

# **ЭЭ** **лектрические** **станции**

**12**



**ГОСЭНЕРГОИЗДАТ**

**1953**

# электрические станции

12

ДЕКАБРЬ

1953

Орган Министерства электростанций  
и электропромышленности СССР

24-й ГОД ИЗДАНИЯ

## СОДЕРЖАНИЕ

Ю. Л. Маршак и В. П. Ромадин — Перспективы топок с жидким шлакоудалением . . . . .	3
Ю. Л. Маршак и Д. В. Шапоров — Пуск и эксплуатация топки ВТИ с максимальным шлакоулавливанием . . . . .	9
В. А. Локшин и К. М. Талдыкин — Эксплуатационная проверка пароводяной обдувки топочных поверхностей нагрева . . . . .	16
И. М. Готгельф и С. И. Ивянский — Новая серия тягодутьевых машин для энергетики . . . . .	21
И. К. Гришук — Вибрация конденсаторных трубок . . . . .	25
Е. Я. Драгунов — Новые методы работ при заполнении каркасов главных корпусов тепловых электростанций . . . . .	30
Г. Д. Бодров и В. П. Новицкий — Железобетонные пасынки для линий электропередачи . . . . .	33
К. А. Худабашев — Стробоскопический метод измерения фазы вибрации осциллографом с приставкой	35
М. М. Некрасов — О координации линейной изоляции	36
Г. В. Подковыров и Э. Г. Файнштейн — О релейной защите гидрогенераторов на телеуправляемых гидроэлектростанциях . . . . .	38
С. М. Петров и В. М. Петров — Простые каналы связи и телемеханики для сетей с малым током замыкания на землю . . . . .	40

## ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ

Н. Я. Турчин — Из опыта строительства кабельных и трубопроводных туннелей и каналов из сборного бетона . . . . .	44
В. З. — Гнутье труб в холодном состоянии с набивкой песком . . . . .	46
Б. И. Данилович и Р. З. Файнциммер — Устранение примерзаний сыпучих и других грунтов к металлическим стенкам кузовов автомашин . . . . .	47

## ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ

Ш. Ш. Кантор и П. Х. Чехунов — Перевод на жидкое шлакоудаление котлов, работающих на АШ . . . . .	48
М. Л. Табориский — Работа котла типа -75-39-Ф без водосмотра . . . . .	49
М. И. Лужнов — Устранение попадания масла в возбуждатель путем реконструкции уплотнения . . . . .	50
Ю. Е. Ходжамирян и Л. М. Хуршудян — Электро-механическое реле оборотов для гидроагрегатов	50
Б. М. Зецерев — О типовой схеме щита постоянного тока . . . . .	51

Консультация по „Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей“ . . . . .	54
---	----

## ХРОНИКА

В Техническом управлении по электростанциям	
О недопустимости отключения АРВ генераторов и синхронных компенсаторов . . . . .	55
О внедрении способа самосинхронизации синхронных генераторов . . . . .	55
Конференция читателей журнала „Электрические станции“ в Ростове-на-Дону . . . . .	55

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

В. В. Болотов, Л. А. Мелентьев, Р. Ф. Бриль, Г. Б. Левенталь, К. И. Мичурина — Рецензия на книгу Н. И. Дунаевского „Технико-экономические основы теплофикации“ . . . . .	56
Содержание журнала „Электрические станции“ за 1953 г. . . . .	58

□ □ □



**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Н. М. Бондарев, П. Н. Владимиров, П. Г. Грудинский, К. Д. Лавренко, С. И. Молоканов, С. Г. Мхитарян,  
А. М. Некрасов, Б. М. Соколов, И. А. Сыромятников, С. Ц. Фаерман, Д. Г. Чижов**

**Главный редактор Д. Г. Чижов**

---

**Адрес редакции: Москва, Б. Черкасский пер., д. № 2.**

**Телефоны: редакции К 5-21-22, главного редактора К 4-44-10 и комм. К 0-32-80, доб. 3-01.**

# Перспективы топок с жидким шлакоудалением<sup>1</sup>

Канд. техн. наук Ю. Л. Маршак и доктор техн. наук В. П. Ромадин

Жидкое шлакоудаление не является самоцелью. Оно перспективно лишь при условии обеспечения повышения производительности и экономичности котельного агрегата, независимости устойчивой его работы от качества топлива, полной механизации и автоматизации всех процессов на котле.

Накопившийся в последнее время опыт показывает, что при правильном использовании жидкое шлакоудаление дает значительные преимущества по сравнению с сухим шлакоудалением. Эти преимущества с особой полнотой реализуются в топках с максимальным шлакоулавливанием, обеспечивающих осаждение шлака в топочной камере в количестве 85—90% от золы топлива.

Применение топок с максимальным шлакоулавливанием позволяет:

Повысить надежность работы агрегата за счет:

1) малой зависимости работы от характеристик топлива;

2) устранения шлакования стен топочной камеры и котла;

3) устранения износа конвективных поверхностей нагрева и крыльчаток дымососов в результате уменьшения в несколько раз концентрации золы в газах, уменьшения размеров частиц и резкого снижения их абразивности вследствие оплавления.

Сократить стоимость сооружения котельной установки путем:

1) уменьшения габаритов топки, обеспечивающей высокую интенсивность сжигания и охлаждения топочных газов (высокие величины  $Q/V$ );

2) сокращения конвективных поверхностей нагрева котла при более высоких скоростях газа в них;

3) устранения золоочистительных устройств при улавливании 85—90% золы в топке или значительного снижения их стоимости;

4) упрощения сооружения и монтажа котла в результате внедрения блочных конструкций деталей топок и котла.

Повысить экономичность использования топлива за счет:

1) снижения топочных потерь с  $q_3$  и  $q_4$  и потерь с уходящими газами при сжигании топлив с малым избытком воздуха и малыми присосами в топке;

2) сокращения расхода энергии на приготовление топлива путем сжигания грубой пыли (в пределах дробленки) и расхода энергии на тягу

в результате сокращения присосов в топке и отсутствия золоулавливающих устройств;

3) возможности более легкого перехода на бездымососную установку при работе с наддувом.

Улучшить эксплуатацию котла и облегчить управление им, обеспечивая:

1) широкий диапазон рабочих нагрузок на котле;

2) полную механизацию и автоматизацию всех процессов на котле и, в частности, золоудаления, облегчая труд зольщика и значительно повышая производительность труда его;

3) лучшие условия для регулирования перегрева пара, ограничивая до предела работу парохладителей на котле.

Внедрение топок с максимальным шлакоулавливанием вызывает, однако, свои трудности:

1. Большой процент улавливания шлака и удаление его из топки при высоких температурах означают повышение потери с физическим теплом шлака и снижение к. п. д. установки, если не организовано использование тепла жидкого шлака.

2. Запыленность газов мелкодисперсной золой сопровождается повышенным заносом поверхностей нагрева, что может для некоторых углей привести к значительному увеличению потери с  $q_2$  и затрат энергии на тягу, а самое главное понизить надежность работы установки.

3. Необходимость создания циклонного эффекта в топке требует более высоких напоров у дутьевых вентиляторов и обычно сопровождается более высокими затратами энергии на дутье.

Для ряда углей, и особенно с малым выходом летучих, уменьшение топочных потерь от механической и химической неполноты сгорания в топках с максимальным шлакоулавливанием может намного превышать потерю с физическим теплом шлака.

Что касается применения топок с максимальным шлакоулавливанием для сжигания бурых углей, то снижение экономичности котла за счет потерь с физическим теплом шлака экономически вполне может компенсироваться в случае использования жидкого шлака для промышленных целей.

Это отнюдь не снижает актуальности решения вопроса использования физического тепла жидкого шлака<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> В настоящее время этот вопрос разработан очень слабо. Приходится констатировать, что научно-исследовательские организации занимаются им совершенно недостаточно. Ред.

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

## Схемы и особенности топочных устройств с максимальным шлакоулавливанием

Однокамерные топочные устройства с жидким шлакоудалением, сооружаемые без специальных средств для сепарации жидкого шлака в топке, не реализуют ряда существенных преимуществ жидкого шлакоудаления. Они по существу не обеспечивают высоких тепловых нагрузок топки, так как повышенные температуры в конце ее и улавливание золы в количестве не более 40—50 % недостаточны для получения бесшлакового режима. Далеко несовершенная очистка газов в этих топках лишь частично уменьшает золовой износ конвективных поверхностей котла, не ликвидируя полностью этого явления. Затруднительна работа этих топок на углях с высокими температурами плавления золы. Диапазон нагрузок при этом получается крайне низким. Условия регулирования перегрева пара остаются тяжелыми.

Для реализации всех перечисленных выше преимуществ жидкого шлакоудаления необходимы топочные устройства, обеспечивающие не менее 85—90 % улавливания золы в топке, допускающие надежное сжигание топлив с любыми температурными характеристиками плавления золы и свойствами горючей массы, создающие условия для экономичного использования топлив при невысоких расходах энергии на топочный процесс и приготовление топлива.

Среди известных конструкций топок с максимальным шлакоулавливанием наиболее перспективными являются топки с несколькими предтопками циклонного типа. Преимущества этих топочных устройств заключаются в следующем:

1. Наличие отдельных камер горения топлива и плавления золы дает возможность свободно конструировать экраны второй камеры, применяя нужную степень охлаждения газов.

2. Широкая регулируемость котельного агрегата путем одновременного изменения нагрузки всех предтопок и за счет включения и отключения отдельных предтопок без нарушения в обоих случаях режима удаления шлака.

3. Эффективное улавливание жидкого шлака.

4. Высокоинтенсивное сжигание топлива в предтопках с тепловыми нагрузками  $\frac{Q}{V} =$

$= (1 \div 5) 10^6 \text{ ккал/м}^3 \text{ час}$  за счет высоких температур и благоприятных аэродинамических условий, обуславливающих интенсификацию воспламенения частиц топлива и выгорание коксового остатка, вследствие повышения относительной скорости воздуха; имеющая при этом место сепарация наиболее крупных фракций на пленку жидкого шлака увеличивает время пребывания в топке этих наиболее трудно сжигаемых частиц топлива.

5. Возможность сжигания грубой пыли или дробленки.

6. Интенсивное тепловосприятие в предтопках и в камере охлаждения.

Характерными представителями таких топочных устройств являются топки ВТИ и топки

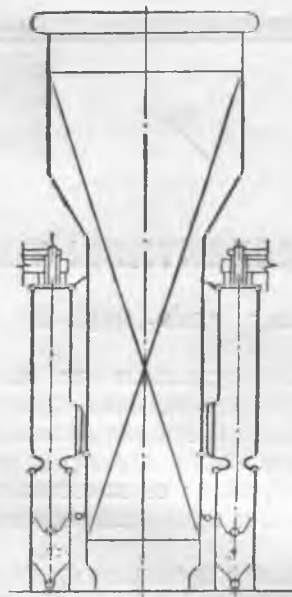


Рис. 1. Схема топки ВТИ с холодной воронкой в камере охлаждения.

