 20 кВ переменного тока.

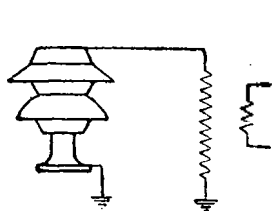


Рис. 1.

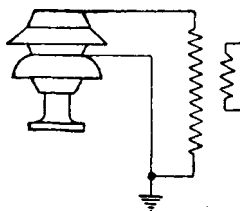


Рис. 2.

При испытании второго дефектного изолятора были получены аналогичные результаты, третий дефектный изолятор, имевший сквозную трещину, все испытания выдержал.

Таким образом, при испытании изоляторов по схеме рис. 2 все дефектные изоляторы будут вы-

явлены при условии: наличия сквозных или достаточно глубоких трещин в фарфоре верхнего элемента или достаточно высокого приложенного испытательного напряжения.

Небольшие трещины, имеющиеся в верхнем фарфоровом элементе изолятора, при испытании повышенным напряжением могут быть не выявлены. С другой стороны, следует считать, что появление повреждений на изоляторе (трещины) всегда сказывается на его механической прочности.

При каждой операции с разъединителями дефект прогрессирует и неизбежно ведет к поломке изолятора.

Из опыта эксплуатации известны случаи, когда поломки изоляторов наблюдались даже после удаления дефектных изоляторов, обнаруженных при профилактических испытаниях<sup>2</sup>. Дефект особенно прогрессирует на изоляторах, претерпевающих резкие изменения температуры.

Разрушающая нагрузка для таких изоляторов (ШТ-35) при достаточных размерах повреждений составляет 200 ÷ 300 кг и меньше, в зависимости от величины дефекта. В некоторых случаях образование горизонтальных трещин, не опасных для электрической прочности изолятора, может способствовать его пробую при наличии недоброкачественных мест в фарфоре. Известен ряд случаев, когда поломки изоляторов приводили к авариям.

В качестве меры, предотвращающей аварии при операциях с разъединителями, эксплуатационный циркуляр Техотдела МЭС № Э-22 рекомендует для изоляторов типа ШТ-30, ШТ-35 на подстанциях 110 кВ устанавливать специальные удерживающие скобы.

Аналогичные скобы иногда устанавливаются на подстанциях 35 кВ, что является недопустимым, так как ведет к резкому снижению сухоразрядных и импульсных характеристик изоляторов.

В некоторых энергосистемах были произведены механические испытания изоляторов, выявившие дополнительно дефектные изоляторы. Испытания проводились приложением статиче-

<sup>1</sup> Г. И. Лысаковский. Эксплуатация штыревых опорных изоляторов и предотвращение аварий с ними, «Электрические станции», № 4, 1943 г.

<sup>2</sup> М. В. Хомяков, Эксплуатация опорных изоляторов открытых установок, «Электрические станции», № 11, 1945 г.

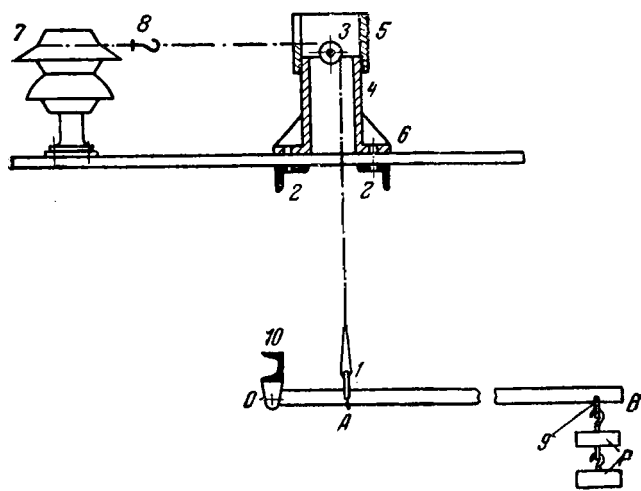


Рис. 3.

ской нагрузки порядка 350—400 кг \* перпендикулярно к оси изолятора.

Достоинством этих испытаний является возможность отбраковать изоляторы, имеющие трещины, и, следовательно, увеличить надежность работы сети. Такие испытания позволяют также выявить некачественную армировку изоляторов. Крупным недостатком метода является необходимость снятия изоляторов для проведения испытаний. Ограниченность времени заставляет от них отказываться. Для устранения этого недостатка изготовлено весьма простое приспособление, позволяющее производить механическое испытание изоляторов на подстанциях 35 кВ, не снимая их с конструкций и не отсоединяя токоподводов.

Приспособление (рис. 3) состоит из швеллера 10, крепящегося на стандартных опорных конструкциях разъединителей и являющегося точкой опоры рычага первого рода. В точке 1 рычага  $OB$  закреплен трос, проходящий через ролик 3, к головке изолятора 7 и оканчивающийся запорным крючком 8. Ролик 3 укреплен на оси в муфте 5, накрутой в свою очередь на трубу 4. Труба вварена в основание 6, крепящееся с помощью уголков 2, к верхней части опорной конструкции разъединителей, между изоляторами средней фазы.

Испытание производится следующим образом.

\* П. И. Гедима, Профилактические испытания штыревых и опорных изоляторов методом механической нагрузки, „Электрические станции“, № 8, 1942 г.

Муфта 5 устанавливается прорезью к испытываемому изолятору. Трос от рычага проходит через ролик 3 и заканчивается петлей на головке изолятора; в точке 9 рычага  $OB$  подвешивается груз  $P$ .

При соотношении плеч  $OB : OA = 10 : 1$  усилие на головке изолятора окажется равным  $10P$ ; оно направлено перпендикулярно оси изолятора.

Рычаг имеет специальный, укрепленный на швеллере 10, ограничитель хода, препятствующий падению головки при ее поломке.

Приспособление позволяет производить испытания без отсоединения гибких токоподводов. Продолжительность испытания шести изоляторов одного разъединителя составляет 25—30 мин. и проводится двумя монтерами. Применение приспособления позволило выявить механические дефекты изоляторов.

В 1948 г. на подстанции 35 кВ тэц были испытаны на механическую прочность 162 изолятора типа ШТ-35. При этом было отбраковано 5 шт. (3%). Испытательная нагрузка составляла  $200 \div 350$  кг. Перед испытанием на механическую прочность изоляторы не были испытаны штангой ввиду ее отсутствия в момент испытания. В 1949 г. из 50% прошедших испытание изоляторов не было отбраковано ни одного.

В установках, не имеющих измерительных штанг, испытание изоляторов повышенным напряжением переменного тока следует производить ежегодно по схеме рис. 4, позволяющей более полно выявить дефекты изолятора.

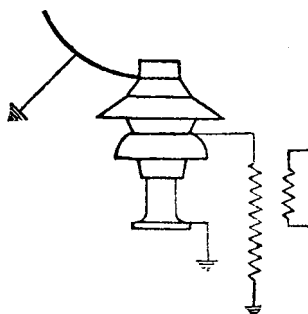


Рис. 4.

Для обеспечения надежной эксплуатации изоляторов типа ШТ-30 и ШТ-35 в установках 35 кВ на особо ответственных объектах можно рекомендовать проведение испытаний головок изоляторов на механическую прочность. Испытательная нагрузка  $200 \div 350$  кг, периодичность—1 раз в год.



# Сравнительные данные магнитоэлектрических логометров

Канд. техн. наук Ю. М. Элькинд

Логометры находят широкое применение благодаря незначительной зависимости их показаний от величины колебаний питающего напряжения. В практике эксплуатации электростанций магнитоэлектрические логометры находят применение для измерения температур, сопротивлений и т. д. Область их распространения значительно расширилась с тех пор, как их стали применять с выпрямителями в цепях переменного тока. Такие логометры, называемые детекторными, применяются в частотомерах, фазометрах, приемниках частотно-импульсной системы телеизмерений, в разнообразных приборах для измерений неэлектрических величин (давлений, уровней жидких и сыпучих тел и т. д.).

В ЦНИЭЛ Министерства электростанций были проведены испытания некоторых типов магнитоэлектрических логометров, выпускаемых отечественной промышленностью. В данной статье приводится описание этих логометров и основные результаты их испытаний<sup>1</sup>.

Теоретические основы магнитоэлектрических логометров нашли наиболее полное отражение в работах В. О. Арутюнова [Л. 1] и Л. Д. Розенберга [Л. 2].

Условием равновесия магнитоэлектрического логометра с подвижными катушками (в предположении равенства нулю моментов трения, токоподводов и неуравновешенности) является:

$$\frac{I_{d1}}{I_{d2}} = K \frac{B_2 l_2}{B_1 l_1} \quad (1)$$

где  $I_{d1}$  и  $I_{d2}$  — токи в катушках логометра;

$B_1$  и  $B_2$  — индукции в точках расположения катушек;

$l_1$  и  $l_2$  — активные длины катушек;

$K$  — постоянный коэффициент, определяющийся конструктивными данными логометра.

Устойчивое равновесие возможно лишь в том случае, если момент вращения хотя бы одной из катушек логометра находится в зависимости от угла поворота подвижной системы.

Из выражения (1) следует, что зависимость отношения токов от угла поворота подвижной системы можно получить путем осуществления логометров с переменной величиной индукции в

воздушном зазоре или с переменной активной длиной подвижных катушек.

Наиболее характерным параметром логометра является диапазон отношений  $\gamma$ , определяющий чувствительность логометра к отношению токов в его катушках

$$\gamma = \frac{\left(\frac{I_{d1}}{I_{d2}}\right)_{\max}}{\left(\frac{I_{d1}}{I_{d2}}\right)_{\min}} \quad (2)$$

где  $\left(\frac{I_{d1}}{I_{d2}}\right)_{\max}$  и  $\left(\frac{I_{d1}}{I_{d2}}\right)_{\min}$  — отношения токов в катушках логометра, соответствующие конечному и начальному отклонениям стрелки.

Часто применяются такие схемы измерений, при которых ток в одной из рамок логометра не меняется. Тогда, полагая в равенстве (2)  $I_{d2} = \text{const}$ , получим:

$$\gamma = \frac{I_{d1, \max}}{I_{d1, \min}} \quad (2')$$

Например, если  $\gamma = 1,2$  и ток, соответствующий начальному положению стрелки по шкале,  $I_{d1, \min} = 5 \text{ ма}$ , то вся шкала логометра перекрывается при изменении тока всего на 1 ма.

Диапазон отношений зависит от конструкции логометра и может иметь значения от единицы до бесконечности (или нуля). Логометры с большой чувствительностью к отношению токов имеют диапазон отношений, близкий к единице.

В зависимости от принятой схемы и необходимых пределов измерений к логометру предъявляются различные требования.

При измерении контролируемой величины в узких пределах от ее номинального значения, например измерения частоты переменного тока, температуры обмотки ротора генератора и т. п., необходим логометр с небольшим диапазоном отношений  $\gamma = 1,1-1,5$ . При сравнительно широких пределах измерений, например при измерении давлений пара, уровней жидких или сыпучих тел, емкостей конденсаторов и т. д., необходим логометр с большим диапазоном отношений  $\gamma = 2-10$ . При бесконечных пределах измерений, например при измерении сопротивлений электрической изоляции (мегаомметры), требуется логометр с бесконечным диапазоном отношений.

<sup>1</sup> Испытания проводились Е. Е. Ланюк (ЦНИЭЛ).

# Основные параметры магнитоэлектрических логометров союзного изготовления

Тип логометра	Максимальный угол шкалы, град.				Длина стрелки, мм	Угол между катушками, град.	Сопротивление катушечной рамки, ом	Момент токопроводов при $\alpha_{шк} = 50^\circ$ , мг·см	Удельный устанавливающий момент для $\alpha = 1^\circ$			Номинальный ток катушек, ма	$K = \frac{1}{10} M_{90} G^{1,5}$		Диапазон отсчетов $\gamma_{90}$ (для $\alpha_{шк} = 30^\circ$ , $I_{d_2} = 5$ ма)	Время успокоения, сек.	Вариации показаний при $I_{d_2} = 5$ ма, %		Дополнительные погрешности (в %) от					
									минимальный	максимальный	горизонтальное положение		вертикальное положение	горизонтальное положение			вертикальное положение	изменения на приращении (при $I_{d_2} = 5$ ма) на		изменения температуры на $50^\circ\text{C}$ при $I_{d_2} = 5$ ма	внешнего магнитного поля при $I_{d_2} = 5$ ма			
																		$\pm 10\%$	$\pm 10\%$		вертикального	горизонтального		
БЭ—490 <sup>1</sup>	235	90	45	60—70	3	0,5	0,9	5—10	0,45	0,81	1,61	3,8	0,4	0,12	0,22	0,33	0,2	0,1	0,85					
ЛМПУ <sup>2</sup>	90	110	180	40—45	0,8	2,4	3	2,5—5	0,4	0,49	2,71	2,6	0,6	0,1	0,1	0,2	—	0,11	1					
ЛПБ <sup>3</sup>	—	—	—	50—60	—	—	4	2,5—5	—	1,1	2	2,3	—	—	—	0,6	0,6	—	—					
УЗ <sup>4</sup>	120	90	30	50—60	32	1,7	3,7	5—10	1,8	3,9	1,96	3,5	0,55	—	0,9	1,9	—	0	0					
ЛМР <sup>5</sup>	90	103	180	150—200	2	0,9	2	5—10	0,69	1,55	1,3	1,3	0,5	—	0,5	0,7	0,6	—	—					

<sup>1</sup> Замерены стрелка, подпятники и поставлены безмоментные токоподводы.

<sup>2</sup> В заводском исполнении.

<sup>3</sup> По данным завода-изготовителя.

<sup>4</sup> Заменена стрелка, токопроводы моментные.

<sup>5</sup> Диапазон отношений может меняться в пределах от ~1,1 до ~2,4.

Ниже рассматриваются логометры с конечным диапазоном отношений.

Магнитоэлектрические логометры должны удовлетворять требованиям ГОСТ 1845-42. Опыт показывает, что, как правило, они могут отвечать классу точности 1.

Одним из первых типов логометрических приборов, изготавливаемых в Советском Союзе, был тип логометра, разработанный Г. Кульбуш и получивший наименование ЛМПУ [Л. 3]. Он выполнен со скрещенными магнитными полями и работает с переменной активной длиной катушек. Последнее достигается специальным профилированием сердечника. Сложный профиль сердечника затрудняет и удорожает их производство.

В настоящее время логометр ЛМПУ снят с производства и заменен логометром типа ЛПБ, выполненным со скрещенными катушками.

Сердечник имеет цилиндрическую форму. Расточка полюсных наконечников сделана также по окружности, но эксцентричной по отношению к сердечнику, так что воздушный зазор возрастает по направлению к краям полюсных наконечников. Выбор такой системы, применение магнита из никель-алюминиевой стали и ряд технологических и конструктивных улучшений значительно повысили механические свойства прибора и облегчили его изготовление. Однако, по электрическим характеристикам он мало отличается от логометра типа ЛМПУ и имеет менее равномерную, сжатую в средней части, шкалу. Данные логометров типов ЛМПУ и ЛПБ приведены в таблице.

За последние 8—10 лет появились новые конструкции магнитоэлектрических логометров. Постоянные магниты этих логометров отлиты из специальных сортов никель-алюминиевых сплавов и мало подвержены влиянию вибраций и старению. Из них остановимся на приборах типа БЭ и УЗ.

Прибор типа БЭ относится к логометрам со скрещенными катушками. Он состоит из постоянного магнита, полюсных наконечников и подвижной системы с полускрещенными катушками. Логометр работает с переменной активной длиной катушек. Диапазон отношений логометра зависит

от угла между катушками и может быть определен из формулы

$$\gamma_{\alpha} = \left( \frac{\beta + \phi}{\beta - \phi} \right)^2, \quad (3)$$

где  $\phi$  — угол между катушками;  
 $\beta$  и  $\delta$  — постоянные углы, зависящие от угла шкалы  $\alpha$ .

Следует иметь в виду, что с уменьшением угла  $\phi$  между катушками уменьшаются устанавливающие моменты и это обстоятельство ограничивает минимальные значения диапазона отношений.

Логометр типа БЭ в заводском исполнении имеет угол между катушками около  $45^\circ$  и диапазон отношений для шкалы  $90^\circ$  порядка  $1,5 \div 1,6$ .

Логометр типа УЗ, известный под названием логометра с внутрирамочным магнитом, имеет цилиндрический постоянный магнит, находящийся внутри скрещенных катушек. Он отличается исключительной компактностью и малыми габаритами. Этот прибор относится к числу логометров со скрещенными катушками и работает по принципу изменения индукции в воздушном зазоре.

Для получения заданного изменения индукции в воздушном зазоре на магнит накладывается профилированное кольцо из мягкой стали, которое уменьшает величину зазора и повышает индукцию до заданной величины. Расчет и метод осуществления заданного магнитного поля в логометре этого типа дан В. М. Шляндиным [Л. 4].

В заводском исполнении логометр типа УЗ имеет угол между катушками около  $30^\circ$ , а диапазон отношений для шкалы  $90^\circ$  — порядка  $2 \div 2,3$ .

На рис. 1 приведены зависимости  $\alpha_{шк}^0 = F(I_{d_1})$ , логометров типа ЛМПУ, БЭ, УЗ и ЛМР. Характеристики построены для шкалы  $90^\circ$  и неизменных значений тока в одной из рамок логометра  $I_{d_2} = \text{const}$ .

При осуществлении логометрических схем в практике эксплуатации весьма важно иметь возможность регулировки диапазона отношений ло-

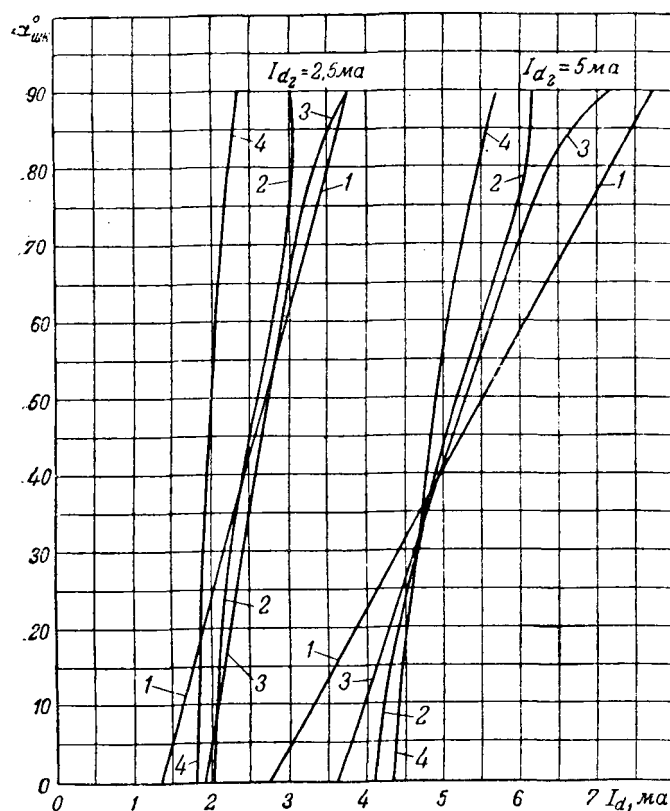


Рис. 1. Характеристики  $\alpha_{шк}^0 = F(I_{d1})$  для различных типов отечественных логометров.

1 — тип ЛМПУ,  $\gamma_{90} = 2,8$ ; 2 — тип БЭ;  $\gamma_{90} = 1,5$ ; 3 — тип УЭ,  $\gamma_{90} = 2,0$ ; 4 — тип ЛМР,  $\gamma_{90} = 1,3$ .

гометра. Если с этой точки зрения рассмотреть описанные конструкции логометров, то их следует разделить на две группы: 1) с рамками, находящимися в одной плоскости, и 2) со скрещенными рамками.

В первом случае диапазон отношений можно изменить только за счет изменения профиля полюсных наконечников или сердечника магнитной системы, с помощью соответствующей обработки этих деталей. Такое решение эксплуатационно неприемлемо и, кроме того, первоначальная величина диапазона отношений не может быть восстановлена.

Во втором случае изменение диапазона отношения логометра можно достигнуть также с помощью изменения угла между скрещенными катушками. Для этого необходима полная разборка подвижной системы логометра с последующей ее перебалансировкой. Эта операция возможна в эксплуатационных условиях, но она требует квалифицированного механика-прибориста. Поэтому желательно иметь логометр, в котором изменение диапазона отношений осуществлялось бы просто и не требовало квалифицированного мастера.