ЦКТИ (рис. 1 и 2). Первые рассчитаны на сжигание угрубленной пыли в вертикальных предтопках малого диаметра, с длиной участка сепарации шлака  $3-4D$ , со свободным выходом газов через шлакоулавливающий пучок в камеру охлаждения; вторые осуществляют сжигание дробленки в коротких горизонтальных предтопках  $L = 1-1,5D$ , имеющих зажатое выходное сечение в виде заградительного конуса с целью предотвращения попадания топлива с шлаковой пленки в камеру охлаждения. Топки ВТИ обеспечивают топочный процесс при нормальном напоре воздуха (150 мм вод. ст.), но требуют размолта топлива до пыли угрубленного помола; топки ЦКТИ работают с высоконапорным воздухом ( $\sim 1000 \text{ мм вод. ст.}$ ), но экономят энергию на приготовление топлива.

Область применения того и другого метода сжигания топлива зависит от того, насколько они удовлетворяют решению поставленных выше задач.

Опыт эксплуатации топки ВТИ с максимальным шлакоулавливанием под крупным промышленным

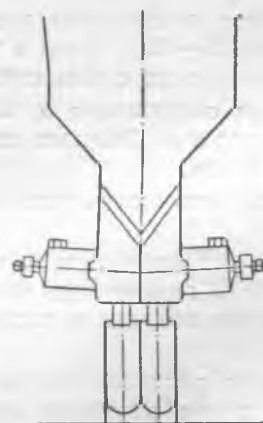


Рис. 2. Схема циклонной топки ЦКТИ.



ленным котлом<sup>3</sup>, а также опыты, проведенные на экспериментальной промышленной топке ЦКТИ Ленэнерго, показывают, что степень улавливания шлака в циклонных топках при сжигании пыли или дробленки примерно одинакова (85—90 %).

По-особому стоит вопрос об универсальности циклонных предтопок по топливу в зависимости от выхода летучих. При сжигании дробленки за счет сильного циклонного эффекта крупные частицы прижимаются к стенке и процесс горения интенсифицируется высокими скоростями обдувания воздухом частиц, тормозимых на пленке шлака. Чем меньше выход летучих, тем выше концентрация топлива на стенке предтопка и выше доля горения в слое. Естественно, подобное увеличение концентрации быстро приводит к чрезмерному экранированию шлаковой пленки топливом и к затруднениям со спуском шлака, а также к большим потерям горючих в шлаке. Этот процесс тем сильнее сказывается, чем больше тепловое напряжение рабочей поверхности шлаковой

$$\text{пленки } \frac{BQ_n^p}{F_{пл}}.$$

Наличие заградительного конуса на выходе из предтопка, препятствуя попаданию частиц топлива с периферии в центральную часть факела, улучшая сепарацию шлака, требует вместе с тем обязательного полного выгорания всего отсепарированного на стенки предтопка топлива. Все это ограничивает использование в циклонных топках дробленки углей с малым выходом летучих. Опыт американских установок подтверждает эти соображения. Выход из положения может быть найден путем перехода на сжигание достаточно тонко размолотого материала в предтопках с меньшим тепловым напряжением, имеющих свободный выход газов в камеру охлаждения. Следовательно, циклонные топки, работающие по принципу ВТИ, являются более универсальными.

При выборе габаритов топочного устройства при заданной его производительности необходимо обеспечивать условия для бесперебойного удаления жидкого шлака, определяемые температурой у леточного отверстия, совпадающей в топке ВТИ с температурой в конце предтопок.

Из теплового баланса цилиндрического предтопка следует, что теплосодержание газов на выходе из него определяется следующей формулой:

$$I_m'' = Q_n^p \left( \eta_m' - \frac{4}{D} \cdot \frac{F}{Q} \right) \text{ ккал/кг}, \quad (1)$$

где  $\eta_m' = 1 - q_3 - q_4 - q_\phi + \frac{Q_a}{Q_n^p}$  — коэффициент

тепловыделения в предтопке;

$Q_a$  — тепло, вводимое с воздухом, ккал/кг топлива;

$D$  — диаметр предтопка, м;

<sup>3</sup> См. статью Ю. Л. Маршака и Д. В. Шапорова на стр. 9.

$\frac{Q_A}{F}$  — теплонапряжение экранов предтопка, ккал/м<sup>2</sup> час;

$\frac{Q}{V}$  — теплонапряжение объема предтопка, ккал/м<sup>3</sup> час;

$q_\phi = 0,27 \frac{A^p \eta_{шл} t_{шл}}{100 Q_n^p}$  — потеря тепла со шлаком;

$\eta_{шл}, t_{шл}$  — доля шлака, улавливаемого в предтопке, и его температура;

$q_3 + q_4$  — потери в предтопке, а не в топке в целом.

Из формулы (1) видно, что для поддержания температуры уходящих газов за предтопком надо увеличивать объемное или уменьшать поверхностное тепловое напряжение предтопок.

Обязательными требованиями для топок с жидким шлакоудалением являются высокий к. п. д. топки и малые расходы энергии на подготовку топлива и топочный процесс.

Требования эти противоречивы. Углубляя помол (и в пределе переходя на дробленку), можно значительно сократить затраты энергии на приготовление топлива. Однако при этом возрастет расход энергии на циклонный процесс в топке. Поэтому в ряде случаев переход на дробленку может привести к перерасходу энергии на собственные нужды. Ниже в таблице сделано сопоставление удельных расходов электроэнергии для пяти типичных топлив при сжигании их в виде пыли или дробленки в топках с максимальным шлакоулавливанием<sup>4</sup>.

В расчетах принято было, что при сжигании каменных углей в виде пыли для новых котельных агрегатов устанавливаются среднеходовые мельницы. Как видно из таблицы, при к. п. д. дутьевых вентиляторов с  $\eta = 0,65$  во всех случаях, кроме АШ (где для приготовления пыли предусматриваются шаровые барабанные мельницы), сжигание дробленки менее выгодно. Однако выше указывалось, что сжигание АШ без размала малоперспективно. Переход же на сжигание пыли делает невыгодным топки с высоким циклонным эффектом. Положение мало меняется в случае применения шаровых барабанных мельниц при сжигании пыли (реконструкция действующих котельных агрегатов). И в этом случае сжигание прубой пыли в циклонной топке типа ВТИ выгоднее, чем сжигание дробленки. Для снижения удельного расхода энергии на дутье при сжигании дробленки необходим выпуск для энергетики высокоэкономичных осевых воздуходувок.

<sup>4</sup> Расчеты сделаны на основании норм ВТИ теплового расчета котельных агрегатов и применительно к данным испытаний циклонных топок. Удельные расходы энергии на пылеприготовление взяты по данным испытаний. При определении расхода энергии на пылеприготовление учитывалась затрата энергии на дробление  $\mathcal{E}_{др} = 2 \text{ квтч/т}$  и примерно  $2 \text{ квтч/т}$  на пневмотранспорт дробленки в топку.

Количество горячего воздуха, подаваемого в предтопок, при сжигании дробленки несколько выше вследствие снижения в этом случае присосов на тракте топливоприготовления. Избыток воздуха у дымососа условно принят во всех случаях равным  $a_d = 1,5$ , хотя в топках с сухим золоудалением он должен быть немного выше в связи с увеличением  $a_m$ .

Из таблицы далее видно, что сжигание угрубленной пыли в циклонной топке ВТИ всегда выгоднее, чем сжигание пыли в топках с сухим шлакоудалением, так как выигрыш энергии в расходе на тягу (за счет устранения газоочистки) больше, чем дополнительная затрата энергии на дутье, не говоря уже об экономии на топливоприготовлении, вследствие упрощения помола пыли и снижения потерь в топке ( $q_3 + q_4$ ).

Вместе с тем нельзя забывать, что замена размола топлива дроблением сулит значительное снижение затрат на оборудование и здание котельной.

Поэтому экономическая целесообразность применения той или иной степени измельчения угля и выбор соответствующего типа циклонной топки должны определяться отдельно для каждой группы топлива по мере накопления опытных данных.

В связи с высокими тепловыми нагрузками желательно иметь более высокий подогрев воздуха ( $400—450^\circ\text{C}$ ), особенно при сжигании малореакционных и влажных углей, а также топлива с тугоплавкой золой.

При сжигании дробленого топлива вследствие устранения присосов холодного воздуха в топливоприготовлении воздушный баланс предтопка получается более благоприятным с точки зрения получения высоких температур.

При сжигании влажных топлив наряду с применением повышенного подогрева воздуха целесообразным может быть разомкнутый или полуразомкнутый цикл топливоприготовления со сбросом водяных паров в камеру охлаждения. С точки зрения улавливания шлака лучше применение разомкнутого цикла, поскольку при полуразомкнутом цикле со сбросным воздухом в камеру охлаждения будет иметь место ухудшение шлакоулавливания за счет сброса части золы во вторую камеру. Регулируемость агрегата вместе с тем ухудшается.

Высокие температуры в предтопках определяют высокие коэффициенты теплопередачи к футерованным стенам их ( $\sim 120\,000\text{ ккал/м}^2\text{ час}$ ). Таким образом, установка предтопков равносильна увеличению наиболее эффективно работающих экранных поверхностей. В топках ВТИ с встроенными во вторую камеру предтопками тепловосприятие экранов предтопков увеличивается за счет облучения половины поверхности их со стороны второй камеры.

Теплопередача во второй камере протекает также благоприятно, поскольку туда поступают высокотемпературные газы, почти полностью выжженные, с небольшим содержанием тонкой золы. Охлаждение таких газов протекает более эффективно, чем в обычных топках, где снижение температур затрудняется растянутостью процесса горения.

Вследствие высокого тепловосприятия экранами в топке ВТИ снижается температура газов перед конвективной частью котла, например, при средней тепловой нагрузке предтопков и камеры охлаждения  $\frac{Q}{V_1 + V_2} = 240\,000\text{ ккал/м}^3\text{ час}$  температура перед первым пучком котла при сжигании кизеловского угля не превышает  $1\,050—1\,060^\circ\text{C}$ ,

что является лучшей гарантией отсутствия шлакования.

Таким образом, на основании опыта эксплуатации можно утверждать, что применение топки с максимальным шлакоулавливанием позволяет увеличить для ряда топлив тепловые напряжения топочного объема по крайней мере в 2 раза при отсутствии шлакования первого пучка.

### Отложение летучей золы

Интенсивная сепарация золы в жидком виде в топках с максимальным шлакоулавливанием влечет за собой резкое увеличение дисперсности летучей золы.

Камера охлаждения в топках с максимальным шлакоулавливанием остается практически чистой. Так, например, в топке ВТИ под секционным котлом  $D=160/200\text{ т/час}$  поверхности экранов вто-

рой камеры при  $\frac{Q}{V}$  до  $240\,000\text{ ккал/м}^3\text{ час}$  почти не шлакуются.

Вместе с тем при обтекании труб конвективных поверхностей дымовыми газами, содержащими твердые фракции летучей золы, всегда происходит сепарация какой-то части золы на поверхность труб. Отсутствие крупных фракций золы в газах из циклонных топок практически устраняет износ труб, но не устраняет заноса их; сокращение запыленности газов может влиять лишь на время загрязнения, но не на абсолютную величину отложений мелкодисперсной золы.

Имеются основания полагать, что рядом конструктивных мероприятий можно ослабить загрязнения труб и при отсутствии золы крупных фракций.

Опыт эксплуатации топки ВТИ показывает, что при сжигании грубой пыли кизеловского угля, зола которого отличается малым содержанием щелочей, при улавливании 85% шлака отложения тонкой золы на поверхностях нагрева были рыхлыми и легко удалялись при встряхивании или обдувке.

Сжигание пыли тощего угля в одной из модификаций топки ВТИ с жидким шлакоулавливанием под котлом  $D=30\text{ т/час}$  при сепарации до 70% золы в жидком виде не сопровождалось загрязнением поверхностей нагрева.

Наоборот, сжигание иллинойского угля в США с содержанием летучих щелочей в золе в количестве 3%\* в циклонных топках Бабкок<sup>5</sup> с улавливанием 82—90% золы в жидком виде на ряде станций сопровождалось значительным налипанием и даже спеканием летучей золы на трубах вторичного пароперегревателя, работавшего с более высокими температурами металла ( $t_{ne} = 500—543^\circ\text{C}$ ) и газов ( $T'_{ne} = 1\,150—1\,090^\circ\text{C}$ ).

Большие загрязнения наблюдались в водяном экономайзере и воздухоподогревателе, особенно на входной трубной доске.

\* Температурные характеристики золы  $t_1 = 1\,080$ ,  $t_2 = 1\,100$ ,  $t_3 = 1\,280^\circ\text{C}$ .

<sup>5</sup> Stone and Wade, Mechanical Engineering, May, 1952.

Исследования при улавливании 82—90 % золы иллинойского угля в виде жидкого шлака показали, что относительная величина газообразных щелочей в дымовых газах велика, в связи с чем преобладает связанная форма загрязнения.

Для ряда топлив, имеющих малое количество летучих щелочей при работе конвективных поверхностей нагрева с соответствующими температурами металла и газов, отложения мелкодисперсной золы могут легко удаляться с помощью паровой или воздушной обдувки.

Большой интерес представляет вибрационная очистка поверхностей нагрева перегревателя и водяного экономайзера, успешно применяемая для удаления с труб летучей золы при сжигании АШ, имеющей повышенную способность к слипанию.

При конструировании новых котельных агрегатов с циклонными топками необходимо применять поверхности нагрева, удобные для очистки и в минимальной степени подверженные загрязнению (достаточные скорости газов, соответствующее расположение труб).

### **Использование физического тепла шлака**

Технически целесообразным методом использования шлака является подогрев воздуха. В этом случае, гранулируя вытекающий из топочной камеры шлак воздухом, можно за счет обтекания раскаленных частиц шлака нагревать воздух до высокой температуры (400—600° С).

Подогретый за счет тепла шлака воздух может быть использован в системе пылеприготовления или же направлен в топочную камеру.

Использование тепла шлака для подогрева воздуха в существующих котельных агрегатах приводит к некоторому увеличению потери с уходящими газами вследствие снижения количества воздуха, поступающего в воздухоподогреватель. Для новых котлов это повлечет за собой увеличение хвостовых поверхностей нагрева.

Наряду с использованием тепла шлака большое значение для дальнейшего повышения экономичности применения топок с жидким шлакоудалением имеет использование самого шлака для технологических углей. Как показывает опыт, пока впрочем недостаточный, из жидкого шлака, вытекающего из летки, можно делать шлаковую вату, отливать кирпичи для мощения мостовых, производить легковесы для заполнения стен зданий. Актуальной делается техническая и экономическая проработка вопроса выплавления железа из жидкого шлака, содержащего 20—30 % окиси железа.

### **Выводы**

В настоящее время у нас успешно работает несколько промышленных топок с максимальным шлакоулавливанием, сжигающих различные топлива: кизеловский, воркутский и тощий уголь.

Высокая очистка газов, возможность повышения теплового напряжения топочного объема по крайней мере в 2 раза по сравнению с другими топками при устранении шлакования поверхностей нагрева делает особенно перспективным применение топок с максимальным шлакоулавливанием для котлов высокой производительности 230 и 450 т/час.

Вместе с тем топки с максимальным шлакоулавливанием должны найти широкое применение и для реконструируемых или вновь выпускаемых котельных агрегатов меньшей мощности, так как установка их, как показывает опыт, позволяет поднять паропроизводительность котла на 50 % наряду с лучшей очисткой газов, повышением экономичности и удобства эксплуатации. Использование жидкого шлака для технологических целей или тепла шлака делает особенно выгодными эти топки для большинства топлив.

Учитывая преимущества топок с максимальным шлакоулавливанием перед другими топочными устройствами, необходимо уже сейчас поставить вопрос о более широком исследовании и внедрении их в советской энергетике на базе накопленного материала при эксплуатации и исследовании первых промышленных устройств.





# Пуск и эксплуатация топки ВТИ с максимальным шлакоулавливанием

Канд. техн. наук Ю. Л. Маршак и инж. Д. В. Шапоров

Отличительной особенностью топки ВТИ является устройство первой камеры в виде ряда вертикальных цилиндрических предтопок малого диаметра и определенной длины, свободно сообщающихся через шлакоулавливающий пучок со второй камерой, с верхним вводом в предтопок пыли и воздуха через горелку, создающую сильное вращение факела. Аэросмесь движется спирально по стенкам предтопок, смоченным медленно движущейся вниз пленкой жидкого шлака. При этом осуществляются горение основной массы топлива и сепарация расплавленных частиц золы. Во второй камере происходит охлаждение газов и догорание компонентов топлива, горение которых не закончилось в предтопках.

В целях промышленного опробования топки ВТИ на одной тэц был реконструирован работающий котел<sup>1</sup> и пущен в работу в начале декабря 1951 г.

## Котельный агрегат и топливо

До реконструкции котел (секционный ЛМЗ) с номинальной паропроизводительностью 160/200 т/час имел топочную камеру с холодной воронкой, полностью экранированную трубами диаметром  $83 \times 3,5$  с шагом 100 мм, объемом 550 м<sup>3</sup>, с угловым расположением щелевых горелок в два яруса.

Фактическая нагрузка котла в эксплуатации не превышала 160—165 т/час и ограничивалась шлакованием экранов и конвективного пучка, а также повышением содержания солей в паре.

Основные характеристики переоборудованного котла (рис. 1) приведены ниже:

Давление пара . . . . .	30 атм
Перегрев пара . . . . .	425° С
Температура питательной воды . . . . .	150° С
Количество предтопок на котел . . . . .	4 шт.
Диаметр предтопок . . . . .	1 960 мм
Высота (от горелки до летки) . . . . .	11 000 мм
Объем одного предтопка (до разделительного пучка) . . . . .	33 м <sup>3</sup>
То же четырех предтопок с коридорами . . . . .	177 м <sup>3</sup>
Поверхность стен предтопок . . . . .	367 м <sup>2</sup>
Объем камеры охлаждения . . . . .	550 м <sup>3</sup>
Лучистая поверхность экранов ее . . . . .	403 м <sup>2</sup>
Общий объем предтопок и камеры охлаждения . . . . .	727 м <sup>3</sup>

<sup>1</sup> В пуско-наладочных работах принимали участие доктор техн. наук В. П. Ромадин, инженеры В. Н. Кондаков, Ю. Ф. Кузавев, Ф. Ф. Волков, В. Я. Лях. Проект реконструкции котла выполнялся Уралэнергомонтажем при консультации и участии ВТИ (инж. Б. А. Линдквист и инж. М. А. Завьялов).

## Поверхности нагрева:

фестон (диаметр труб $102 \times 5$ мм, шаг 500 мм) . . . . .	88 м <sup>2</sup>
кипяtilьный пучок (диаметр труб $83 \times 3,5$ мм) . . . . .	390 м <sup>2</sup>
пароперегреватель (диаметр труб $38 \times 3$ мм) . . . . .	1 570 м <sup>2</sup>
водяной экономайзер (диаметр труб $51 \times 3,5$ мм) . . . . .	1 370 м <sup>2</sup>
воздушный подогреватель (диаметр труб $40 \times 1,5$ мм) . . . . .	9 750 м <sup>2</sup>

Четыре вертикальных футерованных предтопка, установленных по два с боковых сторон общей второй (старой) топочной камеры, выполнены из ошпированных труб диаметром  $83 \times 5$  мм, расположенных по окружности с шагом 133 мм, покрытых изнутри хромитовой массой и снаружи изолированных слоями азбозурита, совелита и асбестита. Вверху каждого из предтопок располагается одна горелка, ниже которой имеются три яруса сопел для касательной подачи третичного воздуха в предтопок. В результате возникающих в факеле центробежных усилий капли расплавленной золы отжимаются на стенки топки и стекают в виде пленки вниз на шлаковый под, откуда шлак через летку попадает в герметический комод, где гранулируется водой.

В целях сокращения объема работ при реконструкции котла предтопки выполнены вне топки и соединяются со второй камерой коротким газоходом, образованным из труб бокового экрана второй камеры. Экранные трубы предтопка, проходя через газоход, разводятся, образуя двухрядный шлакоулавливающий пучок, в котором осуществляется дополнительная сепарация жидкого шлака.

Экраны предтопок включены в систему циркуляции котла, имеющего трехступенчатое испарение. Каждый из двух смежных предтопок имеет четыре независимых контура циркуляции — двухсветного, бокового, фронтального и заднего экранов. Двухсветный экран включен в чистый отсек барабана котла, фронтальной и задний экраны предтопок включены в выносные циклоны, образующие вторую ступень испарения и выдающие чистый пар в сухопарник. Боковые экраны предтопок включены в выносные циклоны, представляющие третью ступень испарения.

Сверху каждого предтопка над горелками установлены муфельные горелки с площадью решетки 0,2 м<sup>2</sup> (рис. 2).