На рис. 2 приведена конструкция принятого к производству на заводе «Энергоприбор» Министерства электростанций логометра типа ЛМР с механической регулировкой диапазона отношений, со скрещенными магнитными полями и переменной величиной магнитной индукции в зазоре. Особенностью его является возможность перемещения подвижной системы вместе с сер-

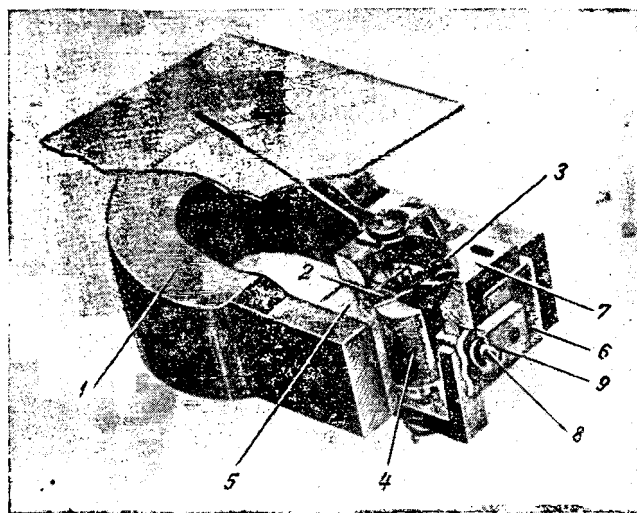


Рис. 2. Логометр типа ЛМР с механической регулировкой диапазона отношений.

дечником 4 в зазоре между полюсными наконечниками 5 и 6 магнита 1. Это позволяет механически изменять чувствительность логометра к отношению токов в катушках, т. е. его диапазон отношений.

Как видно из рисунка, подвижная система имеет две катушки 2 и 3, находящиеся в одной плоскости и перемещающиеся в отдельных зазорах, образованных цилиндрическим сердечником и полюсными наконечниками, расточка которых выполнена по цилиндрической поверхности.

Мостик 7, на котором закреплены сердечник и катушки вместе со стрелкой, осями, подпятниками и балансирами, имеет возможность перемещаться в небольших пределах по отношению к полюсным наконечникам. Для осуществления этого предусмотрен регулировочный винт 8, свободно проходящий сквозь неподвижную плату 9, жестко связанную с полюсными наконечниками и ввинчивающийся в тело мостика 7. При вращении винта 8 подвижная система логометра вместе с цилиндрическим сердечником перемещается. Положение мостика фиксируется установочными винтами на его крышке.

В среднем положении мостика оси цилиндрических поверхностей сердечника и полюсных наконечников совпадают, эксцентриситет равен нулю и в случае, если пренебречь краевым эффектом, магнитное поле в зазоре можно считать равномерным ( $\gamma = 1$ ).

При вращении винта 8 возникает эксцентриситет, равномерность магнитного поля нарушается и создаются условия для получения логометрической системы.

Изменяя величину эксцентриситета, можно изменять крутизну нарастания индукции в зазоре, а следовательно, и диапазон отношений логометра. При этом диапазон отношений может изменяться в пределах от единицы до максимально возможного значения.

Последнее определяется конструктивными параметрами логометра и практически может быть получено порядка  $\gamma = 2 \div 3$ .

Изменение индукции воздушного зазора в логометре типа ЛМР с достаточной для практиче-

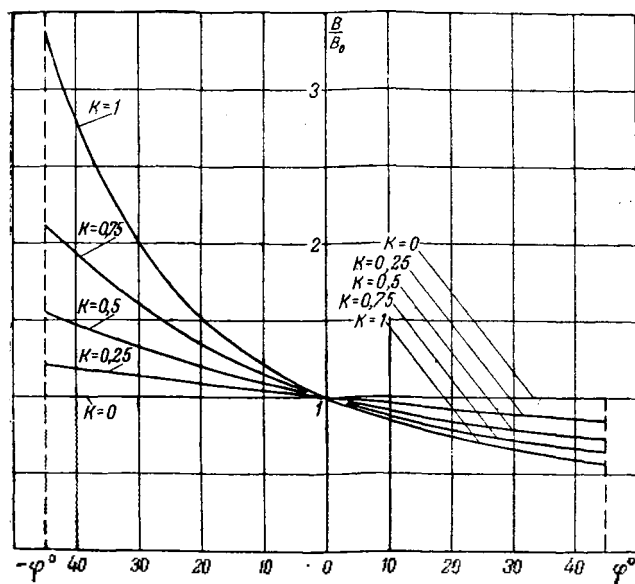


Рис. 3. Характеристика  $\frac{B}{B_0} = F(\varphi)$  для логометра ЛМР.

ских целей точно можно будет определено по следующей формуле:

$$\frac{B}{B_0} = \frac{1}{1 - \frac{b}{r} \sin \varphi} \quad (4)$$

где  $b$  — эксцентриситет сердечника;  
 $r$  — радиус расточки полюсных наконечников;  
 $\varphi$  — угол поворота подвижной системы.

На рис. 3 построены зависимости  $\frac{B}{B_0} = F(\varphi)$  по формуле (4) для значений относительного эксцентриситета  $K = \frac{b}{r}$  от нуля до единицы.

Как видно из этой зависимости, для рабочего участка логометра ( $\varphi = \pm 45^\circ$ ) и практически возможных значений  $K = 0,1 \div 0,3$  распределение индукции в зазоре имеет характеристику, близкую к линейной, и обеспечивает достаточно равномерную шкалу прибора.

На рис. 4 представлена зависимость диапазона отношений  $\gamma$  от относительного эксцентриситета  $K$  по формуле

$$\gamma = \left( \frac{1 + K \sin \varphi}{1 - K \sin \varphi} \right)^2 \quad (5)$$

для шкалы  $90^\circ$ , т. е. значений  $\varphi = \pm 45^\circ$ .

Описанный логометр был рассчитан и изготовлен в ЦНИЭЛ<sup>2</sup> и имеет размеры: диаметр сердечника  $\sim 18$  мм; диаметр внутренней расточки полюсных наконечников  $\sim 23,5$  мм; активная высота рамки 18 мм; ширина рамки 10 мм; число витков в каждой рамке 600 (проводом ПЭ диаметра 0,05 мм). Индукция в зазоре при нулевом эксцентриситете  $B_0 = 0,125$  вб/см<sup>2</sup>. При эксцентриситете  $b = 0,5$  мм, диапазон отношений  $\gamma_{90} \approx 1,3$ . Диапазон отношений можно изменять в пределах от 1 до  $\sim 2$ . Постоянный магнит логометра выполнен из никель-алюминиевой стали с магнитным потоком около  $2 \cdot 10^{-4}$  вб.

<sup>2</sup> Конструктивная разработка логометра типа ЛМР выполнена при участии В. С. Скитальцева (ЦНИЭЛ) и Д. П. Бородин (ЦНИЭЛ).

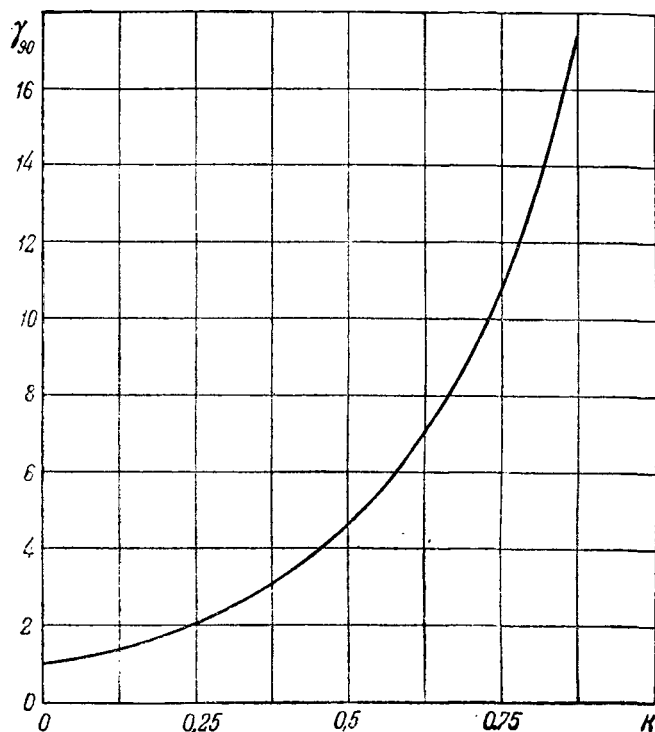


Рис. 4. Характеристика  $\gamma_{90} = F(K)$  для логометра типа

$$\text{ЛМР } \gamma_{90} = \left( \frac{1 + 0,707 K}{1 - 0,707 K} \right)^2.$$

В приведенной выше таблице указаны основные данные логометра типа ЛМР, изготовленного ЦНИЭЛ МЭС. Этот логометр применен в качестве измерителя для детекторных частотомеров, выпускаемых заводом «Энергоприбор».

## Выводы

1. При необходимости иметь логометр с малым диапазоном отношений ( $\gamma < 1,5 \div 2$ ) целесообразно применение прибора с механической регулировкой диапазона отношений типа ЛМР.
2. Для случаев, когда логометр должен иметь большой диапазон отношений ( $\gamma > 1,5 \div 2$ ), в особенности при необходимости иметь малогабаритное исполнение приемников, следует применять приборы со скрещенными рамками типа БЭ, УЗ или ЛПБ.
3. Логометр типа ЛМПУ можно применять только в тех случаях, когда его диапазон отношений ( $\gamma = 2 \div 2,5$ ) удовлетворяет требованиям измерительной схемы, так как изменение величины диапазона отношений этого прибора в эксплуатационных условиях трудно осуществить.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. О. Арутюнов, Теория, расчет и конструирование электроизмерительных приборов, под редакцией Н. И. Попомарева, Ленинград, 1943.
2. Л. Д. Розенберг, Некоторые вопросы теории и расчета магнитоэлектрических логометрических систем, Журнал технической физики, т. XIV, вып. 12, 1944.
3. Г. Кульбуш, Конструкция и расчет измерительного прибора с двойной вращающейся рамкой, «Точная индустрия», № 3, 1932.
4. В. М. Шлядин, Расчет и метод осуществления заданного магнитного поля логометра, «Измерительная техника», № 5, 1941.





# ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ

## Приборы для внутреннего вакуумирования бетона<sup>1</sup>

Вакуумирование бетонной смеси с помощью поверхностных вакуумприборов можно считать вполне освоенным методом. Однако, применение его ограничивается тем, что глубина обработки бетона не превосходит 25—30 см.

Дальнейшее применение этого метода обработки бетонной смеси зависит от создания возможности внутреннего вакуумирования путем применения специальных приборов.

Основным назначением вакуумприбора является, как известно, отсасывание воды из бетонной смеси. При этом,

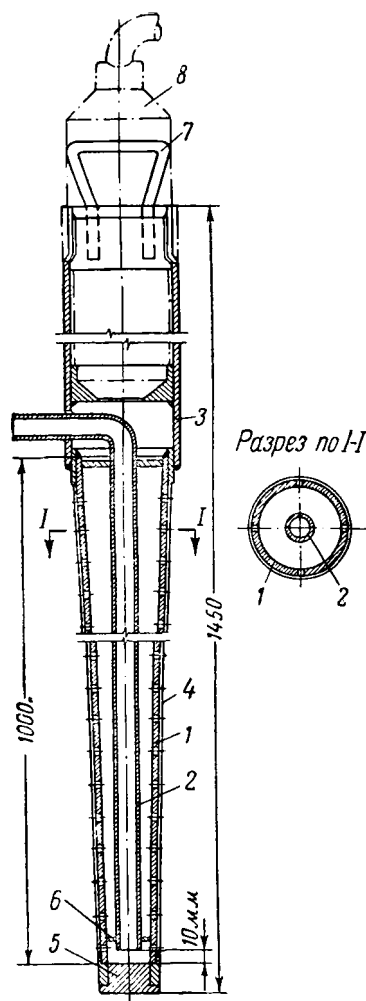


Рис. 1. Вакуум-стержень конструкции С. С. Гордона.

1—коническая трубка; 2—трубка; 3—трубка оголовника; 4—сетка 1 × 1 мм; 5—пробка; 6—распорное кольцо; 7—ручка; 8—съёмный вибратор.

с одной стороны, достигается ускорение и улучшение смазывания зерен цемента и тем самым ускорение процесса его гидратации, с другой стороны, значительно уплотняется бетонная смесь.

<sup>1</sup> По материалам статьи канд. техн. наук С. С. Гордона в журнале „Механизация строительства“, № 10, 1949 г.

Количество воды, отсасываемой вакуумполостью из бетона, при прочих равных условиях пропорционально поверхности вакуумполости. Поэтому условия отсасывания воды приборами для внутреннего вакуумирования значительно усложняются вследствие малой поверхности вакуумполости, приходящейся на единицу объема бетона.

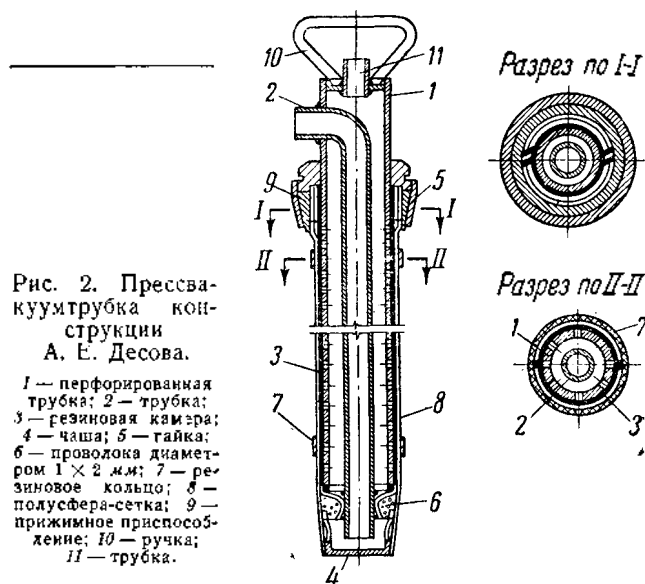


Рис. 2. Прессвакуумтрубка конструкции А. Е. Десова.

1—перфорированная трубка; 2—трубка; 3—резиновая камера; 4—чаша; 5—гайка; 6—провода диаметром 1 × 2 мм; 7—резиновое кольцо; 8—полусфера-сетка; 9—прижимное приспособление; 10—ручка; 11—трубка.

Родины приборов для внутреннего вакуумирования бетона является СССР. Работы над созданием начаты были у нас еще до войны.

Последние конструкции этих специальных приборов — вакуумстержень конструкции Гордона (рис. 1) и прессвакуумтрубка конструкции Десова (рис. 2), испытанные в полупроизводственных условиях, показали хорошие результаты, позволяющие перейти к опытному внедрению их на производстве.

Вакуумстержень состоит из конусообразной перфорированной трубки 1, обернутой в несколько слоев металлической сеткой с ячейками в 1 мм, образующей вакуумполость толщиной 2,0—2,5 мм; поверх сетки надет чехол из мешковины. Отсасываемая вода собирается в нижней части прибора, откуда отводится по трубке 2 к вакуумнасосу. Вибратор 8, выполненный съёмным в целях облегчения и удешевления прибора, позволяет осуществить целесообразное сочетание вибрирования и вакуумирования.

Конусная форма стержня облегчает его погружение в бетон вибрирующим воздействием и извлечение прибора из обработанного бетона.

Как показали опыты, усилие при извлечении из бетона конусного вакуумстержня длиной 1 м и средним диаметром 60 мм с применением вибрирующего воздействия составило 10—12 кг.

Дальнейшее снижение трения при извлечении вакуумстержня возможно достигнуть путем оставления в бетоне чехла из мешковины, с последующим его извлечением.

Вес вакуумстержня приведенных выше размеров составляет около 14 кг (без вибратора).

Прессвакуумтрубка состоит из перфорированной трубки 1, на которую надета резиновая камера 3. Трубка с камерой охвачена снаружи двумя независимыми полусферами 8, изготовленными из металлической сетки с

ячейкой 1 мм, сложенной в несколько слоев для образования вакуумности толщиной 2—2,5 мм.

Полусферы припаяны сверху к прижимному приспособлению 9, а снизу — к чаше 4. В средней части обе полусферы обжимаются резиновыми кольцами 7. Поверх полусфер надевается чехол из мешковины.

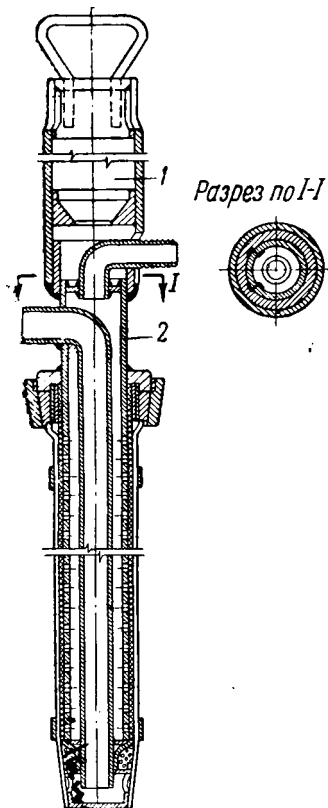


Рис. 3. Прессвакуумтрубка конструкции Десова-Гордона.  
1 — вибратор; 2 — прессвакуум-трубка.

Закрепив в прессвакуум-трубке оголовник для съемного вибратора (рис. 3), можно погружать ее в бетон вибрационным воздействием и получить в то же время заманчивую возможность сочетания в одном приборе вибрирования, вакуумирования и прессования.

Испытание обоих описанных приборов производилось в полупроизводственных условиях при бетонировании армированных и неармированных колонн  $30 \times 30 \times 100$  см.

Режим обработки армированных колонн с помощью вакуумстержня был следующим: вакуумирование при разрежении 500 мм рт. ст. — 5 мин.; вибрирование — 30 сек.; вакуумирование — 15 мин. и снова вибрирование — 30 сек.

Повторное вибрирование улучшило уплотнение бетона и сцепление его с арматурой и предохранило от образования трещины при извлечении прибора.

Режим обработки с помощью прессвакуумтрубки: одновременное вакуумирование при разрежении 500 мм рт. ст. и прессование под избыточным давлением 1 ат в течение 20 мин.

Сравнение описанных приборов позволяет сделать следующие предварительные выводы:

1. Конструкция вакуумстержня проста в изготовлении, но прессвакуумтрубка может быть изготовлена более длинной (до 2 м против 1—1,5 м вакуумстержня).

2. Количество воды, отсасываемое прессвакуумтрубкой, при одинаковом разрежении примерно на 25% больше, чем вакуумстержнем.

3. Прессвакуумтрубка лучше уплотняет бетон.

4. Оба прибора просты в эксплуатации и могут применяться для обработки бетона в колоннах, балках, прогонах и т. п.

5. Для неармированных и среднеармированных конструкций в обычных условиях достаточно применять вакуумстержень. Для густоармированных конструкций и в зимних условиях следует отдать предпочтение прессвакуумтрубке, как дающей лучшие результаты.

6. Существенный эффект, ожидаемый от внедрения внутреннего вакуумирования бетона, заставляет желать скорейшего завершения испытаний описанных приборов при их большей длине и в производственных условиях.

В. З.

## Штукатурные работы при отрицательных температурах

Техническим управлением Минтяжстрой издана временная инструкция по применению предложенного инж. Н. Н. Березиним нового метода производства штукатурных работ при отрицательных температурах, с применением хлорированных растворов. Этим методом можно выполнять в сильные морозы даже оштукатуривание фасадов, не говоря уже о внутренних штукатурных работах, которые могут производиться зимой без всякого отопления оштукатуриваемых помещений и без обогрева их поверхности.

Изготовление хлорированных незамерзающих растворов может быть выполнено на строительной площадке. Получаются эти растворы путем затворения обычных сложных или цементно-песочных растворов не на обычной, а на «хлорированной» воде.

«Хлорированная» вода является водной вытяжкой хлорной извести и получается путем растворения хлорной извести в воде и отстаиванием вытяжки от нерастворенного остатка.

Для затворения на хлорированной воде пригодны только цементно-известково-песчаные или цементно-песчаные растворы. Известковые и известково-гипсовые растворы для этого непригодны.

Хлорированные штукатурные растворы могут применяться при температурах до  $-25^{\circ}\text{C}$  для всех видов штукатурных отделок, кроме отделок повышенного качества.

Применяемая для хлорированных штукатурных растворов известь должна удовлетворять требованиям ГОСТ 1692-46 на «рядовую известь хлорную». Она поставляется в готовом виде и представляет собой порошкообразный продукт белого цвета (получается путем хлорирования гашеной извести — пушонки газообразным хлором).