Летка диаметром 500 мм выполнена с охлаждаемыми водопроводной водой змеевиками. Шлаковый комод под каждым предтопком имеет объем воды 14,5 м<sup>3</sup>. Выпуск шлака из комода в ка-

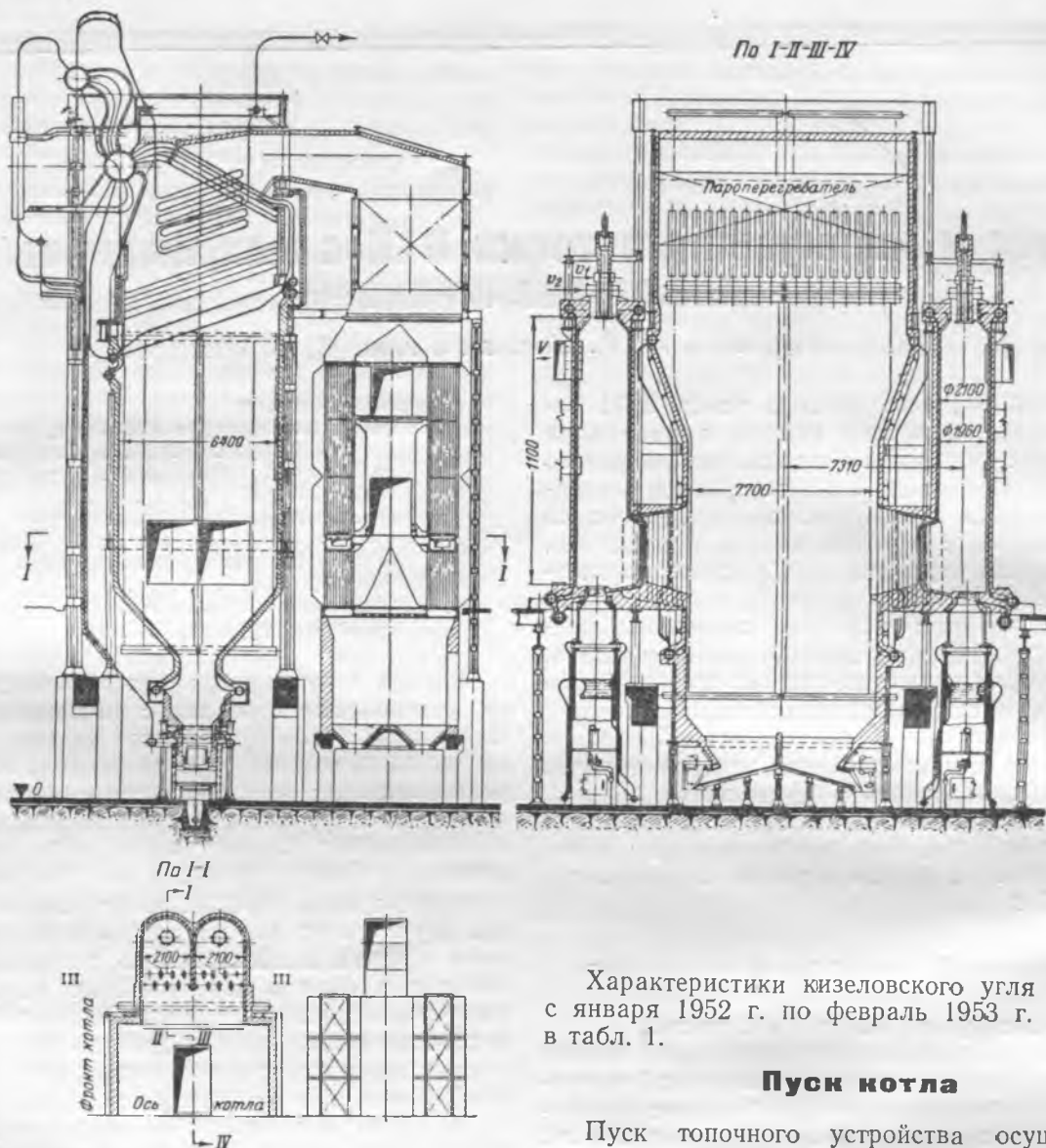


Рис. 1. Конструктивная схема котла.

нал гидрозолоудаления осуществляется периодически, при помощи открывания шлакового затвора, поднимаемого и опускаемого поршневым гидрприводом.

Вторая камера осталась в основном без изменений, ее глубина 6 400 мм, ширина 7 800 мм. Высота расположения оси амбразур предтопков от кипятильного пучка (фестона) 8,35 м.

Для лучшего перемешивания газов во вторую камеру над выходными амбразурами предтопков в количестве 10—15% может подаваться горячий воздух через восемь сопел, установленных по два в углах топки, касательно к воображаемой окружности диаметром 2 000 мм.

Котел оборудован двумя шаровыми барабанными мельницами 287/510 по двухвентиляторной схеме с промбункером.

Теплоэлектроцентральный получает уголь из 18 шахт Кизеловского бассейна. Наибольшее количество угля в последнее время подается трестом Сталинуголь (80%) главным образом с шахт Половинкинского месторождения (52—53%); уголь этот имеет наиболее тугоплавкую золу.

Характеристики кизеловского угля за период с января 1952 г. по февраль 1953 г. приведены в табл. 1.

### Пуск котла

Пуск топочного устройства осуществлялся с помощью муфельных горелок, используемых как запальное устройство. Через 2—3 мин. после подачи пыли в муфель подавалась пыль на основную горелку, а на муфель отключалась. Подача горячего воздуха под решетку муфеля не применялась. Вследствие ограниченного времени работы муфеля опрокидное устройство колосников, показанное на рис. 2, не применялось, а золоспускной канал был заложен кирпичом.

Для равномерного нагрева пуск котла осуществлялся при работе всех четырех предтопков. Питатели пыли включались на пусковых оборотах, что соответствовало подаче пыли 1 600—1 800 кг/час.

Поверхность экранов предтопков и шлакоулавливающего пучка покрывалась коркой шлака. Однако сепарация шлака на стенах предтопка за пусковой период была невелика и не представляла угрозы для работы котла.

Дутьевой вентилятор пускался перед включением котла в магистраль. При подаче горячего воздуха в топку (через горелку и сопла) увеличивалось вращение факела и резко возрастала сепарация шлака на стенки предтопка. После взятия котлом нагрузки налипший шлак расплавлялся и стекал на под. Изменение толщины

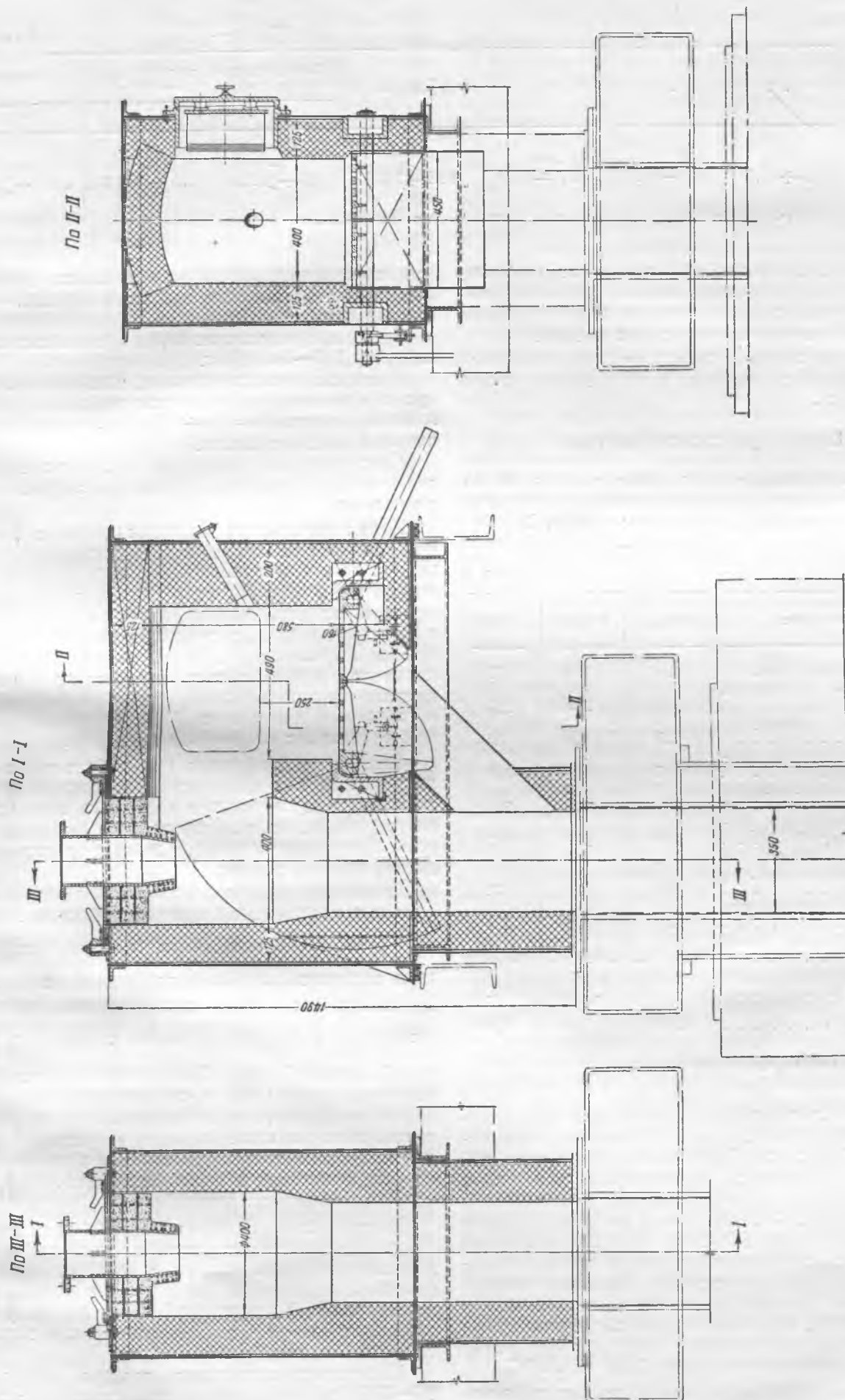


Рис. 2. Муфельная горелка для пуска предтопка.

WP, %	A <sup>c</sup> , %	S <sup>c</sup> , %	V <sup>2</sup> , %	Q <sub>н</sub> <sup>p</sup> , кал/кг	Температурные характеристики золы по анализам ВТИ, °C		
					t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>
4,3 2,5 ÷ 7	30 25,5 ÷ 33,4	5,55 5,1 ÷ 6,2	— 45,1 ÷ 46,8	5 100 4 820 ÷ 5 480	1 005 ÷ 1 500	1 195 ÷ 1 500	1 240 ÷ 1 500

Примечание. Верхние цифры — средние данные; нижние — пределы колебаний.

шлаковой корки на трубах в зависимости от тепловой нагрузки предтопка можно было наблюдать визуально и фиксировать по изменению давления газов перед шлакоулавливающим пучком.

Появление жидкого шлака из летки практически совпадало по времени с включением котла в магистраль.

### Эксплуатация котла

Эксплуатационные показатели работы котла в течение первых 3 мес. работы его при повышенной нагрузке в 1953 г. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Наименование	Январь	Февраль	Март <sup>1</sup>
Средняя нагрузка, т/час . .	170	183	177
Максимальная нагрузка, т/час . . . . .	235	230	220
Минимальная нагрузка, т/час . . . . .	78	90	90
Средняя температура перегретого пара, °C . . . . .	406	405	398
Давление перегретого пара, атм . . . . .	30	30	30,1
Средняя температура уходящих газов, °C . . . . .	180	179	183,5
Температура воздуха до воздухоподогревателя, °C . . . . .	69	71	72
Температура горячего воздуха, °C . . . . .	290	307	314
Тонкость помола пыли R <sub>88</sub> /R <sub>208</sub> , % . . . . .	39,5/14,2	37,9/11,5	41/14
Содержание горючих в уносе шлаке, % . . . . .	4/0,09	4,5/0,01	4,4/0,001
Потеря от механического недожога, % . . . . .	0,39	0,43	0,40

<sup>1</sup> Данные взяты за первую половину месяца.

Максимальная нагрузка котла при работе четырех предтопков и хорошем качестве пара составляет 240 т/час. Дальнейшее увеличение нагрузки ограничивается ухудшением качества пара и возрастанием сопротивления пароперегревателя и паропровода. С точки зрения работы топочного устройства вполне возможно (и желательно для увеличения диапазона нагрузок на четырех предтопках с устойчивым выходом жидкого шлака) дальнейшее увеличение паропроизводительности котла, так как при D=240 т/час шлакования первого пучка не наблюдается, а температура вверху второй камеры не превышает 1 050—1 060° C.

На трех предтопках котел может работать с нагрузкой 160—210 т/час, причем низший пре-

дел производительности определяется устойчивостью выхода жидкого шлака, а верхний — качеством пара.

С двумя предтопками котел в состоянии нести нагрузку 110—140 т/час.

В течение короткого времени (несколько часов) при сбросе нагрузки котел мог работать с одним предтопком при D = 45 ÷ 55 т/час с нормальной выдачей жидкого шлака.

Кратковременно возможно было также допустить работу отдельных предтопков с сухим золоудалением.

Резкое увеличение нагрузки котла и снижение температуры газов перед фестом объясняются тем, что теплопередача в предтопках, несмотря на футеровку их, осуществляется весьма эффективно; интенсивное излучение имеет место и во второй камере, в которой в основном охлаждаются потухшие газы. На основании наладочных испытаний можно считать, что среднее тепловое напряжение экранов предтопков и второй камеры в топочном устройстве ВТИ несколько выше, чем в топках с открытыми экранами.

Включение предтопков при работе котла осуществляется без пуска муфеля простым открытием клапана первичного воздуха и включением соответствующего пылепитателя на пусковые обороты. После воспламенения пыли в предтопок подается горячий воздух.

Общее тепловое напряжение топочного устройства при максимальной нагрузке котла достигало  $\frac{Q}{V_1 + V_2} = 240\,000$  ккал/м<sup>3</sup> час. Максимальная величина теплового напряжения цилиндрической части предтопка (до пучка) при нагрузке, приходящейся на него, D=70 т/час составляет  $\frac{Q}{V_1} = 1,5$  мкал/м<sup>3</sup> час. Последняя величина не является предельной и определяется в данном случае запроектованной подачей воздуха в предтопок, а также и возрастанием скорости в шлакоулавливающем пучке, что связано с увеличением его сопротивления и выносом жидкого шлака во вторую камеру (см. ниже).

Из ряда исследованных и опробованных в эксплуатации горелочных устройств наиболее приемлемыми оказались горелки с лопаточным завихрением на выходе, позволяющие более полно использовать располагаемый напор для вихревого движения факела и оказавшиеся вполне эксплуатационно надежными.

Количество первичного воздуха составляло 18—20% от теоретически необходимого; вторичного воздуха, пропускаемого через горелочное



устройство, 45%. Остальной воздух (40%) подавался через сопла первого яруса. Давление первичного воздуха было перед горелкой 200 мм вод. ст., горячего воздуха перед соплами и горелками — 150÷160 мм вод. ст.

Предтопки работали с давлением под леткой 10÷15 мм вод. ст.

При обычном избытке воздуха  $\alpha_{m1} = 1,05$  степень выгорания топлива в предтопке ( $100 - q_3 - q_4$ ) составляла 95—98% независимо от указанных выше величин  $\frac{Q}{V}$ , причем  $q_4 = 0,5 \div 2\%$  ( $C = 5 \div 15\%$ ).

С точки зрения жидкого шлакоудаления возможно было работать с  $\alpha < 1$ , однако при этом на пленке жидкого шлака, стекающего в летку, оказывались твердые включения скоксовавшейся пыли, содержавшие до 50% горючих. Кроме того, затягивание процесса горения в этом случае приводило к повышению температуры газов в конце второй камеры. При избытке воздуха  $\alpha_{m1} > 1,15$  степень выгорания увеличивалась (за счет устранения химической неполноты сгорания), однако при этом снижалась температура у летки.

При сжигании пыли кизеловского угля, преимущественно Гремячинского месторождения, с тонкостью помола  $R_{88} = 40\%$  и  $R_{208} = 16\%$  и с плавкостью золы вплоть до  $t_2 > 1500^\circ\text{C}$ , при тепловом напряжении цилиндрической части предтопка  $\frac{Q}{V} = 1,3 \div 1,5 \text{ мккал/м}^3 \text{ час}$  жидкий шлак вытекал вполне устойчиво. Температура у летки составляла 1600—1650°C.

Сжигание углей с некоторых шахт Половинкинского месторождения, отличающихся более тугоплавкой золой ( $t_2 > 1500^\circ\text{C}$ ), характеризовалось повышением температуры у летки до 1700°C вследствие увеличения толщины шлаковой пленки на шиповых экранах. Вытекание шлака из летки при правильном режиме горения в предтопке и  $\frac{Q}{V} = 1,4 \div 1,5 \text{ мккал/м}^3 \text{ час}$  не представляло затруднений. Однако при этом требуется более частое обслуживание летки.

Устойчивость вытекания жидкого шлака зависит от формы летки, величины ее и способа охлаждения.

Работа второй камеры зависела в основном от топочного режима и числа работающих предтопок. Топочный режим предтопок определял не только температурный уровень газов во второй камере, но и догорание в ней топлива, а также состояние шлакоулавливающего пучка и шлакового порога.

В случае догорания значительной доли топлива во второй камере, обусловленного неправильным режимом в отдельных предтопках, наблюдался температурный перекокс перед конвективным пучком и пароперегревателем. То же положение получалось в результате изменения аэродинамики факела или толщины слоя шлака на шлаковом пороге и на трубах шлакоулавливающего пучка вследствие несоответствия тепловой нагрузки предтопка и температуры плавления золы топлива.

В целях снижения температуры перегретого пара шлаковый порог был снижен. Это дало воз-

можность улучшить заполнение факелом холодной воронки второй камеры.

При прочих равных условиях толщина слоя шлака над шлаковым порогом определяется температурой его плавления и нагрузки котла. В связи с резким колебанием плавкости золы кизеловского угля периодически изменялась и высота шлакового порога. При этом изменялось и заполнение факелом нижней части второй камеры. Изменение высоты шлакового порога представляет собой длительный и сложный процесс, который не следует сразу за изменением качества топлива, поскольку должно произойти хотя бы частичное замещение накопленного на пороге шлака. Поэтому в руках эксплуатационного персонала имеется возможность путем режимных мероприятий (например, изменением нагрузки) поддерживать на определенном уровне температуру перегретого пара.

При длительной работе котла с тремя или двумя предтопками шлаковые пороги неработающих предтопок подшлаковываются вследствие расширения факела из соседнего предтопка, а также заноса шлаком из факела противоположного предтопка. Для предупреждения шлакования порогов неработающих предтопок применяется периодическое чередование их (раз в 2—3 суток).

При нагрузке на предтопок 65 т/час пара скорость факела в живом сечении шлакоулавливающего пучка достигает 39—40 м/сек. При такой скорости газов наблюдается срыв с труб шлакоулавливающего пучка части шлака, стекающего в виде струй, образующихся в результате появления выступов на поверхности трубы. Срыв струй шлака тем больше, чем больше нагрузка на предтопок и чем более легкоплавкой является зола. Поэтому нагрузка на предтопок зависит от качества сжигаемого топлива. Как правило, при сжигании половинкинских углей вынос шлака уменьшается.

Наблюдается также вынос газами капель шлака, падающего с потолка амбразуры над шлаковым подом.

Шлак, выносимый из предтопок с большой скоростью, в большей своей части выпадает в холодную воронку, а частично попадает на вертикальные участки экранов под шлаковыми порогами противоположных, особенно неработающих, предтопок (см. рис. 1).

Общее количество шлака во второй камере составляет 3—4%.

В целях предотвращения зашлаковывания экранов второй камеры практикуется профилактическая обмывка их водой. Раз в смену в течение нескольких минут выполняется обмывка участков боковых экранов под шлаковыми порогами и раз в несколько суток — фронтального и заднего экранов в месте встречи факелов.

При применении профилактических обмывок и смены предтопок шлакование второй камеры не ограничивает кампанию котла. После месячной работы котла вторая камера была не зашлакована (рис. 3). Из рис. 4 видно, что температура газов вверху второй камеры в течение этой кампании практически оставалась неизменной.

Котел может быстро набирать нагрузку как

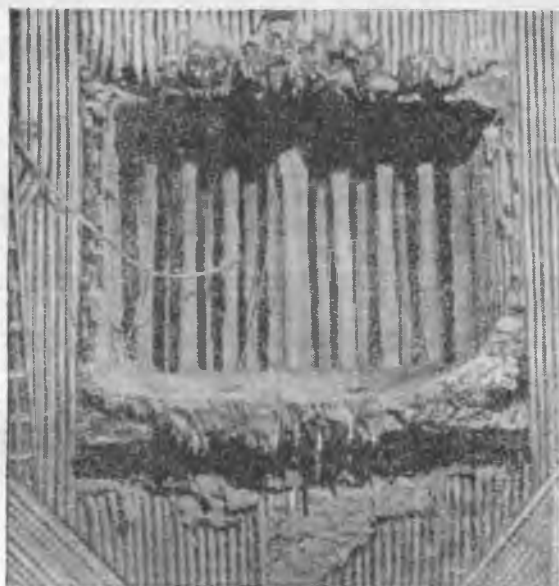


Рис. 3. Левая боковая стена второй камеры и амбразура левых предтопок после 30 суток работы котла.

путем включения новых предтопок, так и в результате форсирования работающих. Нагрузка котла хорошо поддерживается на заданном уровне.

При работе четырех, трех, а также двух противоположных предтопок с нормальным топочным режимом выравнивание температур газа легко осуществляется нагрузкой предтопок. Как правило,  $\Delta t_n = 15\text{--}20^\circ\text{C}$  и  $\Delta T_k = 10\text{--}20^\circ\text{C}$ . В редких случаях для выравнивания температуры применяется подача воздуха во вторую камеру через угловые сопла в количестве 5—10%.

Распределение давлений воздуха и газов характеризуется следующими цифрами:

Давление:

перед воздухоподогревателем . . .  $p_{вп} = 300\text{--}330$  мм вод. ст.  
за воздухоподогревателем . . . . .  $p_{еп} = 240\text{--}260$  мм вод. ст.  
перед горелками и соплами . . . .  $p_{гор} = 150\text{--}160$  мм вод. ст.  
внизу предтопок  $p_{np} = 10\text{--}15$  мм вод. ст.

Разрежение:

сверху второй камеры . . . . .  $s_{m2}'' = 4\text{--}6$  мм вод. ст.  
за котлом . . . . .  $s_k'' = 8\text{--}10$  мм вод. ст.  
за водяным экономайзером (при  $D = 200$  т/час)  $s_{э.э}'' = 35\text{--}45$  мм вод. ст.  
за воздушным подогревателем (при  $D = 200$  т/час) .  $s_{вп}'' = 125\text{--}140$  мм вод. ст.