Защищающее от замерзания строительных растворов действие хлорной извести основывается на наличии в хлорированных вяжущих свободной хлорноватистой кислоты, которая настолько повышает пластичность раствора, что обеспечивает удобство его нанесения даже при  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Материалами для хлорированных растворов могут служить как портланд-цемент, так и шлако-портланд-цемент, в том числе и малоклинкерный шлаковый цемент. Известь (обычная) применяется в виде теста, пушонки или молотой кипелки. Известковое тесто, и пушонка не должны содержать непогасившихся частиц. В качестве пластифицирующей добавки может применяться мелкозернистая смесь сухой кирпичной глины (20%) с доменным гранулированным шлаком (80% по весу). Заполнителем для растворов могут служить различные пески (речные, горные, озерные и искусственные, полученные путем размола горных пород и гранулированных доменных шлаков).

Приготовление хлорированной воды может производиться или на стройобъектах в упрощенной установке или в стационарной (заводской) установке. Непосредственно на стройобъекте приготовление хлорированной воды производится следующим образом. Металлический котел заполняется обычной водой, которая подогревается до  $35^{\circ}\text{C}$ . В нее засыпается хлорная известь (12—15 кг на 100 л воды), которая хорошо перемешивается с водой. После этого раствор хлорной извести оставляется в покое на 1—1½ часа.

При приготовлении хлорированной воды необходимо остерегаться:

а) применения хлорной извести, не удовлетворяющей ГОСТ 1692-46; в такой извести может иметься свободный хлористый кальций, что приведет к образованию на штукатурке выцветов;

б) перегрева воды выше  $35^{\circ}\text{C}$ , так как при этом хлорная вода в значительной степени теряет свою активность вследствие уменьшения содержания в ней активного хлора;

в) неполного отстаивания воды после перемешивания, так как муть хлорной воды, попадая в штукатурные растворы, вызывает образование трещин и дутиков.

Контроль качества хлорированной воды производится в лаборатории. Отстоявшаяся водная вытяжка хлорной извести — хлорированная вода — должна содержать  $\text{CaCl}_2\text{O}$  от 70 до 100 г/л.

Рабочие, занятые загрузкой хлорной извести в котел, должны иметь респираторы, противогазы, резиновые перчатки и прорезиненные фартуки, так как хлорная известь разрушает обычную одежду и вредна для организма. Помещение, в котором готовится хлорная вода, должно хорошо вентилироваться. При организации стационарной установки аппаратура должна быть коррозионностойкой, а коммуникации ее должны изготавливаться из резиновых шлангов. Расходный резервуар установки должен быть снабжен подогревающим устройством для обеспечения регулирования температуры водной вытяжки хлорной извести.

Приготовление зимних растворов может производиться на центральном заводе растворов или на стройобъектах. Приготовление растворов производится обычным способом, только раствор затворяется на хлорированной воде. Для штукатурки по кирпичным, шлакоблочным и деревянным поверхностям применяются растворы сложного состава 1:1:6 (цемент:известь:песок) или растворы состава 1:1,5:6 (цемент:смесь глины со шлаком:песок). Для затирок по бетонным поверхностям следует применять цементный раствор от 1:2,5 до 1:3.

Известковое тесто для зимних растворов применяется с температурой не ниже  $+5^\circ\text{C}$ , песок должен подогреваться до температуры не ниже  $+30^\circ\text{C}$ . Хлорированная вода должна иметь температуру не ниже  $+10^\circ\text{C}$ . Степень подогрева материалов обуславливается температурой приготовления раствора, которая назначается в зависимости от температуры наружного воздуха.

Температура наружного воздуха	Температура раствора при выходе из растворомешалки	
	в тихую погоду	в ветреную погоду
0 до $-10^\circ\text{C}$	$+10^\circ\text{C}$	$+15^\circ\text{C}$
$-11$ до $-20^\circ\text{C}$	$+20^\circ\text{C}$	$+25^\circ\text{C}$
$-21$ до $-25^\circ\text{C}$	$+25^\circ\text{C}$	$+30^\circ\text{C}$

Температура штукатурного раствора в момент нанесения и затирки должна быть не ниже  $+5^\circ\text{C}$ . Для уменьшения теплопотерь растворы должны транспортироваться с завода и храниться на стройобъекте в утепленной таре.

Выполнение штукатурных работ хлорированным раствором допускается по деревянным, каменным (из шлакоблоков и кирпича) и бетонным поверхностям.

Оштукатуривание стен и столбов, сложенных методом замораживания и неоттаявших (неотогретых), не допускается, так как вследствие осадки стен при обогреве произойдет отслоение штукатурки. При ведении зимней кладки с применением хлорированных растворов, не дающей при оттаивании осадки, штукатурка производится без ограничений.

Нанесение штукатурного намета на поверхность может производиться как ручным, так и механизированным способами (растворонасосами). Нанесение штукатурного намета на поверхность с наледью категорически запрещается.

При нанесении намета каждый следующий слой наносится после достаточного загустевания предыдущего слоя. После нанесения последнего слоя грунта и его загустевания наносится накрывочный слой.

После затирки раствор остается в условиях окружающей отрицательной температуры и никаких мер по защите его от действия мороза и ветра не принимается.

Эта инструкция Технического управления Минтяжстроя рассмотрена Техническим управлением МЭС по строительству и монтажу и описанный метод одобрен к применению на строительствах Министерства электростанций.

## Из опыта ремонта котла парового крана

На одной из монтируемых электростанций применялся для погруочно-разгрузочных работ паровой железнодорожный кран типа «Ортон» грузоподъемностью 15 т. На кране был установлен котел вертикально-трубчатой конструкции производительностью 0,5 т/час, давлением 10 ат (см. рисунок). Диаметр барабана 1230 мм, высота барабана 2310 мм.

При очередном осмотре котла в перемычках трубных решеток были обнаружены дефекты и трещины, которые не позволяли дальнейшую эксплуатацию котла без смены решеток.

Произвести эту операцию силами монтажной площадки было невозможно из-за трудности изготовления новых решеток (как видно из рисунка, обе трубные решетки имеют отбортованные края), заказ же решеток на заводеazoleк бы за собой длительный выход крана из строя, что являлось совершенно неприемлемым.

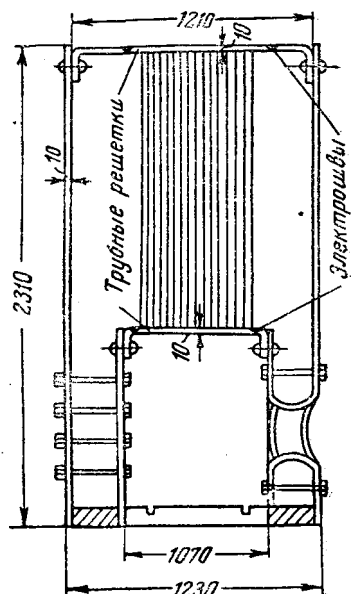
Было принято следующее решение: части решеток, включающие трубные гнезда, вырезать автогеном, заготовить новые части взамен вырезанных, просверлить, в них трубные гнезда и после тщательной подгонки сварить их электросваркой в оставшиеся прикрепленными отбортованные части, после чего вставить и развальцевать трубы (96 шт.).

Такой вариант ремонта вызывал серьезные опасения. В нижней трубной решетке сварной шов будет находиться очень близко от заклепочного шва, вследствие чего не исключена возможность при проведении сварки расстройств заклепочного шва от температурных влияний. Переклепать же этот шов было и трудоемкой и нежелательной операцией. В верхней решетке это обстоятельство не вызывало опасений, так как сварной шов лежал значительно дальше от заклепочного шва.

По предложению одного из стахановцев-сварщиков котел был поставлен в вертикальное положение, и нижняя часть его была наполнена водой до уровня заклепочного шва с целью равномерного отвода тепла при проведении сварки.

При гидравлическом опробовании котла после ремонта оба заклепочных шва нигде не дали течи и котел по разрешению Котлонадзора был включен в дальнейшую работу.

Инж. Н. Л. Бутенко



## Кислородная рампа, оборудованная индивидуальными редукторами

Преимущества рамповой разводки кислорода хорошо известны монтажному персоналу.

На одной из электростанций во время монтажа котлов 200 т/час работниками Центрэнергомонтажа была осуществлена рамповая разводка кислорода, отличающаяся от применяемой обычно конструкции кислородной рампы тем, что вместо дефицитного рампового редуктора были применены обыкновенные, индивидуальные одно- и двухкамерные кислородные редукторы (рис. 1).

Для коллектора из труб диаметром 83/75 мм соединяются каждый с пятью кислородными баллонами посредством спиральных змеевиков, изготовленных из красномедных трубок диаметром 8/6 мм. Эти коллекторы в свою

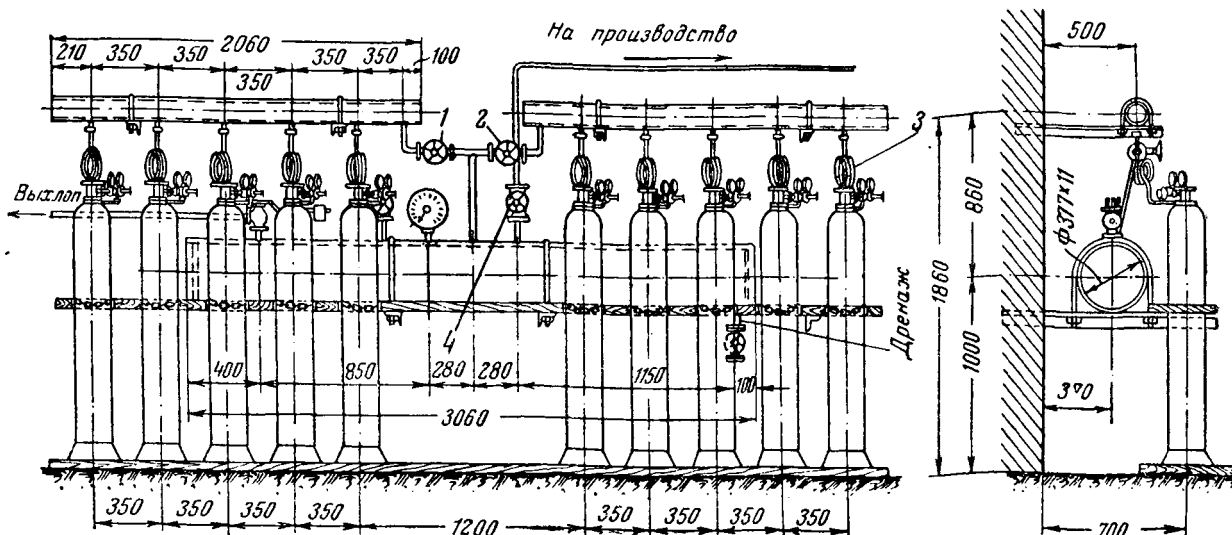


Рис. 1.

очередь при помощи трубок диаметром 25 мм и вентилей 1 и 2 соединяются с ресивером, изготовленным из цельнотянутой трубы диаметром 377 × 18 мм. Ресивер имеет манометр, предохранительный клапан диаметром 25 мм, отрегулированный на 10 ат, дренажный штуцер диаметром 25 мм с вентилем и два штуцера с вентилями диаметром 32 мм, от которых идут трубы диаметром 38/32 мм на производство.

Включение в работу раппы происходит следующим образом. Устанавливают на свои места все десять кислородных баллонов, которые закрепляются цепочками. После этого устанавливают на баллонах редукторы, которые постоянно закреплены посредством накидных гаек на змеевиках 3. Затем пять кислородных баллонов одной половины раппы открываются, и редукторами устанавливается давление 6—7 ат. Когда редукторы всех пяти баллонов отрегулированы на необходимое давление и кислород заполнил один из верхних коллекторов, открывают вентиль 1 и кислород заполняет ресивер. Манометр на ресивере укажет давление кислорода. Для того чтобы дать кислород на рабочие места, следует открыть на ресивере вентиль 4.

Когда эти пять баллонов опорожняются, открывают пять баллонов другой половины раппы, устанавливают редукторами такое же давление, что и в ресивере, и, открыв, вентиль 2, сообщают второй коллектор с ресивером. После этого закрывают вентиль 1 к первому коллектору и меняют пять опорожненных баллонов на полные.

Таким образом, обеспечивается непрерывная подача кислорода на рабочие места.

На кислородной раппе устанавливаются обыкновенные проходные вентили завода ВАЗ на  $P_{\text{вкл}} = 65$  ат. Кислородный пост на рабочих местах изображен на рис. 2.

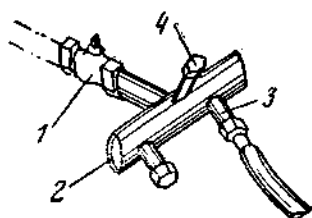


Рис. 2.

том краника продувает линию для удаления скопившейся в ней влаги. Затем подсоединяет к штуцеру шланг, и пост включен.

На магистральной линии разводки, в самых низких точках, необходимо ставить водоотстойники.

При монтаже раппы и всей кислородной разводки необходимо:

- 1) сальниковую набивку всей арматуры заменить шнуровым прографиченным асбестом;
- 2) всю арматуру перед установкой ее на место тщательно промыть в дихлорэтано так, чтобы на ней не осталось масла;

3) перед пуском раппы в эксплуатацию ее и всю разводку хорошо продуть паром для очистки трубок, коллекторов и ресивера от масла и жира;

4) все резьбовые соединения арматуры с трубами производить не на сурике, и на прографиченном шнуровом асбесте;

5) обратить особое внимание на плотность как всей кислородной разводки, так и особенно на плотность закрытия накидными гайками штуцеров на коллекторах кислородных постов.

На монтаже одной из тэч такая раппа уже работает продолжительное время без каких-либо перебоев. При 14—15 газорезчиках и газосварщиках легко поддерживается постоянное давление кислорода.

Расход кислорода снизился на 10—15%; достигнута большая экономия в кислородных шлангах и редукторах; стало гораздо удобнее, легче и надежнее работать.

Такую установку следует рекомендовать к широкому применению на монтажных площадках.

Инж. П. Ф. Джурихин

## Прибор для замера равномерного затягивания болтов

На одной электростанции Белоруссии в 1948 г. производился монтаж турбогенератора.

При сборке ротора генератора была обнаружена поломка болтов специальной бронзы, которые крепят вал к бочке ротора генератора.

Для замены дефектных болтов было решено снять болты с аналогичного поврежденного генератора такой же мощности. Для проверки надежности болтов, а также для обеспечения равномерной затяжки болтов был сконструирован и изготовлен в мастерских электростанции прибор типа динамометра (рис. 1). При помощи этого прибора было установлено, с каким усилием были затянуты болты при сборке на заводе, а также были выявлены все дефектные болты, имевшие малозаметные трещины.

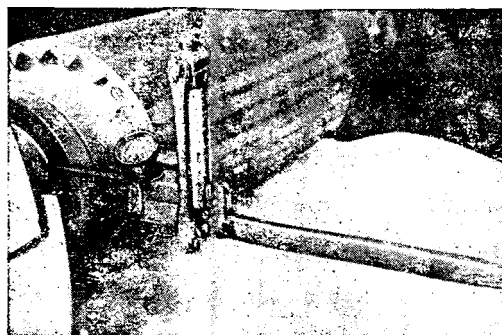


Рис. 1. Общий вид динамометра.

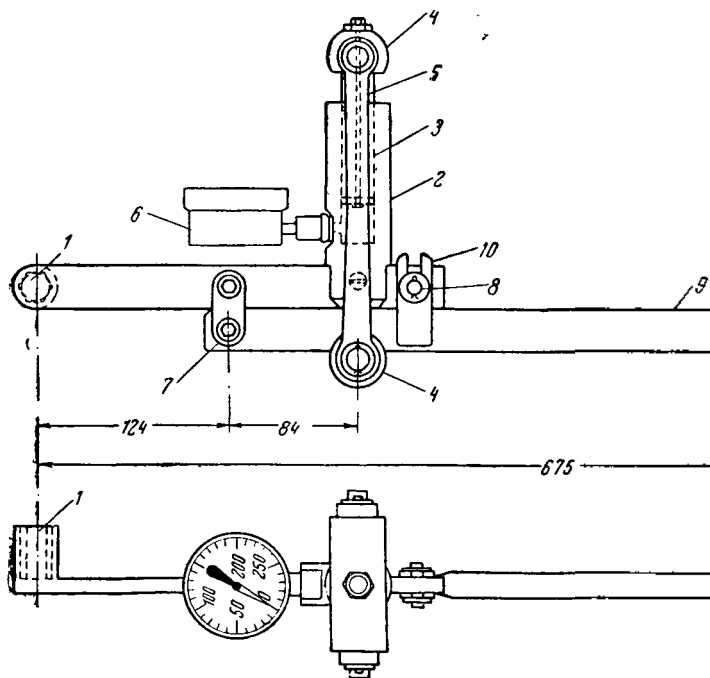


Рис. 2. Схема динамометра.

Принцип действия прибора заключается в следующем (рис. 2).

Ключ 1 вставляется на головку болта, производится нажим на рычаг 9. Рычаг 9 подвижно связан с рукояткой ключа 1 при помощи серег 7. Тяги 5 соединяют верхнюю траверсу 4, прикрепленную к поршню 3 цилиндра 2, и нижнюю, приваренную к рычагу 9. Цилиндр 2 имеет в нижней части прорезь по толщине рукоятки ключа 1 и крепится к ней неподвижно. Цилиндр, снабженный манометром 6, заполняется маслом. Поршень имеет манжет и продольное отверстие для выпуска воздуха при заливке масла в цилиндр. К рычагу 9 приварены направляющие планки 10, а в рукоятке ключа 1 закреплен палец 8. Направляющие планки 10 и палец 8 удерживают ключ 1 и рычаг 9 от осевого перемещения в момент нажатия.

Следовательно, при нажатии на рычаг 9 давление будет передаваться на поршень и через масло в цилиндре на манометр. Давление манометра покажет, какое усилие (в  $\text{кг/см}^2$ ) приложено при заворачивании или отворачивании болтов.

Ключ прибора может быть применен как с торцевой головкой (рис. 2), так и обыкновенный, одноконечный.

Прибор очень прост и может быть изготовлен даже в самых небольших мастерских.

Инж. А. В. Лашук

## Ускорение процесса соединения валов вертикальных гидроагрегатов

Соединение фланцев турбинного или промежуточного и генераторного валов является одной из наиболее ответственных и трудоемких операций при монтаже и ремонтах гидроагрегатов.

Процесс соединения валов заключается в том, что после выверки параллельности фланцев и центровки валов турбины и генератора турбинный вал подтягивают к генераторному и прочно сбалчивают фланцы валов.

Особенность соединения валов крупных гидроагрегатов заключается в том, что приходится поднимать чрезвычайно тяжелые элементы оборудования без каких-либо специальных подъемных устройств, одновременно тщательно соблюдая центровку валов. Высота подъема вала турбины должна быть больше высоты центрирующего выступа вала и может достигать 20 м и более.

В монтажной и эксплуатационной практике принято подтягивание вала турбины производить непосредственно соединительными болтами. При этом вал турбины поднимают на четырех болтах, до соприкосновения фланцев,

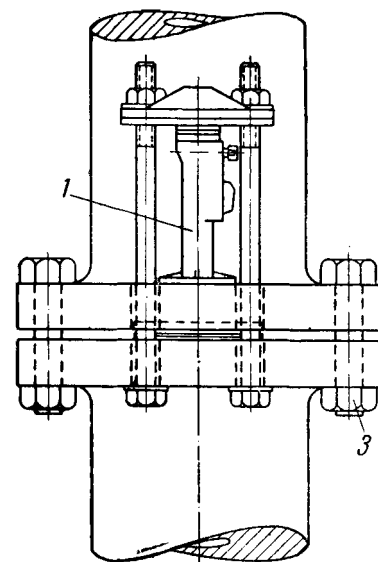
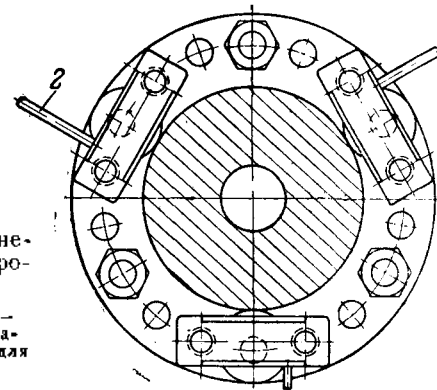


Схема соединения валов гидроагрегата.

1 — домкрат; 2 — рукоятка домкрата; 3 — болты для направления.



а затем окончательно сбалчивают и затягивают болты. Подъем вала производится затягиванием гаек соединительных болтов посредством ударов кувалды по рукоятке специального ключа и является процессом, весьма длительным и исключительно тяжелым физически, так как нагрузка на каждый болт достигает 90 т.

На монтаже агрегатов Днепровской гидроэлектростанции для соединения валов был предложен и применен способ подъема вала турбины домкратами.