Шлаковые комоды опоражниваются 2 раза в смену.

Устройство для удаления шлака из комодов, выполненное по типовой конструкции (для топок с жидким шлакоудалением), оказалось неудовлетворительным. Вследствие попадания частиц гранулированного шлака на поверхности уплотнения



Рис. 4. Изменение температуры газов в конце второй камеры в течение кампании котла. Нагрузка  $D = 190\text{--}192$  т/час.

шлаковых шандор последние быстро истираются, пропуская значительное количество воды. Утечки воды особенно велики при работе трех-четырех комодов. В настоящее время разрабатывается конструкция для непрерывного удаления шлака из комодов.

Транспорт гранулированного шлака кизеловского угля в каналах гидрозолоудаления не вызывал затруднений.

Максимальная кампания котла пока не превышает 1 мес.

За 5 тыс. час. работы котла был один случай выхода из строя змеевика шлакового порога (сернистая коррозия). Имелись случаи неоднократного выхода из строя леток, выполненных из голых змеевиков и охлаждаемых технической водой, подвергающихся серноокислотной коррозии.

За время эксплуатации котла с топкой ВТИ не наблюдалось износа поверхностей нагрева летучей золой. Не наблюдалось также износа крыльчаток дымососа, работающих со скоростью вращения 535 об/мин.

Исходная зола кизеловского угля имела состав, приведенный в табл. 3.

В первый период наладочной эксплуатации с двумя предтопками с нагрузкой 110—130 т/час наблюдался умеренный занос поверхностей нагрева пароперегревателя, водяного экономайзера и пластинчатого воздухоподогревателя летучей золой, легко удалявшейся при встряхивании поверхностей нагрева или обдувке. В дальнейшем при работе котла с повышенной нагрузкой  $D = 180\text{--}200$  т/час занос поверхностей нагрева был менее интенсивным.

На рис. 5 показано изменение температуры перегретого пара и уходящих газов в течение месячной кампании котла. Из графика видно, что снижение  $t_{пг}$  и повышение  $T_{у.к.}$ , вызванное заносом поверхностей нагрева, наблюдается в течение первых нескольких дней, а в дальнейшем они практически не изменяются, т. е. отложения летучей золы мало или совсем не прогрессируют. На трубах кипяточного пучка рыхлые отложения наблюдались только на тыльной стороне труб в виде правильных треугольных призм высотой до 45 мм с углом при вершине  $60^\circ$ . В пароперегревателе с коридорным расположением труб рыхлая летучая зола отлагалась между трубами витка. Несколько более сильному заносу подвергались трубы водяного экономайзера, где рыхлые отложения имели вид правильных призм высотой около 20 мм с углом при вершине  $90^\circ$  на лобовой и тыльной частях труб. Заметно было, что с тыльной части труб отложения летучей золы по мере накопления отваливаются вниз<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Направление газов — сверху вниз.

SiO <sub>2</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	CaO, %	MgO, %	SO <sub>3</sub> , %	R <sub>2</sub> O (по разности) %,
45—46,7	31,4—33,1	19,4—15,8	1,5—0,87	1,0—1,05	0,83—0,87	0,9—1,61

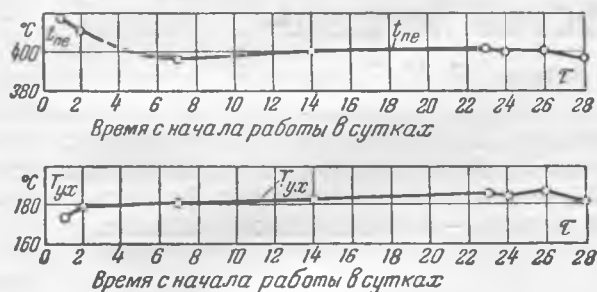


Рис. 5. Изменение температуры перегретого пара и уходящих газов в течение кампании котла. Взяты дни со средней нагрузкой  $D = 179 - 184$  т/час.

При работе котла с указанными повышенными нагрузками трубные доски и трубы трубчатого воздухоподогревателя не имеют отложений летучей золы. Скорость газов в трубах воздухоподогревателя при  $D=190$  т/час составляет 13 м/сек. Выходные участки труб нижних кубов в месте входа воздуха иногда имели плотные отложения на высоте 200 мм от выхода. Эти плотные отложения возникали, повидимому, вследствие отпотевания стенки трубы при входе воздуха и могли образовываться при растопке котла, а также при работе с малыми нагрузками.

В целях предотвращения конденсации водяных паров на стенках труб температура рециркулируемого воздуха держится 70°С, что приводит к увеличению потери с уходящими газами, перерасходу электроэнергии на дутье и вместе с тем не исключает отпотевания труб при растопке.

Средняя величина количества уловленного шлака в топочном устройстве, полученная прямыми измерениями в результате 20 испытаний, составляет 85—86% от золы топлива; в том числе во второй камере выпадает 3—4%.

### Коэффициент полезного действия котла и расход электроэнергии на собственные нужды

По данным испытаний ВТИ к. п. д. реконструированного котла при нагрузках 180—220 т/час составляет 89% вместо 87,5% до реконструкции<sup>3</sup>. Потери в агрегате при  $R_{88}=38-40\%$  и  $R_{208}=10-15\%$  имеют следующие значения:

с уходящими газами . . . . .	$q_2 = 8-8,5\%$
от химической неполноты горения . . . . .	$q_3 = 0$
с механическим недожогом . . . . .	$q_4 = 0,3-0,5\%$
в окружающую среду . . . . .	$q_5 = 0,5\%$

■ Оба значения  $\eta$  по обратному тепловому балансу.

с физическим теплом шлака (с учетом последних данных ВТИ по теплоемкости шлака) . . . . .  $q_{физ} = 1,6\%$   
на охлаждение леток и порогов и с излучением через летки . . . . .  $q_{охл} = 0,3\%$

Несмотря на наличие потери с физическим теплом шлака, общая величина  $q_3 + q_4 + q_{физ} \approx 2\%$  в топке ВТИ с максимальным шлакоулавливанием оказалась несколько ниже, чем в соседних котлах с сухим золоудалением, где  $q_3 + q_4 = 3\%$ .

Потерю с охлаждающей водой намечено устранить путем включения леток и порогов в систему охлаждения конденсатом и циркуляции котла.

Средние эксплуатационные удельные расходы электроэнергии на тягу, дутье и пылеприготовление котла с топкой ВТИ в сопоставлении с общими расходами на собственные нужды по котельному цеху приведены в табл. 4.

Таблица 4

Расход электроэнергии	Котел с топкой ВТИ, кВт/т пара	В среднем по котельному цеху, кВт/т пара
На пылеприготовление . . . . .	4	4,6
На тягу и дутье . . . . .	5,65	5,18
Всего . . . . .	9,65	9,78

Вследствие применения более грубого помола расход на пылеприготовление котла с топкой ВТИ меньше, чем на остальных котлах тэц, имеющих шаровые барабанные мельницы с одновентиляторной схемой пылеприготовления и сжигающих пыль с  $R_{88}=25 \div 28\%$ .

Перерасход электроэнергии на дутье в топке ВТИ компенсируется в значительной мере экономией энергии на тягу вследствие отсутствия газоочистки (на остальных котлах тэц имеются мультициклоны).

В целом котел имеет пока некоторый перерасход электроэнергии, вызванный значительными утечками воды в шлаковых шандорах, что заставляет пускать дополнительный насос.

Для дальнейшего снижения расходов на собственные нужды намечается переход на одновентиляторную схему пылеприготовления и сокращение расхода воды в комодах путем установки плотных шандор и перехода на непрерывное шлакоудаление.



# Эксплуатационная проверка пароводяной обдувки топочных поверхностей нагрева

Канд. техн. наук В. А. Локшин и инж. Н. М. Талдыкин

Современный котельный агрегат должен был бы иметь такую компоновку поверхностей нагрева и такие условия эксплуатации, чтобы не было нужды в сооружении специальных обдувочных устройств. Пока эта задача еще не решена и практически большинство котлов, находящихся в эксплуатации, нуждается в организации регулярной очистки трубных элементов от наружных загрязнений. Особенно большое значение имеет борьба с отложениями на топочных поверхностях нагрева котлов высокого давления.

В последнее время на ряде электростанций нашла применение система обдувки поверхностей нагрева котельных агрегатов с использованием в качестве рабочего агента продувочной или питательной воды<sup>1</sup>.

На одной электростанции Мосэнерго подобные обдувочные устройства были установлены в конце 1951 г. на котлах высокого давления для обдувки фестонных пучков. В последующем на этих котлах произошли повреждения фестонных труб в зоне действия пароводяной обдувки. В связи с этим Всесоюзным теплотехническим институтом проведена специальная экспериментальная проверка работы пароводяной обдувки в эксплуатационных условиях на одном из котлов высокого давления этой станции.

## Объект и методика испытаний

Котельный агрегат (рис. 1) с номинальной паропроизводительностью 180 т/час при давлении в барабане 83 ата и температуре перегретого пара 500°С работает на пыли донецкого тощего угля при двухступенчатом способе сжигания<sup>2</sup>. Топочная камера сплошь экранирована. В верхней части топки расположен трехрядный фестонный пучок, являющийся продолжением фронтального экрана.

В циркуляционный контур фронтального экрана, на котором производились испытания, входят 75 подъемных труб диаметром 70 × 4 мм. Относительный шаг расположения труб фронтального экрана — 1,5, а фестона — 4,5. Относительное сечение опускной и пароводящей систем контура составляет соответственно 0,37 и 0,257. Этот экран имеет питание только от основного барабана, он не имеет рециркуляции и не секционирован. Котел

снабжен двухступенчатым пароперегревателем; первая ступень в виде ширм расположена в верхней части топочной шахты над фестоном, а вторая ступень — в конвективном газоходе.

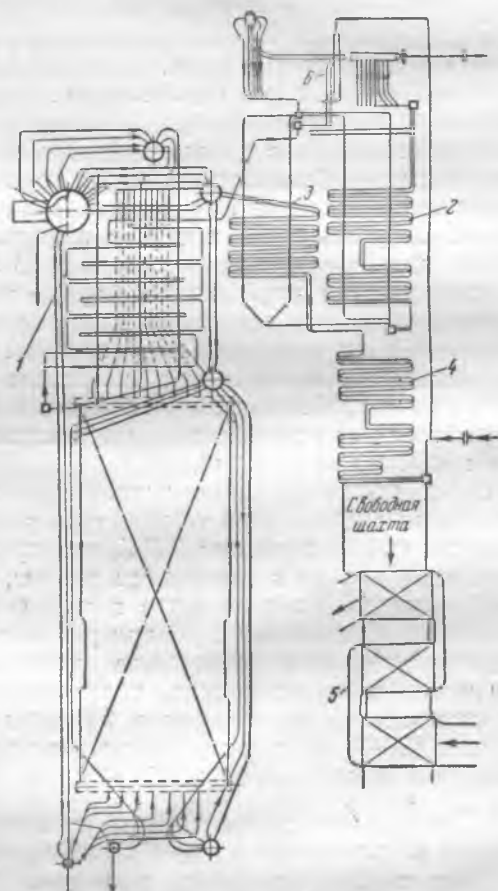


Рис. 1. Схема котельного агрегата.

1 — ширмный пароперегреватель; 2 — конвективный пароперегреватель; 3 — водный экономайзер II ступени; 4 — водный экономайзер I ступени; 5 — воздухоподогреватель; 6 — регулятор перегрева.

Схема обдувочных устройств дана на рис. 2. Система включает в себя восемь распределительных коллекторов (диаметром 44,5 × 4 мм) с индивидуальной арматурой. К каждому коллектору присоединены по четыре — шесть неподвижных сопловых аппаратов (рис. 3), наклоненных под углом 30—40° к горизонту. Сопловые наконечники, изготовленные из стали марки 15ХМ, расположенные в зазорах между экранными трубами, должны выступать за их осевую линию на 5—10 мм. Обдувочная система до испытаний не была снабжена дренажными устройствами.

<sup>1</sup> И. Л. Перельман, „Электрические станции“ 1952, № 2.

<sup>2</sup> Более подробное описание агрегата см. в статье В. А. Локшина, В. С. Биль и М. А. Ефремова, Повышение надежности эксплуатации двух котлов высокого давления, „Рабочий энергетик“, 1952, № 3.



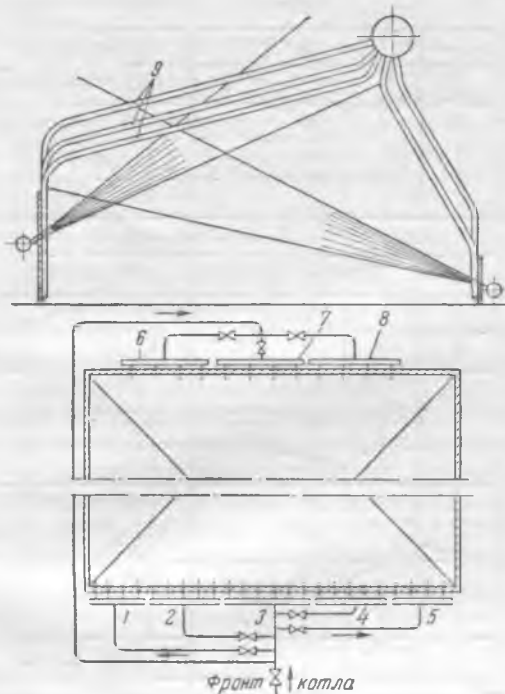


Рис. 2. Схема расположения обдувочных устройств.  
1 + 8 — коллекторы обдувочной системы; 9 — трубы фестона.

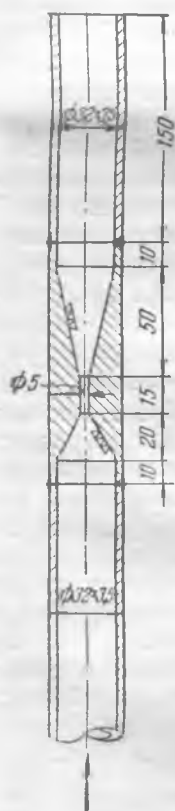


Рис. 3. Сопловой аппарат для обдувки.

В эксплуатации процесс обдувки должен быть осуществляться путем последовательного включения отдельных коллекторов с длительностью полного открытия арматуры около 15 сек.

До испытания была проведена проверка работы обдувочных устройств на холодном котле. Проведены наблюдения для определения влияния операции обдувки на топочный режим и тепловую работу пароперегревателя. Измерение скоростей циркуляции производилось в пяти подъемных трубах фронтального экрана (4 и 8 с левой стороны и 2, 6, 10 с правой стороны) с помощью пневмометрических трубок системы ВТИ и дифманометров с дихлорэтаном в качестве замыкающей жидкости. Измерялся также и полезный движущий напор экрана.

### Результаты визуальных наблюдений

При включении на холодном котле одного левого обдувочного коллектора с временем полного открытия пускового вентиля  $\tau_0 = 3$  сек. (время, затраченное на всю обдувочную операцию, включая время на открытие и закрытие пускового вентиля, составляло  $\tau_n = 28$  сек.) потоки смеси достигали первых двух рядов фестона и охватывали их по длине примерно на 50% и по ширине

на 25%. При этом верхняя часть вертикальных участков нескольких труб фронтального экрана оказалась смоченной водяной пленкой на длине около 2,5 м (примерно на  $1/3$  периметра). При увеличении времени полного открытия вентиля до  $\tau_0 = 30$  сек. водяные струи достигали и третьего ряда труб фестона, а верхняя зона вертикальных участков десяти крайних труб экрана оказалась покрытой водяной пленкой на длине более 5 м (примерно на  $1/2$  периметра).

При включении в работу крайнего правого коллектора с фронтальной стороны ( $\tau_0 = 10$  сек.) пароводяные потоки достигали промежуточного барабана. Водяные струйки стекали по многим трубам правой стороны фестона, вертикальные же участки большинства труб фронтального экрана оказались мокрыми на длине около 4 м. Опробование на холодном котле сопел, установленных на задней стене, также показало, что обдувающие потоки от одного коллектора охватывают до 30% труб по ширине фестона и достигают вертикальных участков труб фронтального экрана. Особенно сильно подвергаются обмыву вертикальные участки крайних труб с левой стороны фронтального экрана.

Различный характер работы отдельных сопел и смачивание вертикальных участков экранных труб в значительной степени объясняются неудовлетворительным состоянием сопловых наконечников (рис. 4) и неплотностью установленной арматуры.

В случае неправильной установки обдувочных аппаратов (чрезмерно близкое расположение устья аппарата к поверхности нагрева, искажение правильного направления обдувочных струй и т. п.) возможно также истирание труб потоком пароводяной смеси.

Важным является расход питательной воды через сопловый аппарат. Это было проверено на специальной тарировочной установке. Результаты тарировки даны на рис. 5, где представлена зависимость расхода воды через один сопловый аппарат от условного времени полного его открытия

$$\tau_0^{vcl} = \frac{\tau_0 + \tau_n}{2}.$$

Из рис. 5 видно, что сопло в среднем может пропускать  $1,5 \div 2$  кг/сек. За одну обдувочную операцию на котле при  $\tau_n^{vcl} = 40$  сек. расходуется около 2500 кг питательной воды, что слишком много. При недостаточно высокой температуре питательной воды данное сопло не вполне подходит. При более высокой температуре ( $\sim 180^\circ\text{C}$ ) воды пропускная способность сопла была бы меньшей.

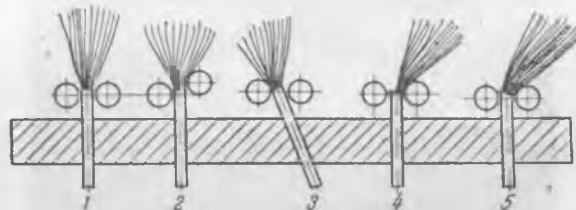


Рис. 4. Состояние сопловых наконечников в эксплуатации.

1 — нормальное состояние; 2 — при выходе экранной трубы из ряда; 3 — при неправильном монтаже; 4 — при зашлаковании выходного отверстия; 5 — при обгорании наконечника.

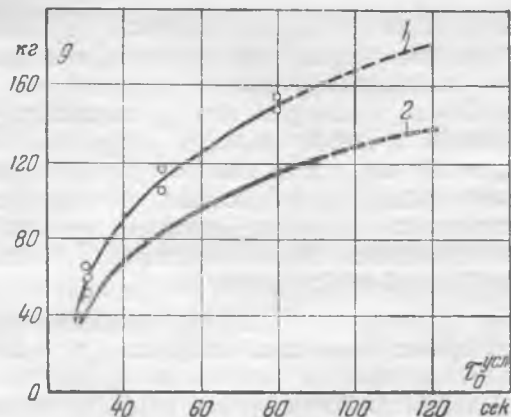


Рис. 5. Расход питательной воды через один обдувочный аппарат ( $t_{n.s} = 155^\circ \text{C}$ ).

1 — на тарировочном стенде при давлении перед соплом  $\sim 82 \text{ ат}$ ; 2 — на котле при давлении перед соплом,  $45 \div 50 \text{ ат}$ .

Несколькими визуальными наблюдениями установлена достаточная эффективность обдувки в части удаления отложений на трубах фестона. При среднем загрязнении фестона (рис. 6), характеризующем наличием отдельных шлаковых гребешков по нижней образующей труб и рыхлых отложений золы по верхней образующей труб, удается достигнуть удовлетворительного результата очистки при включении аппаратов с временем полного открытия арматуры около  $20 \div 30 \text{ сек}$ .

### Условия работы топки и перегревателя при обдувке

Перед началом пароводяной обдувки необходимо увеличить тягу и включить в работу одну-две мазутные форсунки. Произведенные попытки проведения обдувки без подключения мазутных форсунок оказались неудачными из-за появления пульсации факела и опасности потухания отдельных горелок. При временном включении мазутных форсунок пароводяная обдувка производится без снижения нагрузки котла. Возможно, что при сжигании пламенных углей необходимость включения мазутных форсунок отпадет.

Из режимного графика работы котла в период проведения эксплуатационной обдувки при поочередном включении всех обдувочных коллекторов (начиная с правого крайнего), представленного на рис. 7, видно, что температура газов



Рис. 6. Общий вид отложений на фестоне.

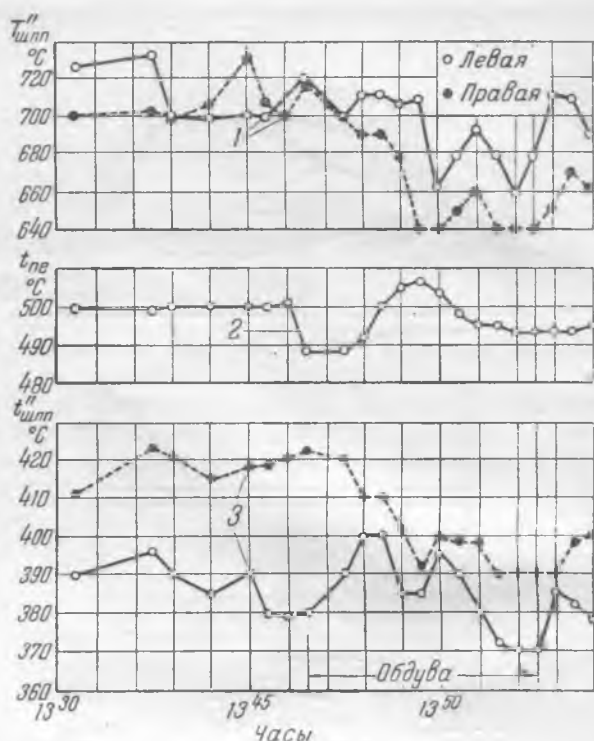


Рис. 7. Режимный график работы котла в период обдувки.