Для осуществления подъема было изготовлено три довольно простых специальных приспособления, состоящих из двух болтов и подъемной балочки. Подъем производился тремя механическими домкратами грузоподъемностью 100 т каждый, которые ставились между болтами на верх генераторного фланца (см. рисунок). Вес рабочего колеса, турбинного и промежуточного валов равен около 200 т.

Описываемый способ дал исключительно хорошее качество соединения валов и значительное сокращение срока монтажа. Так, первый агрегат гэс соединялся подъемом на болтах в течение трех дней. На остальных агрегатах при подъеме домкратами продолжительность подъема с установкой приспособлений составляла не более одной рабочей смены.

Количество и грузоподъемность домкратов определяются весом вала с рабочим колесом и количеством отверстий под болты. Но ставить больше четырех домкратов не следует, так как обеспечить равномерность подъема при большем количестве их очень трудно. Применять лучшие механические домкраты, потому что пользование системой гидравлических домкратов одновременно в монтажных условиях исключительно неудобно и сложно.

Для направления фланцев необходимо до начала подъема вставлять часть болтов. После подъема и проверки плотности прилегания фланцев ставятся и затягиваются обычным порядком все соединительные болты.

Преимущества этого способа позволяют рекомендовать его для широкого применения на монтажах и при ремонтах вертикальных гидроагрегатов.

Инж. А. Н. Гончаров

# ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ

## Из опыта проведения скоростного комплексного ремонта котлоагрегата

Участком предприятия Союзэнергоремонт в 1949 г. был проведен скоростной капитальный ремонт котельного агрегата производительностью 45 т/час с механическими решетками для сжигания угля в слое.

Длительность простоя этого агрегата в ремонте планом была установлена в 20 дней, фактически же ремонт был выполнен за 8 суток и 22 часа. При этом была достигнута значительная экономия в трудозатратах, которые на собственно капитальный ремонт агрегата составили 3184 чел.-час против плановых 7545 чел.-час.

Столь значительное сокращение продолжительности простоя котла в капитальном ремонте было достигнуто, главным образом, за счет заранее проведенных подготовительных работ и правильной организации ремонта.

## Подготовка к ремонту

Весь объем подготовительных работ был выполнен по заранее разработанному графику в течение 11 дней и заключался в следующем. Для транспорта материалов, инструмента и деталей со склада на ремонтные площадки были приспособлены узкоколейные пути углеподачи и золоудаления и ленточный транспортер. Ремонтные площадки были оборудованы такелажем, приспособлениями, общим и низковольтным освещением; все необходимые материалы и детали доставлены на ремонтные площадки до начала работ; укомплектован, отремонтирован и проверен инструмент; дооборудована разводка сжатого воздуха на ремонтные площадки; изготовлен станок для индивидуальной опрессовки арматуры. Были составлены сводный и суточные почасовые бригадные и звеньевые графики работ, заменившие технологические карты (см. таблицу); подготовлены формуляры, акты поузловой приемки, разработан схема организации работ, а также схема установки заглушек. Произведен инструктаж ремонтного пер-

Примерный суточный (часовой) график звена по ремонту дымососов и вентиляторов  
(ремонт дымососа производительностью 90 000 м<sup>3</sup>/час, 735 об/мин.)

Бригадир:

№ по пор.	Наименование операций	Исполнители				Дни																Технические указания																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
		специаль- ность	количе- ство	тарифный разряд	Норма време- ни, чел.-час.	1								2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
						1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1	Снятие ограждения соеди- нительной муфты, 1 компл.	Слесарь	1	6	0,3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

При зазоре в ро-  
лико-подшипниках  
между верхней обой-  
мой и роликами бо-  
лее 0,15 мм сменить

Вибрация агрегата  
должна быть не бо-  
лее 0,05 мм. При на-  
личии большей виб-  
рации произвести ди-  
намическую баланс-  
ировку ротора

сонала и ознакомление его с методами проведения скоростного комплексного ремонта, с бригадными и звеньевыми графиками, правилами безопасности и противопожарными мероприятиями.

### Размещение ремонтных площадок и механизация работ

• В зольном помещении были размещены следующие площадки (рис. 1):

1) по ремонту дутьевых вентиляторов первичного воздуха, оборудования треногами, талыми, балансировочными и съемными приспособлениями;

2) для сортировки и пригонки кирпича и заготовки обмуровочных растворов с необходимыми для этой цели инвентарем и оборудованием.

В пристройке для дымоходов выделена была площадка для их ремонта, оборудованная также треногами, талыми, балансировочными и съемными приспособлениями.

На отметке обслуживания котелгаров располагались площадки:

1) по ремонту арматуры, оборудованная двумя верстакми с тисками, специально изготовленным станком для гидравлической опрессовки, электро- и ручными дрелями и приспособлением для притирки арматуры;

2) по ремонту механических решеток, оборудованная треногами, талыми и специальным прессом для правки бимсов механических решеток;

3) по ремонту поверхности нагрева, оборудованная верстаком и электроточилами.

На площадках были установлены инструментальные ящики и ящики для мелких деталей и крепежа.

Для горизонтального транспорта материалов, оборудования и запасных частей были использованы узкоколейные пути соловудаления, идущие от складов до ремонтных площадок на отметке 0 (рис. 2).

Установка ленточного транспортера обеспечила подачу материалов на отметку 4; подача материалов и деталей оборудования на различные отметки котла осуществлялась с помощью лебедки и талей.

Транспорт материалов на отметке 4 осуществлялся с помощью ручной тележки.

Для обмуровочных работ были использованы подвесные леса.

Организация ремонтных работ была тщательно продумана применительно к местным условиям. Рабочий персонал в количестве 50 чел. был разбит на 8 ремонтных бригад; по поверхности нагрева котла и перегревателя; водяному экономайзеру; арматуре; механическим решеткам; вращающимся механизмам и гарнитуру; обмуровке; по электродвигателям и по котлоочистительным работам.

Техник-нормировщик оформлял выдачу нарядов рабочим до того, как они приступали к работам, и корректировал их в случае изменения объема работ.

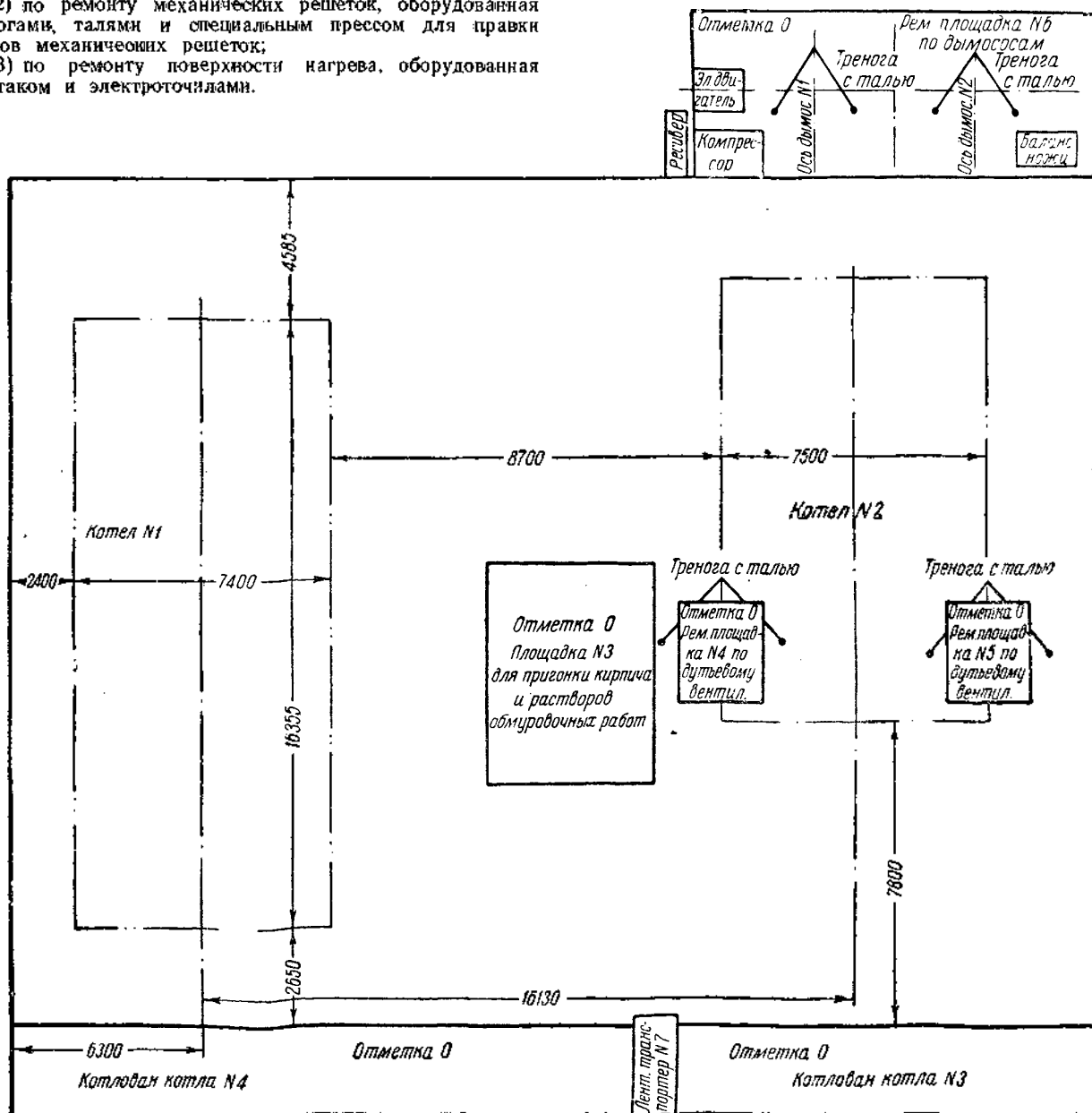


рис. 1. Планировка ремонтных площадок на отметке 0.



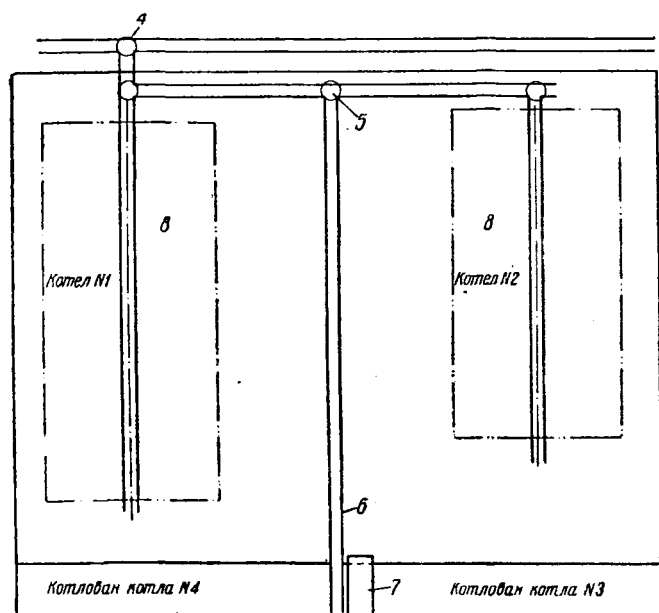


Рис. 2. Схема транспортировки материалов и грузов по отметке О.

1 — материалный склад; 2 — механическая мастерская; 3 — узкоколейный путь топливоподачи; 4 — поворотный круг золоудаления; 5 — вьюс установленный поворотный круг; 6 — дополнительный путь; 7 — ленточный транспортер; 8 — зольное помещение на отметке О.

### Объем выполненных работ

Объем капитального ремонта соответствовал типовой номенклатуре работ. Был выполнен ремонт паровой и водяной арматуры в количестве 108 шт., с устранением рисок и забоин на седлах и уплотнительных кольцах и заменой сальниковых уплотнений.

Вся арматура была индивидуально опрессована. Выполнена перекладка обмуровки фронтальной и боковых стен топки объемом 30 м<sup>3</sup>; расширены и уплотнены температурные швы; устранены присосы в обмуровке и обшивке котла. Отремонтированы две механические решетки площадью 34,6 м<sup>2</sup> с полной разборкой, ремонтом и сменой колосников, бимсов, ходовой части цепей, роликов, редукторов, заменой червяка и перестановкой червячных шестерен обратной стороной (ввиду отсутствия запасных шестерен); произведена регулировка и наладка работы механических решеток.

Выполнен ремонт с перецентровкой и балансировкой роторов: двух дымососов, двух вентиляторов первичного воздуха и двух вентиляторов вторичного воздуха; вибрация этих механизмов была снижена до 0,05 мм.

Проведен также ремонт 12 электродвигателей мощностью до 44 кВт и приборов теплоконтроля.

Трудозатраты по бригадам составили в (чел-час):

	По плану	Фактически
Поверхность нагрева котла и пароперегревателя . . . . .	1 202	512
Водяной экономизер . . . . .	508	256
Арматура и обмуровочные аппараты . . . . .	1 514	704
Механические решетки . . . . .	1 200	510
Обмуровочные работы . . . . .	1 450	576
Вращающиеся механизмы и гарнитура . . . . .	705	258
Котлодисты . . . . .	490	180
Электродвигатели и приборы . . . . .	476	188
	7 545	3 184

Котел после ремонта был принят эксплуатационным персоналом с оценкой «хорошо»; он работает без каких-либо дефектов. Это достигнуто в результате тщательной поузловой проверки качества выполненных работ с составлением промежуточных актов приемки и заполнением формуляров на отремонтированные узлы оборудования.

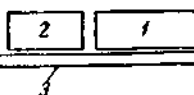


Рис. 1. Схема устройства муфельных горелок для топок с шахтными мельницами.

а — с общим вводом в топку вторичного воздуха и растопочных газов; б — с раздельным вводом в топку вторичного воздуха и растопочных газов.  
1 — шахта; 2 — муфель; 3 — подвод вторичного воздуха; 4 — общий вывод вторичного воздуха и растопочных газов; 5 — вывод вторичного воздуха; 6 — вывод растопочных газов.

Ход работ систематически проверялся на ежедневных диспетчерских совещаниях, на которых намечались необходимые мероприятия и уточнялись планы работ на следующий день. Выполнение работ освещалось на доске показателей, в стенгазете и в специально выпускаемых «молниях».

Инж. В. И. Абезгус

## О растопочных устройствах топок с шахтными мельницами

Опыт работы муфельных горелок, выполненных по схеме, показанной на рис. 1, с шахтными мельницами показал недостаточную их эффективность и эксплуатационные неудобства.

В связи с тем, что муфели располагаются между шахтами и фронтальной стенкой топки, обслуживание их приходится производить с боков. При такой компоновке весьма трудно производить подачу топлива в муфели из бункеров, и топливо приходится доставлять на отметку пола кочевара. Это создает дополнительную загрузку обслуживающего персонала и приводит к загрязнению котельной. Поэтому применение таких муфелей следует считать нежелательным.

Следующим существенным недостатком таких муфелей является неудовлетворительный подвод нижнего вторичного воздуха к аэропылевому потоку. Подвод вторичного воздуха к нижним воздушным отверстиям (шлицам) через колосниковую решетку осуществлять нецелесообразно, потому, что в муфеле создается давление, которое нежелательно из-за неплотностей в шуровочных дверцах.

Для быстрого восстановления погасшего факела или для поддержания горения в топке при низких нагрузках требуется длительное или постоянно поддерживать очаги горения на колосниковых решетках. Это, естественно, трудно сочетать с пропуском вторичного воздуха через решетки муфельных горелок.

Перечисленные обстоятельства явились основными причинами отказа ряда проектирующих организаций применять описанные компоновки и устанавливать муфельные горелки между шахтами и фронтальной стенкой при расположении мельниц на фронте котла.

Как показывает имеющийся проектный опыт, всегда удается создавать между шахтами расстояние не менее 900—1 000 мм и вписать муфель с решеткой шириной не менее 400—500 мм и длиной до 1 500 и даже 2 000 мм. Опыт пуска первых таких установок показал, что газы



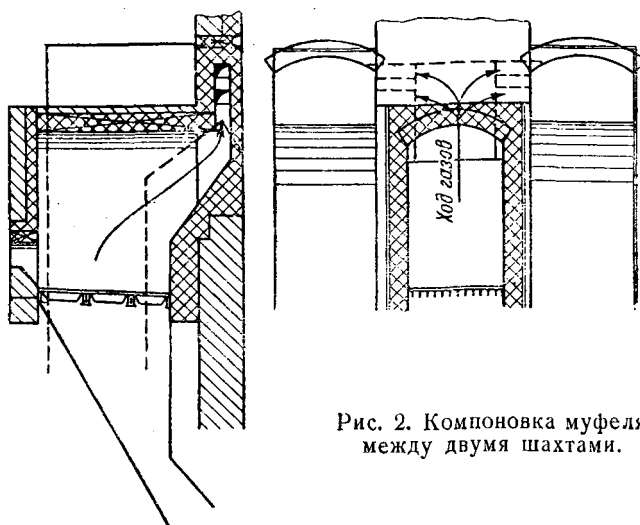


Рис. 2. Компонировка муфеля между двумя шахтами.

целесообразно подводить от муфеля к двум амбразурам с боков (рис. 2). Одна муфельная горелка достаточна для двух шахтных мельниц с односторонним выводом газов к амбразурам.

Размещение муфельных горелок между шахтами позволяет легко осуществить подвод топлива на решетки непосредственно из бункеров. Так как расход топлива на муфели весьма невелик<sup>1</sup>, можно мириться с тем, что на их решетки будет подаваться дробленый уголь, вызывающий увеличенный унос и потери с провалом.

Подача топлива из бункеров непосредственно к муфелям может быть осуществлена приспособлением, разработанным автором для ручных топок. Компонировка такого приспособления с муфельной горелкой показана на рис. 3.

Секторный затвор у бункера позволяет порционировать подачу топлива в муфель посредством тяги, выведенной к кочегару. Квадратный рукав сечением 250×250 мм, соединяющий затвор с муфелем, рекомендуется устанавливать с уклоном в пределах 45—48°. Рукав снабжается на нижнем конце чугунным патрубком, который замуровывается частично во фронтальной стенке муфеля. Конец чугунного патрубка защищается заслонкой, охлаждаемой водой. Эта заслонка нормально удерживается противовесом в верхнем положении и закрывает патрубок от лучистой теплоты.

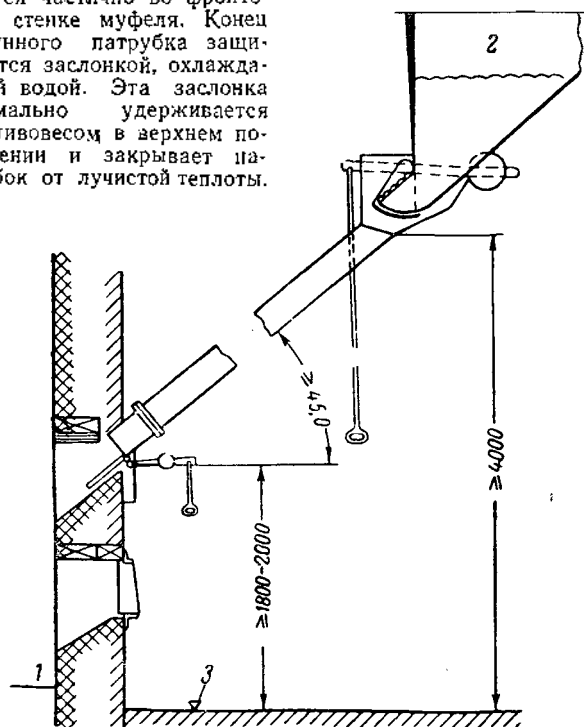


Рис. 3. Схема приспособления для механической загрузки колосниковой решетки муфеля.

1 — колосниковая решетка; 2 — бункер; 3 — уровень пола котельной.

<sup>1</sup> Это справедливо только для тех случаев, когда муфельные горелки используются лишь как растопочное устройство, а не для поддержания факела горения в топке. Р. е. д.

Поворачивая заслонку на различные углы, можно обеспечить подачу частиц угля на различные участки решетки по длине. По ширине топливо рассеивается наклонными направляющими ребрами, приваренными к заслонке.

Спускной рукав, соединяющий секторный затвор с чугунным патрубком, нормально всегда остается пустым. Кратковременным открытием секторного затвора опускается очередная порция угля в пустой рукав. В наклонном рукаве длиной не менее 2,5 м развивается необходимая скорость частиц угля, которые попадают на предварительно повернутую в требуемое положение заслонку и с нее соскальзывают на решетку.

Кочегар одной рукой открывает заслонку и вслед за этим другой рукой открывает на 2—3 сек. секторный затвор.

Описанное приспособление, выполненное на ряде котлов с ручными решетками, в настоящее время некоторыми проектными организациями применяют в проектах топок с шахтными мельницами.

Инж. Б. И. Радошинский

## О фосфатировании воды в котлах высокого давления

Необходимым условием надежной эксплуатации котлов среднего и особенно высокого давления является непрерывный ввод в котлы фосфатов.

Опыт эксплуатации котла высокого давления на одной тэц показал, что осуществление нормального фосфатирования с помощью обычного дозатора-вытеснителя вызывает большие затруднения.

В течение 9 мес. эксплуатации котла из-за неплотности вентилях дозирующего устройства имело место несколько случаев прекращения подачи фосфатов в котел, что недопустимо даже при питании котла конденсатом.

В связи с широким внедрением котлов высокого давления возникает настоятельная необходимость в оснащении заводами-изготовителями выпускаемых ими котлов не дозаторами-вытеснителями, а более надежными дозирующими аппаратами, работа которых не будет зависеть от нарушений плотности арматуры.

Наиболее целесообразно для этой цели применять специальные плунжерные насосы высокого давления<sup>1</sup>, обеспечивающие непрерывный ввод фосфатов непосредственно в котел.

Инж. И. Х. Мангушев

## Уплотнение горловин шаровых барабанных мельниц

В 1948 г. авторами была предложена и внедрена новая конструкция уплотнения горловин шаровых барабанных мельниц, не вызывавшая крупных переделок и больших затрат.

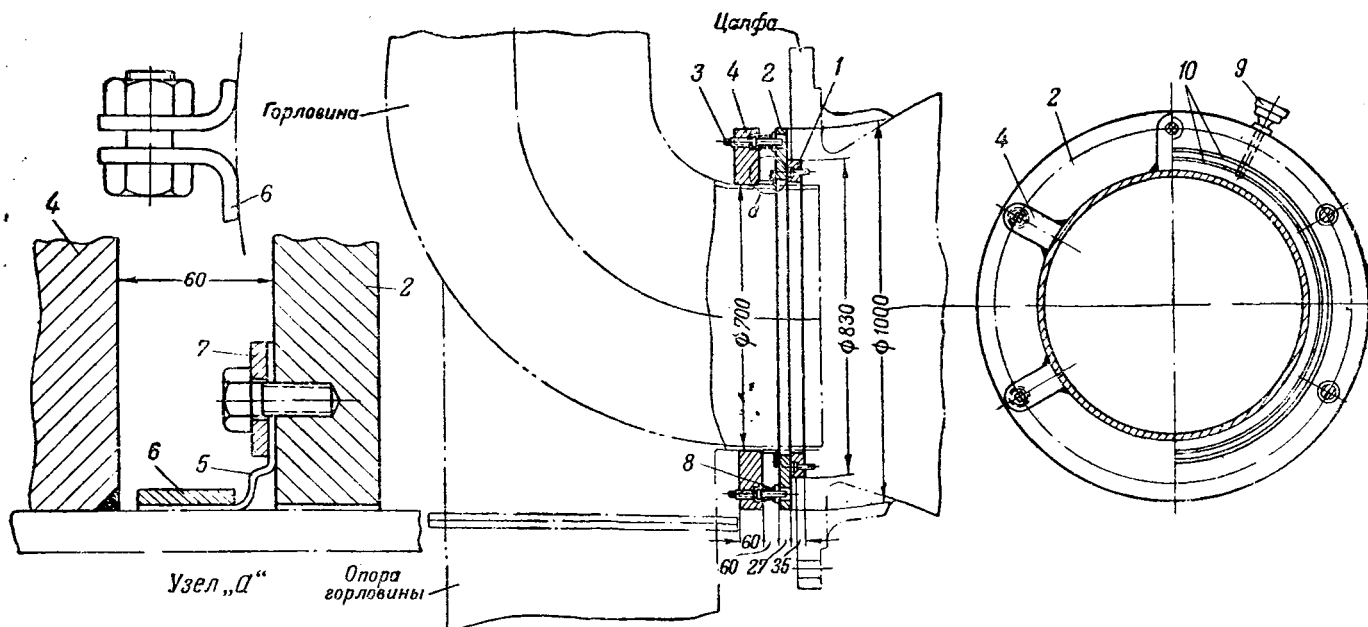
Конструкция (см. рисунок) имеет следующие основные детали:

1. Чугунное кольцо 1, которое вытаскивается по имеющейся впадине в цапфе и крепится по существующим отверстиям с резьбой винтами вплотную.

2. Стальное кольцо 2, вырезанное автогенем и обработанное с одной торцевой стороны на токарном станке: кольцо должно свободно висеть на винтах-пальцах 3.

3. Эластичный матерчатый рукав 5 (из прорезиненной транспортной ленты отделяются две прослойки, сшиваются в кольцо и надеваются на колесо). Рукав прижимается с одной стороны к колесу хомутом 6 и с другой стороны — разрезным кольцом 7 к кольцу 2. Рукав 5 должен быть герметичным; он устанавливается между хомутом 6 и кольцом 2 свободно, с напуском.

<sup>1</sup> По заданию Технического отдела Министерства электростанций разработан проект плунжерного насоса-дозатора для индивидуальной непрерывной подачи раствора фосфатов в паровые котлы высокого и среднего давления производительностью до 64 л/час. В 1950 г. указанные насосы будут изготавливаться Рижским турбомеханическим заводом Главэнергозапчастей. Р. е. д.



4. Стальные опоры 4, которые привариваются к колону на равных расстояниях по окружности в четырех-пяти точках. В опорах имеются отверстия с резьбой, в которые ввинчиваются пальцы 3.

5. Пружину 8 из проволоки диаметром 6 мм, насаженную на пальцы 3 и служащую для прижимания кольца 2 к кольцу 1. Сила нажатия пружины на кольца регулируется винтами 3. Кольца 1 и 2 при вращении мельницы находятся в непрерывном соприкосновении, чем и достигается уплотнение.

На кольце 2 устанавливается масленка 9 для смазки трущихся поверхностей колец. Смазка расходуется по концентрическому канавкам 10 кольца 2.

Описанное уплотнение установлено в 1948 г. на двух мельницах типа 232/380 и в эксплуатации дало хорошие результаты: за год его работы ремонта не требовалось, износ колец был незначителен.

Инж. А. П. Самусенко и инж. П. М. Кулишов

## Опыт борьбы с коррозией водяных экономайзеров

На одной тэц, где котлы работают с давлением пара 60 ат, при  $t = 425^\circ\text{C}$ , были установлены водяные гладкотрубные экономайзеры поверхностью нагрева для каждого агрегата по 287 м<sup>2</sup>. Экономайзеры были выполнены из прямых труб диаметром 41/51 мм и каждый конец трубы был ввальцован в стальной коллектор. Скорость воды равна 0,2 м/сек, скорость газов 6 м/сек.

Первые неполадки с экономайзерами возникли после пуска в работу котлов и были связаны с нарушением плотности труб в местах вальцовок. Было смонено до 200 дефектных труб и течи прекратились. После двух лет работы начали появляться сквозные свищи и разрывы труб в местах, удаленных от вальцовки. Повреждение труб шло с наружной поверхности. Наибольшее количество труб, пораженных наружной коррозией, было в нижних рядах экономайзеров, со стороны входа воды. Верхние ряды труб (зона высоких температур воды и газов) не имели признаков коррозии. Часть труб заменялась по 2 раза в год, а во время каждого капитального ремонта экономайзеров заменялось до 300 труб в каждом.

Одновременно с повреждением труб обнаружилось неплотности в лючках, вызванные частыми остановками экономайзеров для смены труб и разведением мест уплотнений лючков.

Период массовых повреждений труб продолжался в течение 8—9 лет. Причиной наружной коррозии труб служила недостаточная температура воды на входе в экономайзеры (100°С). По расчетам для предупреждения появления точки росы необходимо было поднять температуру питательной воды на входе в экономайзеры не

менее чем до 130°С. Температура воды была повышена путем установки у каждого агрегата водо-водяных подогревателей.

Питательная вода проходит вначале через водо-водяной подогреватель (рис. 1) по внутренним трубам, где нагревается на 30°С за счет тепла воды, вышедшей после экономайзера и прошедшей по наружным трубам.

Распределение температур воды по тракту показано на рис. 1.

Поверхность нагрева одного подогревателя составляет 2 м<sup>2</sup>. Подогреватели работают свыше 8 лет.

Для устранения течи труб из вальцовок и ликвидации большого количества лючков все экономайзеры были переделаны на змеевиковые. У каждого экономайзера были оставлены лишь по два коллектора, на входе и выходе воды. В результате были значительно сокращены объемы и сроки ремонтов экономайзеров и была ликвидирована течь из лючков и мест вальцовок труб.

Следующее мероприятие, проведенное тэц, преследовало цель устранения внутренней коррозии труб. Малые скорости движения воды в экономайзерах, до 0,2 м/сек, способствовали развитию коррозии при наличии даже ничтожно малого содержания кислорода в питательной воде.

Для повышения примерно в два раза скорости воды в экономайзерах все они были переделаны на двухходовые<sup>1</sup>, как показано на рис. 2.

Проведенные мероприятия позволили значительно уменьшить затруднения при эксплуатации экономайзеров. Однако, коррозия полностью не была ликвидирована.

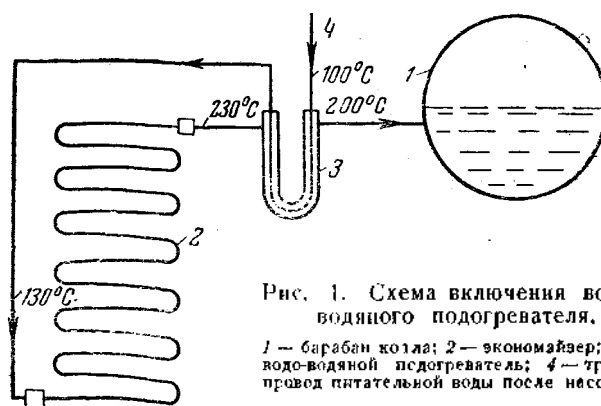


Рис. 1. Схема включения водо-водяного подогревателя.

1 — барабан котла; 2 — экономайзер; 3 — водо-водяной подогреватель; 4 — трубопровод питательной воды после насосов.

<sup>1</sup> При такой схеме движения воды в экономайзерах следует принимать меры к надежному удалению воздуха из первой ступени экономайзера во время заполнения его водой (см. заметку В. И. Могилева на стр. 54 этого номера журнала). Р. е. д.

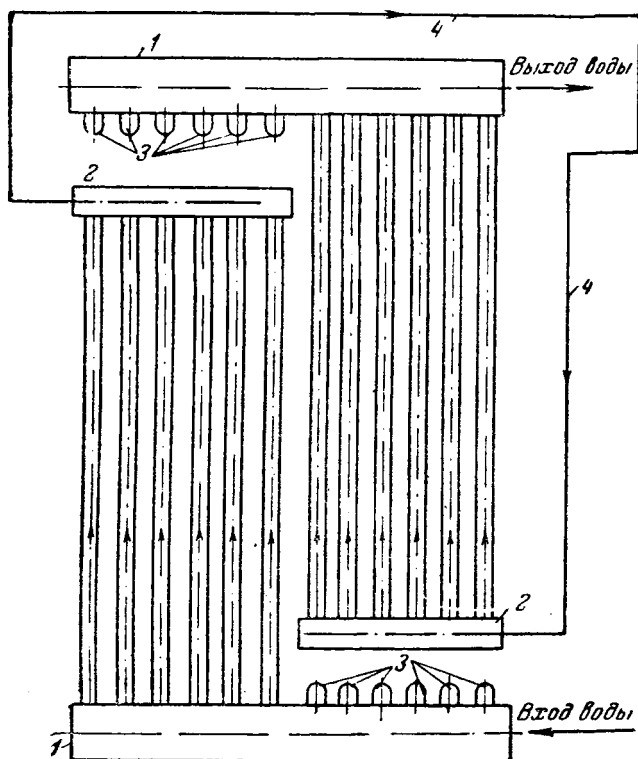


Рис. 2. Схема переделки одноходового экономайзера на двухходовой.

1 — старые прямоугольные коллекторы с лючками; 2 — новые безлючковые коллекторы из труб; 3 — пробки; 4 — перепускная труба.

Станция наметила еще ряд дополнительных мероприятий, которые будут проведены в ближайшее время:

- а) переход на обдувку труб экономайзеров воздухом вместо пара;
- б) увеличение поверхности нагрева водо-водяных подогревателей и их периодическая чистка;
- в) подвод горячей воды для наружной обмывки экономайзеров.

Двадцатилетний опыт эксплуатации показал, что из всех элементов котлоагрегата наиболее подвержены коррозии как с газовой, так и с водяной стороны стальные трубы водяных экономайзеров. На этот участок оборудования должно быть всегда обращено особое внимание.

Инж. В. М. Чернявский

## Улучшение схемы движения воды в экономайзере

Стальные гладкотрубные водяные экономайзеры иногда состоят из двух половин (правой и левой), причем для получения необходимых скоростей воды каждая половина такого экономайзера разделена на два блока, соединенных последовательно. Верхние и нижние коллекторы экономайзера разделены перегородками. В каждой половине питательная вода подается в одну из половин нижнего коллектора, поднимается по змеевикам в соответствующую половину верхнего коллектора, затем опускается по перепускной трубе во вторую половину нижнего коллектора и по змеевикам поднимается во вторую половину верхнего коллектора. Подогретая вода за экономайзером собирается в сборный коллектор и из него подается в барабан (рис. 1).

Как показывает опыт, при частичном испарении воды в отдельных трубках первых блоков водяного экономайзера во время растопки или в момент малого расхода питательной воды через экономайзер (при резких изменениях нагрузки или перепитке котла) движение воды в них не восстанавливается во весь последующий период работы агрегата. Паровой мешок в таком змеевике постепенно растет и температура стенки трубки приближается

к температуре газов. Предусматриваемое для отвода пара небольшое отверстие в верхней части перегородки верхнего коллектора не изменяет положения.

На одной из тэц Главвостокэнерго с целью увеличения экономичности котельного агрегата была увеличена поверхность нагрева водяного экономайзера с описанной схемой движения воды с 384 до 497 м<sup>2</sup>. С этой целью верхние коллекторы были подняты на 800 мм и соответственно удлинены верхние части змеевиков. После реконструкции расчетный запас до кипения в экономайзере снизился с 60 до 40° С.

Экономайзер до и после реконструкции представлен на рис. 2.

В течение 6 мес. работы агрегата после реконструкции произошло 8 случаев разрыва труб экономайзера, причем все разрывы находились в верхних частях первых блоков.

С целью выяснения причин разрывов образец поврежденной трубы был подвергнут лабораторному исследованию, в результате которого установлено:

- 1) трещина внутри трубки имеет примерно вдвое большую длину, чем снаружи;
- 2) кроме основной трещины на внутренней поверхности трубки имеются 7 несквозных трещин;
- 3) все трещины берут начало от рисок, оставшихся от волочения, и заполнены солями;
- 4) нарушения формы сечения и увеличения диаметра трубки нет;
- 5) микроскопическое исследование показало, что металл состоит из мелких зерен феррита и структурно-свободного цемента.

По заключению лаборатории, производившей исследование металла, подобные явления в металле в течение короткого промежутка времени могли произойти только при работе металла в области 600° С.

Для проверки этого заключения в стенки трубок экономайзера были зачеканены четыре контрольных термпары. При первой же растопке котла температура стенки одного из контролируемых змеевиков начала резко возрас-

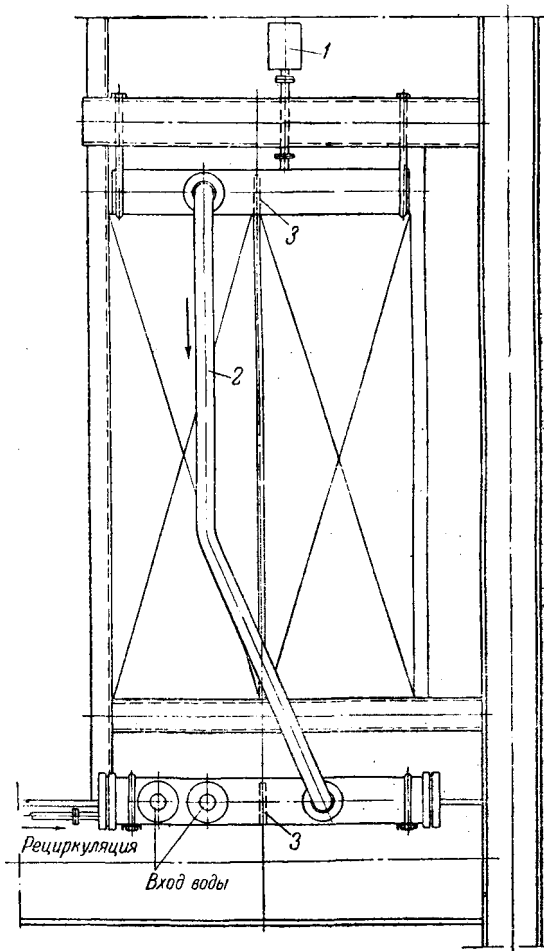


Рис. 1. Разрез экономайзера.

1 — вентиль; 2 — перепускная труба; 3 — перегородка.

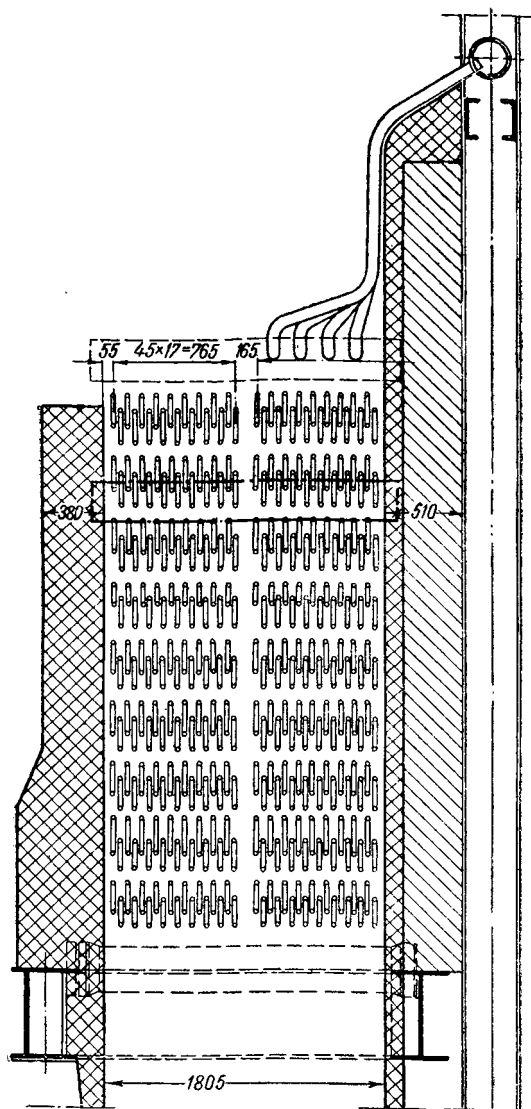


Рис. 2. Водяной экономайзер до и после реконструкции. Положение коллектора до реконструкции показано условным пунктиром.

стать и дошла до 530°С. В течение дальнейшей эксплуатации котла эта температура менялась в пределах 420—560°С. Восстановить режим змеевика усиленной продувкой экономайзера через вантуз в верхнем коллекторе не удалось. Температуры стенок контролируемых змеевиков в последующие дни работы котла приведены в таблице.

Температура стенок контролируемых змеевиков (°С)

Дата	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4
14/VII	220	530	210	180
15/VII	220	420	175	175
16/VII	210	440	175	175
20/VII	220	560	210	190

Для отвода пара в периоды растопок котла была смонтирована специальная линия диаметром 32/38 мм непосредственно из верхних коллекторов первых блоков в сборный коллектор. Этим усиливалась циркуляция в первых блоках и одновременно ухудшалась циркуляция во вторых блоках. При последующих растопках повышения температуры стенок не наблюдалось, но при работе котла с максимальной нагрузкой и при закрытой линии из пер-

вых блоков в сборный коллектор температура стенок змеевиков неоднократно поднималась до 400°С. При открывании дополнительной линии температура снижалась до нормальной.

## Выводы

Описанная схема движения воды в экономайзере является нецелесообразной. При такой схеме закипание воды в отдельных змеевиках первых блоков возможно даже при наличии запаса до кипения в конце экономайзеров. Ликвидация разрывов труб экономайзеров была достигнута после устройства постоянной продувки из первой по ходу воды половины верхнего коллектора в сборный коллектор экономайзера. На той же половине верхнего экономайзера целесообразно установить вантуз для удаления воздуха при заполнении экономайзера водой.

Инж. Б. М. Выморнов

## Применение сульфата закиси меди β-нафтолом при газовом анализе

Для поглощения СО при газовом анализе службой наладки, тепловых измерений и автоматики Горэнерго применяется сульфат одновалентной меди с β-нафтолом в серной кислоте ( $\text{Cu}_2\text{SO}_4 + \beta\text{-нафтол}$ ). Прибор, применяемый для этой цели, представляет собой обычный аппарат Орса с тремя поглотительными сосудами. Поглощение окиси углерода производится после поглощения углекислоты и кислорода.

Время поглощения составляет всего от одной до трех минут. Полное поглощение СО достигается после 3—4 „качаний“. Поглотительная способность реактива велика. Наша практика показала, что при содержании в дымовых газах СО до 1% (испытания котлов, работающих на торфе и на АШ) можно проводить свыше 60 анализов. Сульфат закиси меди с β-нафтолом полностью поглощает СО и не поглощает  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ .

Способ приготовления смеси сульфата закиси меди с β-нафтолом описан тт. Ждановым и Зельвинской<sup>1</sup>.

Полученную смесь следует защищать от воздействия воздуха, так как она постепенно поглощает из него кислород. Смесь лучше держать при температуре не ниже 15°С, так как β-нафтол при низкой температуре отделяется от остальных составляющих.

Как указывает тт. Жданов и Зельвинская и что подтвердилось в наших опытах, свежеприготовленный раствор работает хуже, чем постоявший 1—2 дня. Для приготовления этого раствора рекомендуется применять свежее осажденную закись меди<sup>2</sup>.

Величины СО, получаемые методом поглощения указанным реактивом, контролировались нами дожиганием (см. таблицу), причем поглощение давало несколько большие значения СО, чем дожигание. Следовательно, реактивом можно пользоваться без опасения получить неверные результаты.

Анализ газа на содержание СО при испытании котла, работающего на торфе

Дата	Топка	Метод поглощения	Метод дожигания
22/III 1949 г.	Левая . . . . .	0,15	0,108
	Правая . . . . .	0,18	0,10
23/III 1949 г.	Левая . . . . .	0,24	0,0
	Правая . . . . .	0,18	0,15
26/III 1949 г.	Левая . . . . .	0,23	0,174
	Правая . . . . .	0,24	0,188

<sup>1</sup> См. журнал „Заводская лаборатория“, № 10—11, 1939 г.

<sup>2</sup> Способ приготовления закиси меди дается в журнале „Заводская лаборатория“, № 10—11, 1939 г.

Анализы газа поглощением производились через 20 мин., всего за каждый опыт сделано было по 12—14 анализов по левой и правой топке. Величины  $\text{CO}$ , приведенные в таблице, взяты как средние за весь опыт. Дожигание проводилось средней пробой газа, отобранной в аспиратор. Газ в аспиратор отбирался каждые 20 мин. в момент забора газа для анализа поглощением.

Годовой опыт работы с реактивом  $\text{Cu}_2\text{SO}_4 + \beta$ -нафтаол показал, что реактив хорошо поглощает окись углерода, имеет большую поглотительную способность, достаточно прост в изготовлении. Метод определения  $\text{CO}$  поглощением очень удобен благодаря простоте производства анализа газа. Быстрое проведение анализа (12—15 мин.) дает возможность устанавливать неполноту горения в топке в любой момент времени и налаживать режим ее работы.

Инж. Я. З. Абрамович  
и инж. Л. А. Мейер

## Передача импульсов телеизмерения суммарной мощности токами высокой частоты по высоковольтной линии

В системе Молотовэнерго выполнено и находится в эксплуатации телеизмерительное устройство дальнего действия с передачей импульсов телеизмерения суммарной мощности токами высокой частоты по линии электропередачи высокого напряжения. Это устройство использует существующий высокочастотный канал телефонной связи, без его обработки для частоты, на которой производится телеизмерение.

Схема присоединения передатчика ВЧА-2 на передающем конце к каналу высокочастотной телефонной связи ДПК-20 показана на рис. 1.

При таком присоединении передатчика импульсов телеизмерения ВЧА-2 к высокочастотному вводу приемопередатчика ДПК-20 на передающем конце возможна одновременная работа обоих передатчиков, без заметных потерь высокочастотной энергии передатчиками ВЧА-2 или ДПК-20 и влияний, могущих возникнуть взаимно через их выходные контуры.

Объясняется это тем, что на пути утечки высокочастотной энергии от передатчика ДПК-20 через контуры передатчика ВЧА-2 включены две фильтрпробки, настроенные на резонанс токов: одна из них — для частоты 63 кГц, излучаемой передатчиком ДПК-20, вторая — для входящей частоты 91,5 кГц.

Утечки высокочастотной энергии от передатчиков импульсов телеизмерения ВЧА-2 через контуры передатчика ДПК-20 не происходит потому, что эти контуры, настроенные на резонанс напряжений двух крайних частот 63 и 91,5 кГц, оказываются настроенными на резонанс токов для средней квадратичной частоты. На этой последней, практически равной 81,5 кГц, работает передатчик импульсов телеизмерения ВЧА-2.

Третий последовательный контур, указанный на рис. 1, настроен на среднюю квадратичную частоту 81,5 кГц и служит для компенсации волнового сопротивления высокочастотной линии длиной 167 м и реактивного сопротивления конденсатора связи, через который передатчики ВЧА-2 и ДПК-20 подсоединены к линии электропередачи.

Осуществленная схема присоединения приемника импульсов к высокочастотному вводу ДПК-20 на приемном конце приведена на рис. 2.

Все, что было сказано в отношении схемы присоединения передатчика импульсов телеизмерения ВЧА-2 на передающем конце, справедливо и для схемы присоедине-

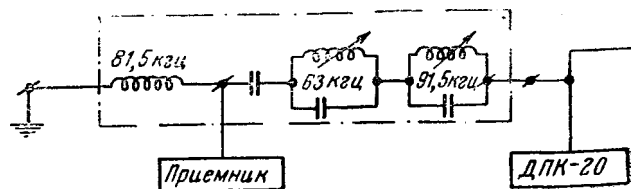


Рис. 2.

ния приемного устройства на приемном конце. В этом случае указанная схема присоединения с учетом применения приемника импульсов данной разработки дает возможность полной отстройки от мешающего влияния местного передатчика ДПК-20 высокочастотного канала телефонной связи на приемном конце.

В качестве передатчика ВЧА-2 использовал старый высокочастотный аппарат лаборатории им. Смурова в Ленинграде, предназначенный для работы в схемах направленных защит с высокочастотной блокировкой.

Для передачи импульсов телеизмерения токами высокой частоты передатчик был несколько переделан с целью повышения его колебательной мощности. Эта переделка заключалась во включении в постоянную, одновременную работу параллельно с работающими лампами имеющейся резервной генераторной лампы типа ГО-5 и лампы задающего генератора типа ТО-143. После указанной переделки его колебательная мощность приблизительно стала равной 10 Вт. В будущем предполагается этот передатчик перевести на металлические лампы с полным питанием от сети переменного тока.

Приемное устройство представляет собой пятиламповый супергетеродин на металлических лампах с полным питанием от сети переменного тока. Анодный ток выходной лампы типа 6-Г-7 изменяется в такт с входящими высокочастотными импульсами телеизмерения от своего максимального значения до нуля. Другими словами, на время существования импульса анодный ток спадает до нуля, а в течение всей паузы между импульсами по анодной цепи лампы проходит полный анодный ток. В анодной цепи этой лампы включено поляризованное реле, которое, следуя за указанными изменениями анодного тока, воспроизводит так называемые вторичные импульсы, точно повторяющие первичные импульсы передатчика.

Данная приемная установка позволяет обеспечить нормальную работу выходного приемного реле при изменении исходящего высокочастотного тока передатчика импульсов от 315 до 15 мА. Таким образом, по уровню силы входящих высокочастотных импульсов телеизмерения приемная установка имеет коэффициент запаса, равный 21. Чувствительность приемника импульсов по генератору стандартных сигналов равна 18 мкВ.

Первичные импульсы на передающем конце создаются трехфазным счетчиком переменного тока, у которого снят счетный механизм. На ось этого счетчика насажен коллектор-прерыватель, прерывающий цепь питания вспомогательного кодového реле. За один оборот диска счетчика получается шесть замыканий и шесть размыканий цепи питания указанного реле. Это кодвое реле в свою очередь в такт замыканиям и размыканиям питающей его цепи своими контактами замыкает и размыкает анодные цепи питания передатчика ВЧА-2, обеспечивая, таким образом, его импульсную работу.

Токовые обмотки счетчика трехфазного тока, создающего первичные импульсы, включены на вторичные обмотки суммирующих трансформаторов тока, первичные обмотки которых обтекаются вторичным током от трансформаторов тока генератора. Обмотки напряжения датчика включены на вторичное напряжение трансформаторов напряжения.

Так как приемное устройство установлено на подстанции, расположенной от диспетчерского пункта на расстоянии 5 км, возникла необходимость в соединительной линии. Для этой цели используется соединительная линия между коммутаторами Районного управления и подстанции. Импульсы тока от выходного реле приемного устройства подаются в среднюю точку дифференциального трансформатора этой линии и воздействуют на поляризованное реле, включенное на другом ее конце также при помощи дифференциального трансформатора. Контакты указанного реле включены в цепь указательного прибора через конденсаторы постоянной емкости. Ток заряда этих конденсаторов, а следовательно, и показания указательного прибора прямо пропорциональны частоте импульсов

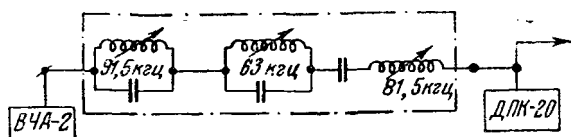


Рис. 1.

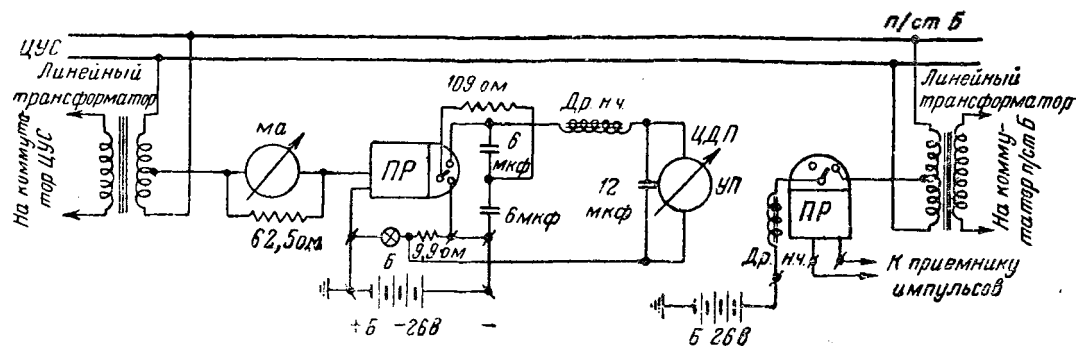


Рис. 3.

Принципиальная схема соединения выходного реле приемного устройства с преобразователем импульсов посредством соединительной коммутаторной линии показана на рис. 3.

Совмещением передачи импульсов телеизмерения суммарной мощности и высокочастотной телефонной связи по одному каналу, осуществленным без дополнительной обработки существующего канала высокочастотной телефонной связи, достигнута большая экономия средств. Описанная телеизмерительная система дальнего действия работает по одному каналу с высокочастотной телефонной связью непрерывно и без помех.

Инж. М. Л. Буневич

## Об определении допустимой нагрузки на стальные канаты

В «Электротехническом справочнике», изданном Госэнергоиздатом в 1946 г. под редакцией инж. М. В. Хомякова, в разделе VIII при определении допустимой нагрузки на стальные канаты для блоков, лебедок и кранов (§ 183, 190, 191 и 192) допущена существенная ошибка, приводящая к заниженному запасу прочности.

Как известно, суммарное напряжение в стальном канате согласно нормам Котлонадзора подсчитывается по формуле Баха

$$\sigma = \frac{S}{\pi \delta^3} + A \frac{\delta}{D},$$

где  $\sigma$  — суммарное рабочее напряжение, возникающее в канате при действии заданного напряжения, кг/мм<sup>2</sup>;

$S$  — наибольшее напряжение в канате, определяемое расчетом, кг;

$\delta$  — диаметр отдельной проволоки в канате, мм;

$i$  — число проволок в канате;

$A$  — 8 000 кг/мм<sup>2</sup>;

$D$  — наибольший диаметр барабана или блока, огибаемого канатом, мм.

Из приведенной формулы видно, что первый член учитывает напряжение от растяжения, а второй — напряжение от изгиба при огибании канатом блока или барабана.

Если подсчитать по этой формуле максимальное напряжение в стальном канате, например, для четырехрокового полиспаста, заряженного тросом диаметром 13 мм, 0,6×37 (см. «Электротехнический справочник», § 190, стр. 419, а также § 183, стр. 414, где на ведущий конец допускается нагрузка 2 250 кг), то получим:

$$\sigma = \frac{2250}{\pi \cdot 0,6^3} + 8000 \frac{0,6}{200} = 59,7 \text{ кг/мм}^2.$$

Таким образом, вместо указанного автором запаса прочности 3 получаем запас прочности, равный только 2,15, при разрывном усилии каната 130 кг/мм<sup>2</sup>. Снижение запаса прочности получено вследствие недоучета напряжения, возникающего в стальном канате при огибании им блока.

Ввиду отсутствия на местах правил и норм Котлонадзора приходится пользоваться всевозможными справочниками, которые часто содержат противоречивые данные в части допустимых нагрузок на стальные канаты. Так, например, в «Справочной книжке энергетика», выпущенной Госэнергоиздатом в 1949 г., в приведенной на стр. 15 таблице нагрузка на стальной канат диаметром 13 мм допускается только 840 кг, причем не указано, какой запас прочности предусматривается этой таблицей, какой трос надо применять и для какого режима работы действительна эта таблица.

Во избежание недоразумений и тяжелых последствий, могущих возникнуть на местах при производстве работ, необходимо разработать инструкцию по эксплуатации подъемных механизмов и такелажных приспособлений, которая содержала бы следующие разделы: 1) технические условия; 2) нормы и методы испытания; 3) нормы отбраковки; 4) указание о запасе прочности стальных, пеньковых канатов и различных механизмов для различного вида работ, выполняемых на электростанциях и в электросетях; 5) порядок учета и хранения подъемных механизмов и такелаж.

При составлении этой инструкции особое внимание должно быть уделено такелажным приспособлениям, применяемым на работах по ремонту высоковольтных линий электропередачи под напряжением, для которых нет разработанных нормативов.

При переиздании же «Электротехнического справочника» и «Справочной книжки энергетика» нужно внести соответствующее исправление<sup>1</sup>.

Инж. С. Н. Дубровский

## Об организации безаварийной работы оперативного персонала

Правильная организация производства переключений имеет большое значение для безаварийной работы. К сожалению, этому вопросу совершенно не уделяется внимания на страницах технической печати, отсутствует обмен между работниками разных систем.

Вышедшая в 1949 г. брошюра Е. Ф. Иоффе, описывающая организацию оперативной работы в Горьковской системе и рекомендованная Техническим отделом МЭС для использования всеми системами, является первой попыткой в этой области.

Наряду с ценными указаниями в брошюре имеется ряд положений и примеров, недостаточно продуманных или устаревших.

Искусственным и излишним является предложение под оборудованием подразумевать генераторы и трансформаторы, под присоединением — линии передачи выше 10 кВ, под фидером — линии напряжением 10 кВ и ниже. В оперативных переговорах и записях проще линию называть линией, а генератор — генератором.

Тогда приводимая в примере запись: «Ввести в работу присоединение сил. Т-3» (стр. 53) будет выглядеть: «Включить трансформатор № 3» — короче и нагляднее.

<sup>1</sup> В новом III издании «Электротехнического справочника» и в «Справочной книжке энергетика» на 1950 г. отмеченная инж. Дубровским ошибка исправлена. Ред.

Предлагаемые термины «холодный резерв», «горячий резерв» для электрического оборудования не имеют физического смысла, а если учесть, что в холодном резерве согласно брошюре может находиться и исправное и неисправное (!) оборудование, то станет ясно, что кроме путаницы эта терминология ничего не даст. В то же время предлагается отбросить обозначение: «под напряжением», имеющее вполне определенный физический смысл для электрических установок.

В оперативных переговорах надо всячески избегать всяких условностей и лишних слов, особых обозначений.

Предлагаемая система сокращений записи дает возможность более быстрого заполнения бланков переключений, но какой ценой? Вот примеры записей в образцах заполнения бланков (стр. 51—54) — Пров. отс. напр. ниже тр 110 кв Т-3» «Отвл. шен вч».

Подобные записи неудобочитаемы и в печатном виде, а написанные чернилами плохим почерком делаются совсем непонятными. Неудивительно, если персонал при подобных записях больше полагается на свою память, чем на бланк переключений. Записи нужно делать полностью, без сокращения, чтобы они были удобочитаемы и понятны без всяких условностей.

Рекомендуемый порядок получения и записи оперативного задания явно устарел. Старший дежурный получает задание, составляет бланк, разъясняет младшему дежурному порядок предстоящего переключения. При такой организации все зависит только от старшего дежурного. Лицо, дающее задание, никак не влияет на правильность операций. Младший дежурный, по сути, механически выполняет операции. Бланк переключений ниже не проверяется.

Сейчас уже применяется в ряде систем другой порядок. Старший дежурный получает задание и записывает его. Младший дежурный составляет бланк переключений по схеме, старший дежурный проверяет бланк также по схеме, а затем зачитывает его лицу, дающему задание, и получает от него разрешение приступить к переключениям. Таким образом, бланк дважды проверяется; лицо, дающее задание, старший и младший дежурный активно участвуют в переключении.

В годы Отечественной войны в системе Азэнергo обязанности старших и младших дежурных в ряде сетевых районов выполняли наскоро обученные домохозяйки, но благодаря такой организации переключений они работали все время безаварийно.

Все переключения, даже отключение и включение одного выключателя, должны производиться по бланку переключений. Оперативный персонал должен быть приучен к тому, что без бланка он не имеет права производить какие бы то ни было операции по включению или отключению оборудования.

Объем оперативного задания весьма важен для правильной работы оперативного персонала. Автор правильно указывает, что задание должно быть направлено к достижению одной цели. Можно было бы добавить — строго ограниченной цели.

В приведенных примерах и бланках это правило, к сожалению, не выдержано. Например, в одно задание включены ввод в работу системы шин и перевод на нее присоединений, т. е. две цели в одном задании.

На стр. 54 в качестве образца напечатано задание: «Ввести в работу сил. Т-3 на ш. 6 кв № 2 и перевести на него питание ф. ф. № 606 и 606», и к нему бланк переключений из 25 пунктов. Это действительно образец того, как не следует давать задания и какие вследствие этого получаются длинные и запутанные бланки переключений.

В задании должны входить все операции с одним присоединением. В тех случаях, когда в задание входят операции с несколькими присоединениями (перевод с одной системы шин на другую, перевод питания подстанции с одной линии на другую и т. п.), количество операций должно быть сведено к минимуму путем подготовительных переключений по особым заданиям (система шин или линия должны быть заранее введены в резерв).

Встречные переводы присоединений с одной системы шин на другую следует производить по отдельным заданиям, если это допускает режим системы.

В тексте брошюры и в приложениях отключение и заземление линий производятся по одному заданию и бланку переключений. Это соответствует бланку переключений, приведенному в § 588 «Правил технической эксплуатации». Но это противоречит § 141 «Правил техники безопасности при эксплуатации электрических устройств станций и подстанций», где сказано, что после отключения линии со всех сторон заземление производится по особому распоряжению диспетчера. Требование это затрудняет отключение линии, так как диспетчер, отключив линию с одного конца, мог бы с другого конца отключить и заземлить линию одним заданием. При пересмотре «Правил техники безопасности» это требование следует изъять, но пока оно существует, его следует придерживаться даже в бланках переключений, данных как образец.

В памятке оперативному персоналу совершенно не упомянуто, что все операции надо контролировать по приборам, где это только возможно. Между тем, большое количество аварий по вине персонала происходит именно из-за пренебрежения контрольно-измерительными приборами.

Нужно, чтобы Министерство электростанций выпустило книгу об организации безаварийной работы оперативного персонала на основании опыта передовых систем и после обсуждения основных положений на страницах журнала «Электрические станции».

Инж. Ю. М. Коновалов





## ХРОНИКА

### *В Техническом отделе Министерства*

#### **О несимметричных нагрузках гидрогенераторов**

ТНИСГЭИ по заданию Технического отдела МЭС провел большую экспериментальную работу по исследованию несимметричных режимов на гидрогенераторах.

Работа эта проведена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне.

Как показали результаты исследований, изложенные в отчете ТНИСГЭИ на восьми испытанных гидрогенераторах, различного конструктивного выполнения и мощности, при несимметрии  $I_2/I_n$  до 0,5, нагрев активных частей и вибрация генераторов не выходили за допустимые пределы.

Таким образом, существующие ограничения несимметрии для гидрогенераторов могут быть увеличены в несколько раз. Это позволит осуществить на транзитных связях от гидростанций пофазный ремонт и пофазную локализацию однополюсных коротких замыканий.

Придавая особо важное значение этим мероприятиям, повышающим надежность и бесперебойность энергоснабжения, Технический отдел МЭС считает необходимым (решение № 138/Э от 10 декабря 1949 г.):

1. В течение 1950 г. произвести в ряде энергосистем испытания гидрогенераторов на несимметричные режимы. Для проведения испытаний привлечь ТНИСГЭИ и ЦНИЭЛ.

2. Разработать и разослать всем энергосистемам руководящие указания по методике испытаний и определения допустимой несимметрии на гидрогенераторах (I квартал 1950 г.).

3. Главному энерго с привлечением ТНИСГЭИ организовать в течение 1950 г. внедрение пофазной локализации однополюсных коротких замыканий на одной передаче в двух энергосистемах.

4. Произвести опыт работы с несимметричной нагрузкой генераторов двух гидроэлектростанций при отключении одной фазы одной из линий, работающих параллельно.

5. ТНИСГЭИ продолжить работу по несимметричным режимам гидрогенераторов в направлении накопления опыта, обобщения полученных результатов и оказания технической помощи энергосистемам в проведении испытаний по несимметричным режимам.

6. ЦНИЭЛ произвести в 1950 г. испытания турбогенераторов при несимметричной нагрузке фаз.

### *В Техническом управлении по строительству и монтажу*

#### **Альбом типовых проектов временных сооружений**

Техническое управление по строительству и монтажу утвердило на 1950 г. в качестве временного «Альбом типовых проектов временных сооружений стройплощадок тепловых электростанций и подстанций», разработанный Теплоэлектропроектом.

«Альбом» содержит 70 проектов временных сооружений, выполненных в виде эскизов.

На эскизах каждого сооружения приведено: краткое описание сооружения и его основные показатели; генплан с экспликацией; технологическая схема; основные планы и разрезы; данные о потребности в основных строительных материалах, полуфабрикатах, изделиях, оборудовании, а также о трудозатратах, потребных для строительства этого временного сооружения.

По каждому помещенному в «Альбом» проекту имеется комплект рабочих чертежей или технорабочий проект, инвентарные номера которых указаны на эскизах.

Из числа 70 проектов основную часть—35 составляют проекты временных сооружений для выполнения строительных и сантехнических работ; 7 проектов временных сооружений тепломонтажа; 4 электромонтажа и 24 общеплощадочных сооружений.

При утверждении «Альбома» Теплоэлектропроекту предложено внести в проекты ряд поправок.

В общей аннотации к «Альбому» предложено указать, что выбор типа сооружения по «Альбому» производится в проекте организации работ, а в отсутствии такового по утверждению Главного управления в каждом отдельном случае.

Одновременно отмечена необходимость дальнейшей систематической работы над улучшением принятых проектов и пополнения «Альбома» новыми проектами.

Отмечена также необходимость выпуска самостоятельного альбома мелких временных сооружений, осуществляемых за счет накладных расходов строительства (навесы, уборные, конторки и т. д.).

### **Выбор конструктивной схемы металлоконструкций главного корпуса тепловых электростанций**

Теплоэлектропроект разработал и представил на рассмотрение две принципиально отличные конструктивные схемы металлических конструкций главного корпуса.

1. Первая схема предусматривает конструкцию каркаса с двумя шарнирными рамами (машинный зал и котельная), соединенными жесткими сварным каркасом бункерно-деаэрационной этажерки.

2. Вторая схема предусматривает конструкцию каркаса главного корпуса с двумя жесткими рамами (машинный зал и котельная), соединенными шарнирным каркасом бункерно-деаэрационной этажерки.

Техническое управление по строительству и монтажу приняло как типовую конструктивную схему каркаса с двумя шарнирными рамами (машинный зал и котельная), соединенными жестким сварным каркасом бункерно-деаэрационной этажерки, так как эта схема, несмотря на некоторое усложнение монтажных работ, имеет следующие преимущества:

а) большая жесткость здания и вместе с тем большая приспособленность его к неравномерным осадкам, что особенно существенно при наличии слабых грунтов;

б) более экономична по затратам металла;

в) металлоконструкции в этом варианте более просты в изготовлении.



## Сессия по ремонту электрооборудования

В декабре 1949 г. в Москве происходила научно-техническая сессия по ремонту электрических машин и трансформаторов, созванная МОНИТОЭ. На сессии было заслушано 16 докладов.

Ряд докладов был посвящен вопросу обмена опытом ремонта электрических машин и трансформаторов, в том числе опыту скоростного ремонта.

Сессия в своих решениях указала основные мероприятия, которые должны способствовать повышению качества ремонта электрических машин и трансформаторов и обеспечению надежной их работы, основные из которых приведены ниже.

1. По общим вопросам эксплуатации и ремонту сессия отметила: необходимость усиления электроремонтных цехов крупных заводов и расширения сети крупных централизованных ремонтных баз, на которые кроме ремонта возложить также изготовление запасных частей; необходимость неуклонного выполнения электростанциями и промышленными предприятиями графиков и сроков капитальных и текущих ремонтов и правил профилактического испытания электрических машин и трансформаторов.

Сессия постановила обратиться в Гостехнику СССР с просьбой об организации широкого обсуждения проектов новых ГОСТ по электрическим машинам и трансформаторам и созыве специальной конференции по этому вопросу.

2. По вопросам технологии и качества ремонтов сессия: а) предлагает широко внедрять при ремонтах наиболее совершенную технологию, принятую на заводах электропромышленности и других предприятиях;

б) рекомендует применение при ремонтах новых наиболее совершенных и экономичных методов сушки электромашин и трансформаторов потерями в стали;

в) учитывая большую ценность анализа эксплуатации и аварийности электродвигателей, просить Научно-исследовательский институт МЭП совместно с Госэнергонадзором МЭС разработать единую форму дефектационного и аварийного актов и организовать их обработку;

г) считает необходимым при проведении скоростных ремонтов крупных электромашин и трансформаторов обеспечение всесторонности подготовки ремонта и тщательного контроля за выполнением отдельных операций.

3. По подготовке кадров и обмену опытом сессия решила:

а) просить МОНИТОЭ организовать в 1950 г. курсы по повышению квалификации инженерно-технических работников и бригадиров ремонтников;

б) просить Министерство трудовых резервов увеличить выпуск в 1950—1955 гг. молодых рабочих: электрослесарей, электрообмотчиков и др.;

в) просить Министерство высшего образования включить в учебный план подготовки инженеров и техников электриков курс «Ремонт электрооборудования»;

г) просить МЭП выпустить руководящие указания по методике расчетов ремонта электромашин и трансформаторов и издавать техническую информацию по ремонтам

## Безмазутные растопочные устройства

По заданию Технического отдела Министерства электростанций Оргрэс обобщил опыт работы безмазутных растопочных устройств шахтно-мельничных топок на углях восточных месторождений и разработал по этому вопросу информационное письмо (№ 8/361).

Большой интерес представляют растопочные горелки Оргрэс и растопочное устройство, выполненное на Уфимской гЭС, используемые в отличие от других конструкций не только для растопки, но и в качестве постоянно действующего устройства для подсвечивания факела при малых и колеблющихся нагрузках.

### Растопочная горелка Оргрэс

Растопочная горелка Оргрэс (рис. 1) котла производительностью 35 т/час, оборудованного двумя шахтными мельницами ШМ-8, работающими на челябинском угле, смонтирована между двумя сепарационными шахтами на уровне выходных амбразур. Одна из шахт в верхней части соединена с растопочным устройством. В горизонтальной части шахты (перед амбразурой) и в коробе ответвления к растопочному устройству имеются шиберы, позволяющие в случае необходимости отключать выходную амбразуру шахты или растопочное устройство.

Растопочное устройство состоит из камеры (муфеля) и колосниковой решетки площадью  $1,3 \times 0,7 \approx 0,9 \text{ м}^2$ . Прогрев муфеля производится дровами. После разогрева муфеля пускают в работу мельницу, предварительно перекрыв шибером амбразуру и открыв шибер на коробе, подающем угольную пыль в растопочную горелку. После загорания пыли подача дров на решетку более не требуется. Продукты горения, содержащие большое количество несгоревшей угольной пыли, выходят из окна растопочной горелки и образуют факел в топке.

После требуемого подогрева топки факелом муфельной горелки в работу включается (по нормальной схеме) вторая шахтная мельница. При правильном режиме растопки пыль от второй мельницы загорается немедленно, после чего дальнейший прогрев топки ускоряется. Сепарации пыли в топке, как правило, не наблюдается. При работе котла на челябинском угле колеблющегося состава

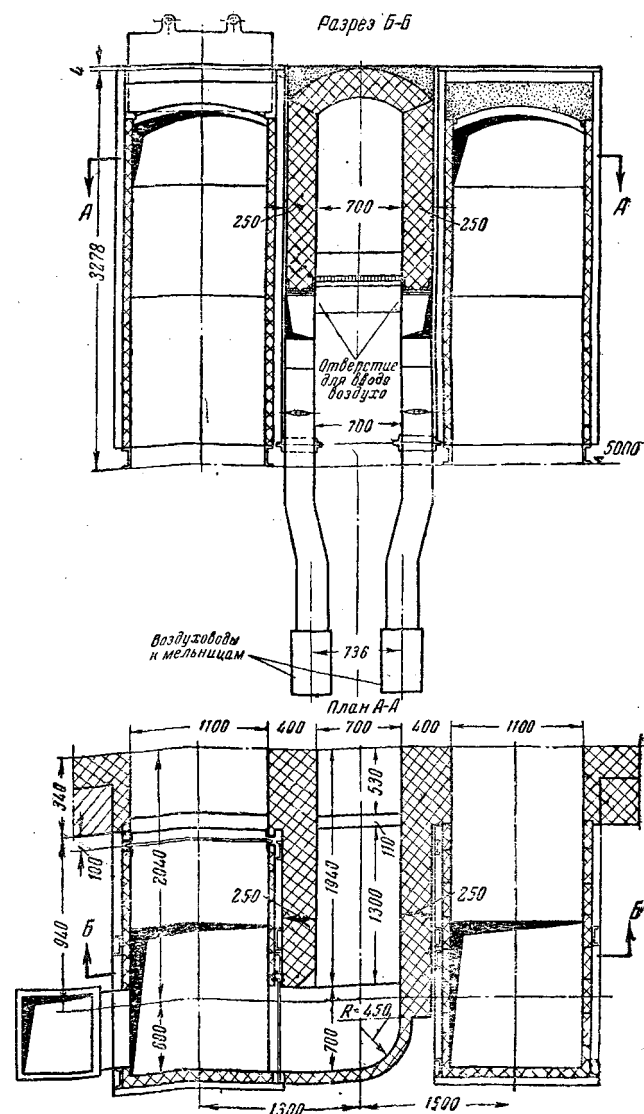


Рис. 1.

<sup>1</sup> По материалам Оргрэс.

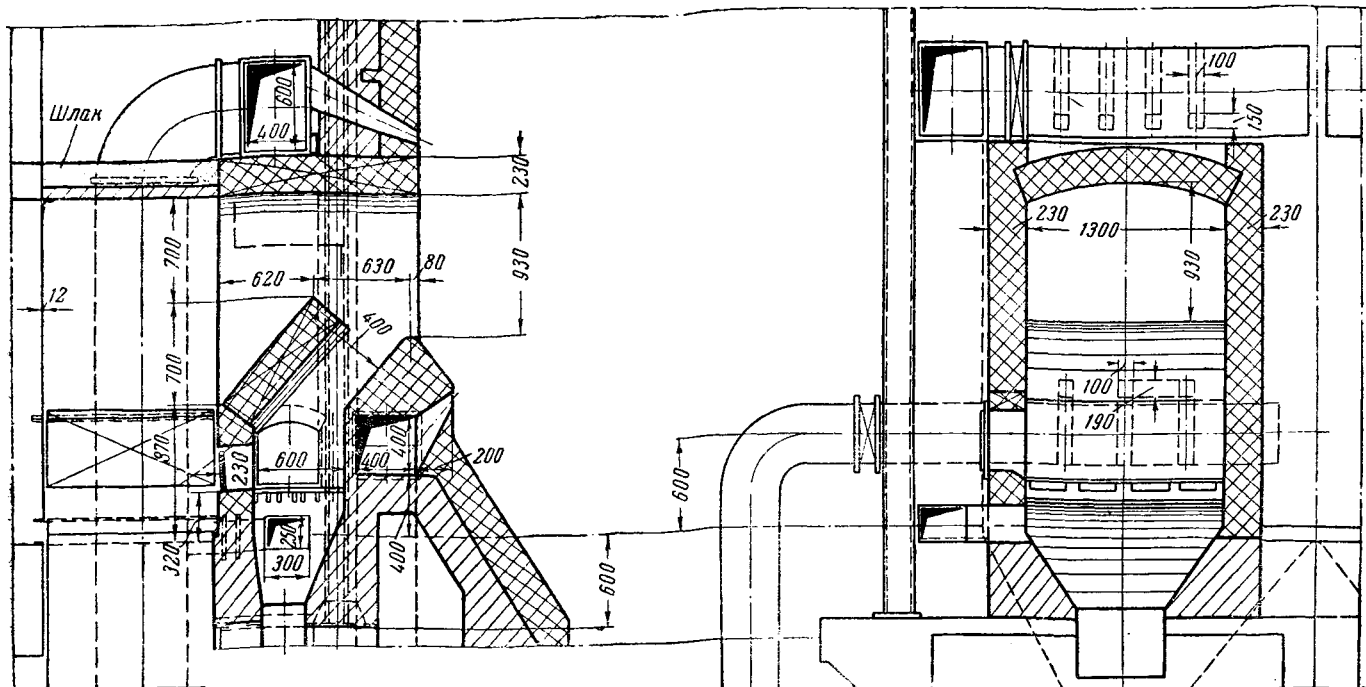


Рис. 2.

с влажностью 11—16%, зольностью 23—28% никаких затруднений со стороны растопочного устройства не возникало.

При работе одной мельницы и растопочной горелки с момента начала разогрева до включения котла в паропровод требуется 3—3,5 часа.

Опыт длительной работы при низких нагрузках котла (5 т/час) показывает, что растопочное устройство может успешно применяться для подсушивания, обеспечивая при малых нагрузках устойчивый режим.

Под другим котлом производительностью 25 т/час, сжигающем карагандинский бурый уголь с теплотворной способностью 3600 ккал/кг, установлены также растопочные горелки Оргрзс. В отличие от описанных выше эти горелки размещены не между сепарационными шахтами мельниц, а на боковых стенках топки.

#### Растопочное устройство, выполненное на Уфимской гзс

Растопочное устройство на Уфимской гзс (рис. 2) представляет собой муфель, расположенный между сепарационной шахтой мельницы и фронтальной стеной топки, и имеет со стороны сепарационной шахты окно, перекрытое поворотным шибером.

В муфеле расположена колосниковая решетка 0,78 м<sup>2</sup>, под которую подается воздух из общего воздушного короба котла. Вверху растопочного устройства имется окно к горизонтальному участку сепарационной шахты вблизи выходного сечения амбразуры. Сепарационная шахта может отделяться от амбразуры двумя поворотными шиберами, расположенными над растопочным устройством.

Для растопки муфеля применяется щепа или дрова, а также небольшое количество угля, забрасываемого на разгоревшийся очаг (расход угля на растопку 100 кг).

До прогрева камеры муфеля и появления устойчивого факела огня из сепарационной шахты мельницы в растопочное устройство закрыто шибером. После достаточного прогрева муфеля это окно открывается, а шибера в сепарационной шахте перекрываются; затем пускается в работу шахтная мельница. Пыль, проходя через раскаленный муфель, над горящим слоем топлива, воспламеняется.

После прогрева топки и создания в ней устойчивого факела шибера сепарационной шахты открываются, а шибер окна растопочного устройства (из шахты) прикрывается.

Как и при муфельной горелке Оргрзс, количество топлива, подаваемого на решетку вручную, невелико.

Особенностью данного устройства является возможность сепарации на решетку более крупных частиц топлива из горизонтального участка шахты вблизи амбразуры. В этом случае регулируют подачу воздуха под колосниковую решетку таким образом, чтобы на ней был постоянный, устойчивый и достаточно интенсивный очаг горения.

При работе без сепарации пыли на решетку приходится и после прекращения работы растопочного устройства подавать воздух под решетку, препятствуя этим сепарации грубой пыли.

Недостатком этого растопочного устройства является затруднение подачи пыли в муфель из сепарационной шахты при покоробленных или неплотных шиберах. Вследствие незначительного сопротивления сепарационной шахты по сравнению с растопочным устройством неплотность шибера в шахте затрудняет поступление в муфель аэропыли, и работа растопочного устройства ухудшается.

Длительность растопки котла составляет около 2 час.

#### Указания по технике безопасности

Для безопасной эксплуатации растопочных устройств шахтно-мельничных топок нужно не допускать отложений пыли, выбивания пламени и дымления из растопочного устройства, а также соблюдать осторожность при загрузке решетки и удалении шлака.

Шибера сепарационных шахт и растопочных устройств должны быть плотными. Конструкция шахт и наклон свода должны быть такими, чтобы исключалась возможность отложения пыли.

Устранить выбивание газов из растопочного устройства можно путем правильной организации воздушного режима (давления дутья, отсоса газов) и уплотнения гарнитуры устройства (например, установкой надежных запоров разгрузочных и поддувочных дверей).

Спуск шлака из растопочного устройства должен производиться через золопровод, снабженный двумя шиберами; перед спуском шлак следует хорошо залить водой. Пуск пыли в растопочное устройство следует производить после полного розжига топлива на решетке и достаточного разогрева муфеля.

Рабочая зона не должна быть загромождена; топливо для розжига муфелей должно храниться в металлических ящиках.

Растопочное устройство должно быть оборудовано тягомером. При открывании лючков, гляделок, а также загрузке топлива предварительно должно уменьшаться дутье; следует убедиться в отсутствии давления в камере.



# ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВО ЗА РУБЕЖОМ

## Промежуточный перегрев пара

На 69-м ежегодном собрании американской ассоциации инженеров-механиков были заслушаны доклады представителей General Electric Company, Westinghouse Electric Corporation и Allis-Chalmers о развитии циклов с промежуточным перегревом пара турбин и об их преимуществах.

Представители Westinghouse Electric Corporation отметили, что паровым промежуточным перегревом достигается лишь незначительный эффект в экономии топлива, и применяется этот метод в основном для уменьшения влаги в последних ступенях турбин.

Комбинированный — газовый и паровой промежуточный перегрев применяется в некоторых установках для автоматического поддержания температуры вторично перегретого пара, но этот метод слишком сложен и он себя не оправдал.

Применение газового промежуточного перегрева дает возможность увеличить термический к. п. д. турбины без повышения начальной температуры пара. Так, например, если пар вторично перегреть до начальной температуры, то к. п. д. турбины увеличится на столько же, на сколько он увеличится при повышении начальной температуры на 80—110°С.

Если турбина работает с начальной температурой пара 480°С и промежуточным перегревом — 480°С, то термический к. п. д. ее будет такой же, как если бы турбина работала с начальной температурой пара 580°С без промежуточного перегрева.

Кривые (рис. 1) показывают, в какой степени промежуточный перегрев влияет на улучшение термического к. п. д. турбины при различных давлениях пара перед вторичным пароперегревателем и различной температурой перегрева в нем. Эти кривые взяты для турбины с начальным давлением пара 102 ат и температурой 538°С с пятиступенчатым регенеративным подогревом питательной воды, с абсолютным давлением отработавшего пара 38 мм рт. ст. и при 10% потери давления в промежуточном пароперегревателе.

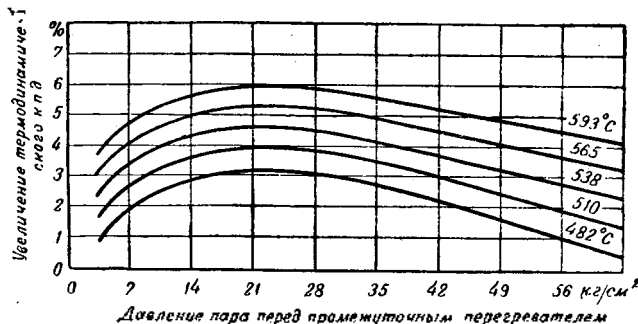


Рис. 1.

Потеря давления в паропроводах до промежуточного перегревателя и после него обычно равна 10% от давления выхода из части высокого давления турбины. Эта потеря могла бы быть уменьшена за счет увеличения сечения труб и арматуры, но экономически это редко оправдывает себя. Регенеративный подогрев питательной воды снижает эффект промежуточного перегрева пара: чем больше ступеней регенеративного подогрева воды, тем меньше выгода от промежуточного перегрева.

Представители General Electric Company оценили уменьшение расхода топлива при цикле с промежуточным

перегревом, по сравнению с циклом без промежуточного перегрева, от 6 до 7% при условии вторичного перегрева пара до начальной температуры, при оптимальном давлении промежуточного перегрева.

Оптимальное давление оценивается ими в пределах от 10 до 18% от начального давления.

Представителями фирмы Westinghouse было отмечено, что при применении промежуточного перегрева пара

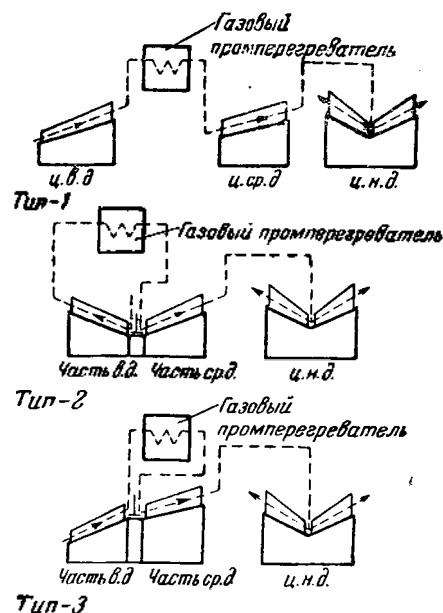


Рис. 2.

уменьшается расход пара на турбину, что в свою очередь приводит к уменьшению размеров котлов, трубопроводов, арматуры и оборудования регенеративных подогревателей и питательных насосов.

Сравнивались конструкции трех типов турбин с промежуточным перегревом (рис. 2).

Турбина первого типа трехцилиндровая. Пар из цилиндра высокого давления направляется в промежуточный перегреватель, после чего поступает в цилиндр среднего, а затем низкого давления. Эта конструкция занимает много места по длине.

В турбине второго типа острый и вторично перегретый пар поступает в среднюю часть двухпоточного цилиндра и протекает в противоположные стороны. При этой конструкции разность температур цилиндра в месте подвода пара сводится до минимума, но увеличиваются потери в турбине вследствие протечек пара через разделительную диафрагму части высокого и среднего давления цилиндра.

В турбине третьего типа устраняются потери, вызванные протечками через разделительную диафрагму, но ставятся в невыгодные условия цилиндр, средняя часть которого находится под воздействием разных температур.

Выбор конструкции турбин с промежуточным перегревом пара при проектировании должен решаться в комплексе с другим оборудованием всей электростанции.

В заключение суммировались преимущества и недостатки цикла с промежуточным перегревом пара.

К числу преимуществ было отнесено: а) уменьшение расхода топлива; б) уменьшение размеров, а значит и

стоимости котла, конденсатора и подогревателей; в) уменьшение влаги в части низкого давления турбины и как результат уменьшение эрозии лопаток и повышение к. п. д.

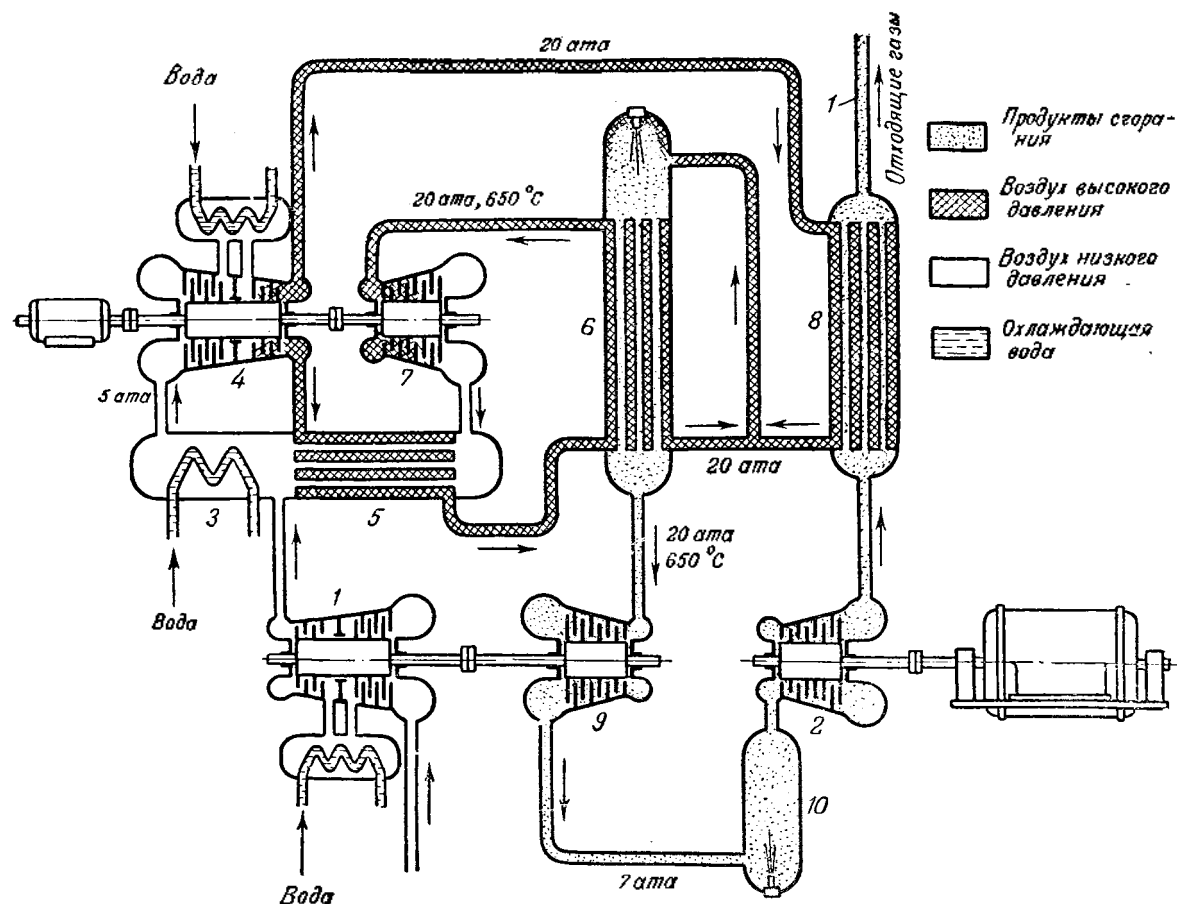
К числу недостатков относятся: а) увеличение длины агрегата; б) увеличение стоимости турбины и станционных трубопроводов; в) дополнительная стоимость промежуточного пароперегревателя.

В оценке преимуществ и недостатков должны быть учтены факторы нагрузки и стоимости топлива (Combustion, XII, 1948).

Обраб. инж. В. С. Плотников

## Газовая турбина полузамкнутого цикла

По заказу одной швейцарской электростанции фирма Зульцер изготовляет газотурбинную установку мощностью 20 тыс. кет, предназначенную, главным образом, для покрытия зимних максимумов. Ввод агрегата в эксплуатацию был запланирован на 1949 г.



Преследуя цели повышения к. п. д. газотурбинной установки, фирма Зульцер разработала показанный на рисунке так называемый полузамкнутый газотурбинный цикл. По этой схеме часть элементов установки образует замкнутый цикл, в котором циркулирующий воздух имеет избыточное давление. С нижнего уровня давлений, составляющего в данном случае 5 атм, воздух, засасываемый компрессором высокого давления 4, сжимается до 20 атм. Часть этого воздуха в теплообменниках 5 и 6 подогревается до 650°С. В воздушной турбине 7 воздух расширяется до 5 атм, проходит далее через теплообменник 5 и охладитель 3, где охлаждается до 20—25°С, и затем поступает в компрессор 4. На этом цикл замыкается.

От замкнутого цикла, разработанного Аккеретом и Келлером, он отличается в основном тем, что часть воздуха высокого давления непрерывно отбирается в камеру сгорания, выполненную заодно с теплообменником 6. Этот воздух подогревается в подогревателе 8 отходящими газами. Продукты сгорания топчного мазута подогревают в теплообменнике 6 воздух, поступающий в воздушную турбину 7, до 650°С, причем сами также охлаждаются до 650°С. Из теплообменника 6 продукты сгорания поступают в газовую турбину 9, где расширяются до 7—8 атм, затем подвергаются вторичному подогреву в камере сгорания 10, расширяются в турбине 2 до атмосферного давления и поступают в подогреватель 8 на подогрев сжатого воздуха.

Полноценное замкнутой части цикла рабочим телом (воздухом) производится компрессором низкого давления 1.

Количество тепла, передаваемое подогреваемому воздуху в теплообменнике 6, составляет примерно половину общего количества тепла, подведенного с топливом; другая половина остается в продуктах сгорания, поступающих в турбину 9. Вследствие этого удельная поверхность воздухоподогревателей газотурбинных установок полузамкнутого

цикла значительно меньше, чем в установках замкнутого цикла. Однако, в противоположность последним в рассматриваемой установке исключена возможность использования твердого топлива.

Размеры в плане установки 20 тыс. кет составляют 24 × 34 м.

Фирма Зульцер полагает, что зимой при наименьших температурах наружного воздуха и охлаждающей воды к. п. д. установки достигнет 35% (MTZ, № 6, 1948; Zeitschr. VDI, № 12, 1948).

Обраб. инж. А. П. Михайлов



## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Е. Ф. Иоффе, *Оперативная работа в высоковольтных распределительных устройствах*. Госэнергоиздат, 1949 г., 54 стр.

В рецензируемой работе сведены действующие правила по производству переключений и распределительных устройств и одновременно даются пояснения и примеры к ним. Вопросы, разбираемые автором, являются очень актуальными для обеспечения безаварийной работы. Книга восполняет ощутительный пробел, образовавшийся вследствие того, что многие измененные и дополненные указания «Правил технической эксплуатации» до сих пор не обобщены. Поэтому значение книги выходит за пределы, указанные в данном Техническом отделе Министерства предисловии к ней, где написано, что она «обобщает опыт безаварийной работы в Горьковской энергетической системе». Книга тем ценна, что она обобщает и приводит в систему разновременные указания Технического отдела Министерства, а предисловие к ней Технического отдела МЭС как бы утверждает правильность формулировок автора. Именно в этом состоит основное достоинство книги.

В начале своей работы автор дает ряд определений и пояснений к терминам, сопровождая их схемами, указывает последовательность производства переключений и технику управления соответствующими аппаратами — выключателями и разъединителями.

Замысел автора правилен, следует пожалеть, что он уделит мало внимания определениям и терминам, ограничившись небольшим числом их и в ряде случаев приняв без критики существующие наименования, как, например, термин «кабоненты», почти вытесненный термином «потребители», русским, более ярким и правильным или наименование «фидер», заменяемое термином «линия» или «кабель». Автор сам нечетко применяет этот термин, говоря о «присоединении или фидере» (стр. 10) и тем как бы ставя между ними знак равенства. Тяжело звучит «правила оперирования с коммутационными аппаратами» вместо русского: «правила производства переключений».

Неудачная попытка автора установить терминологию лишь подчеркивает важность и запущенное состояние этого вопроса. Такая работа не под силу одному человеку, к решению ее должны быть привлечены внимание и силы общественных электротехнических организаций.

По содержанию раздела «коммутационные аппараты» можно сделать несколько замечаний. Так, при включении и отключении линии автор рекомендует порядок, при котором шинные разъединители включаются первыми и отключаются последними (стр. 13). Этот порядок справедлив для установок, в которых ошибочные действия с линейными разъединителями не представляют явной опасности для персонала. Если же линейные разъединители установлены низко, в узком коридоре, не имеют механического привода, в то время как шинные расположены на высоте, следовало бы указать на возможность изменения общего порядка, так как у нас безопасность человека ставится выше, чем избежание нарушения работы установки.

Трудно согласиться также с автором относительно правильности указанной им техники отключения разъединителей — производить отключение медленно и осторожно (стр. 16). Отключать медленно и осторожно удастся только разъединители, имеющие червячный привод или привод с зубчатой передачей. При рычажном приводе следует рекомендовать действовать быстро и до конца, не стремиться к шунтированию дуги обратным включением.

Замечания, сделанные выше, не снижают общей ценности данного автором материала, и относятся к частностям, по которым еще не установлено общепризнанных решений.

В следующем разделе «Оперативные состояния оборудования» автор дает определения, позволяющие одним-двумя словами установить состояние оборудования и положение его включающей аппаратуры. Такие определения упрощают переговоры и делают их более точными. Все предложения автора представляются удачными.

Далее автор формулирует порядок составления и передачи задания на производство переключений (раздел 4 «Оперативное задание») и подробно разбирает последовательность выполнения сложных заданий (раздел 5 «Сложное задание»). Последний раздел следует признать наиболее важным, особенно в части перевода присоединений с одних шин на другие, когда могут иметь место наиболее сложные работы при ошибочных действиях персонала. Порядок, рекомендуемый автором, правилен, изложение ясно, однако пример, приведенный им из практики Мосэнерго, представляется не вполне удачным. Рассматриваемая схема (стр. 32), когда генератор присоединяется шинными разъединителями к двум различным секциям сборных шин, так что его разъединители могут шунтировать секционный выключатель, практически не имеет применения. Между тем, в практике можно найти большое число поучительных случаев при общепринятой схеме с двойными шинами и с шинносоединительным выключателем.

В двух последних разделах книги разбираются вопросы, связанные с заполнением бланка переключений и порядком действий при выполнении переключений. Изложение сопровождается рядом примеров, особенно в части заполнения бланков переключений (приложения 2—4), которые могут помочь усвоить рекомендации автора.

Некоторые из предложений автора представляются спорными, как например, сокращения формулировок распоряжений или сокращенные записи при заполнении бланков переключений. Однако, можно быть только признательным ему за то, что он вынес такие предложения на широкое обсуждение, в результате которого, несомненно, появятся более общие рекомендации. Обсуждение содержания книги ниже. Иоффе персоналом электроцехов станций и подстанций поможет улучшить организацию оперативной работы.

Мы можем только присоединиться к пожеланию Технического отдела Министерства электростанций и подстанций поможет улучшить организацию оперативной работы. Мы можем только присоединиться к пожеланию Технического отдела Министерства электростанций и подстанций поможет улучшить организацию оперативной работы. Мы можем только присоединиться к пожеланию Технического отдела Министерства электростанций и подстанций поможет улучшить организацию оперативной работы.

проф. П. Г. Грудинский



---

## Вниманию авторов

При подготовке статей для журнала «Электрические станции» авторам необходимо выполнять следующие требования:

1. Объем статей не должен превышать 10—15 страниц текста, *напечатанного на машинке на одной стороне листа через два интервала*. В виде исключения статьи могут быть представлены четко написанными от руки на одной стороне листа.

2. Формулы и иностранный текст должны быть написаны разборчиво. В формулах обязательно выделять прописные и строчные буквы, индексы писать ниже строки, показатели степени выше строки; на полях рукописи делать отметки, каким алфавитом в формулах обозначены буквы, и другие пояснения к формулам.

3. Статьи иллюстрировать фотографиями и чертежами, однако число их должно быть минимально необходимым. Чертежи выполнять тушью или карандашом, надписи и обозначения писать четко. Снимки направлять четкие и контрастные размером не менее  $9 \times 12$  см. Фото направлять 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 их отдельно, составив на них опись.

4. В табличном материале точно обозначать единицы измерения. Наименования давать полностью, не сокращая слов. Не давать слишком громоздких таблиц.

5. Иностранные единицы измерения обязательно переводить в принятые у нас в Союзе меры длины, веса и др.

6. Официальные материалы должны быть заверены соответствующими организациями. Материал научно-исследовательских организаций и предприятий должен иметь визу руководства.

7. В конце рукописи указывать полностью имя, отчество и фамилию автора, домашний адрес, занимаемую должность, год рождения, номер и место выдачи паспорта.

8. Материал для журнала направлять по адресу: Москва, Ветошный пер., здание ГУМ, III корпус, I этаж, помещ. 164, редакция журнала «Электрические станции».

# ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, 10.

## ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

- ДУТКИН Г. С. и ЛИБЕРМАН А. Я.**, Сооружение и эксплуатация высоковольтных воздушных линий электропередачи. Издание третье, переработанное. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 416, тир. 8 000, ц. 12 р.
- ДЮСКИН В. К.**, Переменный расход воды в тепловых сетях. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 114, тир. 3 000, ц. 4 р. 25 к.
- ЗАЙДЕЛЬ В. А.**, Монтаж котельного оборудования. Издание 2-е, переработанное. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 228, тир. 4 000, ц. 7 р. 45 к.
- ИНСТРУКЦИЯ** по обслуживанию газомазутных топков паровых котлов при сжигании природного газа (Технический отдел МЭС). М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 48, тир. 2 500, ц. 2 р. 60 к.
- ИНСТРУКЦИЯ** по эксплуатации тепловых сетей (Технический отдел МЭС). М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 92, тир. 3 000, ц. 5 р. 20 к.
- КИРИЛЛИН В. А. и ШЕЙНДЛИН А. Е.** Сборник задач по технической термодинамике под редакцией М. П. Вукаловича. Допущено МВО СССР в качестве учебного пособия для вузов. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 224, тир. 6 000, ц. 11 р. 30 к.
- КОМАРОВ Я. М. и ЛУКНИЦКИЙ В. В.**, Справочник для теплотехников электростанций. Издание 2-е переработанное. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 360+1 диаграмма, тир. 15 000, ц. 30 р.
- КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕРЫ** уменьшения присосов воздуха в топках и газоходах котлоагрегатов (Оргрэн). М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 24, тир. 3 000, ц. 1 р. 40 к.
- КОШАРСКИЙ Б. Д.**, Справочник по приборам теплового контроля промышленных котельных. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 232, тир. 4 000, ц. 18 р.
- КУТАТЕЛАДЗЕ С. С. и ЦУКЕРМАН Р. В.**, Развитие теории теплоты в работах русских ученых XVIII и XIX столетий. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 156, 3 300, ц. 9 р.
- ЛИТВИН А. М.**, Основы теплоэнергетики. Утверждено Управ. кадров МЭС СССР в качестве учебного пособия для подготовки кадров и среднетехнического персонала. Издание 4-е, переработанное и дополненное. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 224, тир. 15 000, ц. 7 р.
- МОСКОВСКИЙ Ф. А.**, Бухгалтерский баланс и калькуляция электро- и теплоэнергии на электростанциях. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 152, тир. 3 000, ц. 7 р. 80 к.
- МОРГУЛОВА Т. Х.**, Тепловой расчет котлоагрегата. Допущено МВО СССР в качестве учебного пособия для энергетических вузов. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 144, тир. 4 000, ц. 6 р.
- НИКОНОВ В. Н.** — рационализатор-монтажник котельного оборудования (Стахановцы послевоенной пятилетки). М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 15, тир. 1 200, ц. 30 к.
- РОДОВСКИЙ М. И.**, Борис Семенович Якоби. Гостэнергиздат, 1949, стр. 136, тир. 6 750, ц. 4 р. 75 к.
- РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**, вып. 15 (Оргрэн). Вопросы эксплуатации и ремонта теплотехнического оборудования электростанций. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 32, тир. 3 000, ц. 2 р. 30 к.
- РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**, вып. 17 (Оргрэн). Вопросы эксплуатации химических цехов электростанций. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 20, тир. 3 000, ц. 1 р. 50 к.
- РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ**, (Оргрэн), вып. 18. Гидростанции и водоснабжение тепловых электростанций. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 23, тир. 1 500, ц. 1 р. 50 к.
- РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ** по снижению интенсивности золотого износа поверхностей нагрева котельных агрегатов (Технический отдел). М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 38, тир. 3 000, ц. 2 р.
- САМОЙЛОВ В. А.**, Вибрация агрегатов электростанций и балансировка роторов. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 160, тир. 3 000, ц. 6 р. 50 к.
- СБОРНИК ТАРИФОВ** на электрическую и тепловую энергию, отпускаемую районным энергоуправлениям и электростанциям МЭС СССР. Издан на основании постановления СМ СССР № 4181 от 8 ноября 1948 г. и № 5165 от 14 ноября 1949 г. с введением в действие с 1 января 1950 г. М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 96, тир. 15 000, ц. 5 р.
- СХЕМЫ** использования отработанного пара на промышленных предприятиях (Оргрэн). М.—Л., Гостэнергиздат, 1949, стр. 40, тир. 3 200, ц. 2 р. 50 к.

ПРОДАЮТСЯ во всех книжных магазинах КОГИЗА и других книготорговых организаций.