1 — температура газов за ширмовым пароперегревателем; 2 — температура пара за конвективным пароперегревателем; 3 — то же за ширмовым пароперегревателем ( $D = 175 \text{ т/час}$ ;  $t_{n.s} = 142^\circ \text{C}$ ).

после ширмового пароперегревателя временно снижается примерно на  $50^\circ \text{C}$ , а средняя температура пара по сторонам на  $20 \div 30^\circ \text{C}$ . Обдувочная операция производилась с длительностью полного открытия аппаратов, равной 30 сек. Из рис. 7 также видно, что обдувочная операция отражается и на температуре перегретого пара за конвективным пароперегревателем, вызывая необходимость своевременной подрегулировки промежуточного охлаждения пара.

При включении одного левого крайнего обдувочного коллектора (рис. 8) и  $\tau_0 = 60 \text{ сек}$ , местная температура газов за ширмовым пароперегревателем (с левой стороны) снижалась весьма сильно, примерно на  $150^\circ \text{C}$ , а средняя температура пара (с левой стороны) всего на  $8,0^\circ \text{C}$ . Относительно небольшое снижение средней температуры пара объясняется тем, что при включении одного коллектора только часть змеевиков перегревателя попадает в охлажденную зону газового потока, местная температура которого правильно отражалась измерителем температуры газов. Однако

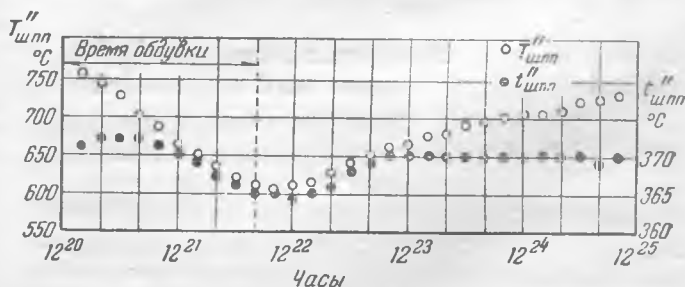


Рис. 8. Влияние обдувки на температуру газов и пара за ширмовым пароперегревателем ( $D_n = 180-190 \text{ т/час}$ ;  $p = 78 \text{ ат}$ ,  $t_{n.s} = 130^\circ \text{C}$ ;  $t_{пс} = 490-500^\circ \text{C}$ ;  $\tau_0 = 60 \text{ сек}$ ).

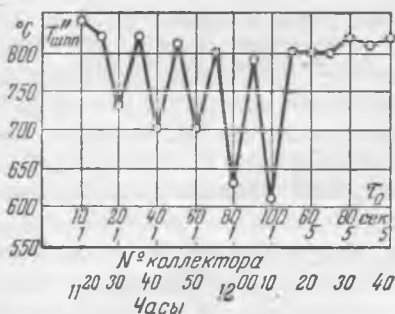


Рис. 9. Влияние продолжительности обдувки на температуру газов после ширмового пароперегревателя.

снижение температуры пара в отдельных змеевиках, лежащих в зоне действия обдувочных сопел, очевидно, было при этом в несколько (4 ÷ 5) раз большим, чем уменьшение средней температуры пара на выходе из перегревателя I ступени.

Снижение температуры газов связано со значительным количеством влаги, вводимой при обдувке. Изменение температуры газов зависит от времени действия сопловых аппаратов, что хорошо видно из результатов опытов, представленных на рис. 9. Опыты проводились при чистых поверхностях фестона и отражают влияние только обдувки на расхолаживание газового потока.

С увеличением времени включения обдувочного коллектора № 1 (крайнего левого) от  $\tau_0 = 10$  сек. до  $\tau_0 = 100$  сек. температура газов с левой стороны понижается соответственно от  $\Delta T = 20^\circ$  до  $\Delta T = 200^\circ \text{C}$ . Наоборот, включение обдувочного коллектора № 5 (крайнего правого) совершенно не сказывается на температуре газов в том же месте. Последнее объясняется тем, что измерители температуры газов показывают местную температуру потока газов, в то время как при вводе охлаждающего агента перед фестом он остается примерно в той же зоне газохода и после ширмового пароперегревателя.

Отсюда следует, что при непрерывном чрезмерно длительном пользовании обдувкой можно ухудшить температурные условия работы змеевиков пароперегревателя. Наоборот, при правильном и кратковременном включении обдувки ( $\tau_0 = 20 \div 30$  сек.) ее влияние на разбежку температур пара по змеевикам не будет заметным.

### Устойчивость циркуляции при обдувке фестона

Оценка влияния обдувочной операции на циркуляцию производилась по максимальному снижению скорости входа воды в угловые трубы фронтального экрана. Абсолютные значения скорости циркуляции не могли в данном случае слу-

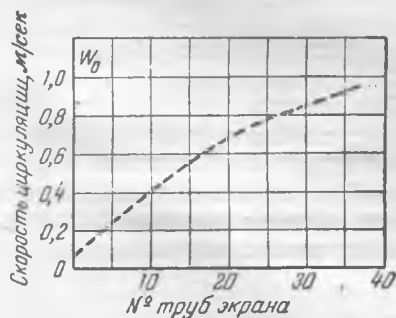


Рис. 10. Скорости циркуляции воды в трубах фронтального экрана при сильно зашлакованной топочной камере ( $D = 185 - 200$  м/час).

жить основой для оценки надежности циркуляции, поскольку опыты производились при отсутствии шлакования холодной воронки и углов топочной камеры. В этих условиях скорость воды в угловых трубах, как установлено данными опытами и предыдущими исследованиями, достаточно велика ( $W_0 = 0,5 \div 0,6$  м/сек). При зашлаковке же углов топки и холодной воронки скорость входа воды в угловые трубы существенно снижается ( $W = 0,1 - 0,3$  м/сек), что иллюстрируется результатами ранее проведенных опытов, представленными на рис. 10.

Исходя из этого, было приближенно принято считать предельно допустимым такой режим обдувки, при котором имеет место снижение скорости циркуляции ( $\Delta W$ ) на 0,25 м/сек.

Проведенные опыты показали, что пользование обдувкой при  $\tau_0 \leq 30$  сек. практически не отражается на характере циркуляции в экране. Полученные при этом амплитуды колебаний скоростей циркуляции в процессе обдувки мало отличаются от таких же колебаний без обдувки. Существенное значение имеет предварительный дренаж при соединительной системе обдувочных устройств. При отсутствии дренажа скорость входа воды в отдельные трубы, расположенные в районе действия коллектора, включаемого первым при обдувке, снижается более чем на 0,3 м/сек (рис. 11).

На рис. 12 представлены графики результатов измерений скоростей циркуляции в трубе № 4 с левой стороны в периоды действия обдувки. Можно видеть, что включение фронтального крайнего коллектора (после предварительного дренажа устройств) не вызывает чрезмерно больших отклонений скорости циркуляции даже при  $\tau_0 = 100$  сек. При включении же заднего крайнего коллектора

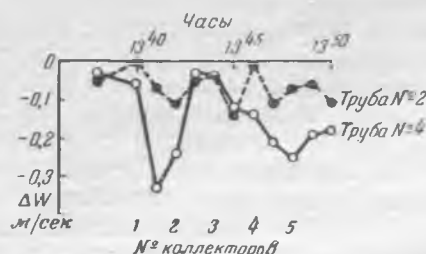


Рис. 11. Характер циркуляции в угловых трубах фронтального экрана при обдувке без предварительного дренажа.

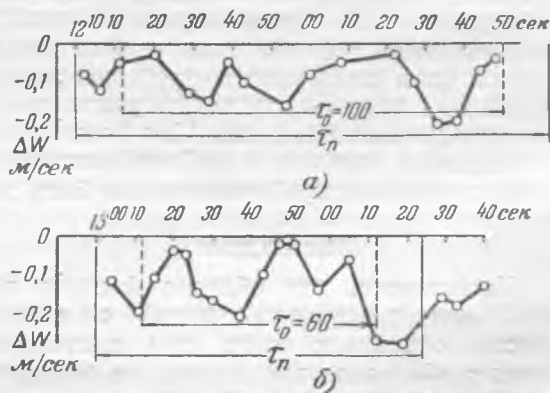


Рис. 12. Влияние включения обдувочных коллекторов на скорость циркуляции в трубе № 4-фронтального экрана.  
а — фронтального левого (№ 1); б — заднего левого (№ 3).

в течение  $\tau_0 = 60$  сек. возникают нежелательные понижения скорости циркуляции (до 0,28 м/сек). Эти опыты дают возможность ориентировочно указать предельно допустимое время непрерывного включения сопловых аппаратов (по условиям циркуляции)  $\tau_0 = 60$  сек. Практически с учетом возможных дополнительных отрицательных факторов это время следует еще несколько сократить.

Проведенные измерения полного движущего напора показали, что он не уменьшается при производстве пароводяной обдувки.

Данные испытания показали, что пароводяная обдувка фестона могла быть одной из причин вышеупомянутых их повреждений лишь при неправильном режиме ее использования и сильной зашлакованности углов топок.

Выше было указано, что в процессе обдувки происходит смачивание водой отдельных вертикальных участков труб фронтального экрана. Именно это попадание влаги на участки чистых труб и приводит к снижению интенсивности циркуляции, которое наблюдалось в опытах. В случае покрытия водяной пленкой оголенных поверхностей экранных труб они не только изолируются от внешнего подвода тепла, но и охлаждаются. Прекращение подвода лучистого тепла к пароводяной смеси, протекающей внутри участка трубы, покрытого водяной пленкой в процессе водяной обдувки, сопровождается охлаждением и частично конденсацией этой смеси. Расчеты показывают, что удельное охлаждение трубы (на 1 пог. м), работающей при давлении в котле, равном 100 ат, и подвергнутой обмыву водой с температурой, равной 100°С (на половине периметра), почти в 4 раза превышает удельное теплоспоглощение этой трубы вследствие излучения факела. Можно себе представить, что для экрана с обогреваемой высотой, равной 15 м, достаточно подвергнуть обмыву нижний участок какой-либо трубы на длине 3 ÷ 4 м, чтобы полностью остановить циркуляцию в этой трубе (образование свободного уровня). С тем же связано и большое значение месторасположения обдувочных устройств. Пароводяная обдувка экранов должна оказать тем большее влияние на циркуляцию воды в контурах котла, чем ниже расположены обдувочные аппараты.

Влияние обдувки на характер циркуляции должно усиливаться с увеличением длительности обдувочной операции, что можно объяснить возрастанием доли поверхности труб, смачиваемых водой. Весьма важна и степень загрязнения обдуваемых поверхностей нагрева. Чем больше внешних отложений имеется в районе очистки, тем большая длительность обдувки может быть допущена.

### Выводы

1. Установлено, что обдувка фестона питательной или продувочной водой с помощью устройств, описанных выше, при длительности действия  $\tau_0 \leq 30$  сек. практически не отражается на устойчивости циркуляции. Опасна чрезмерно длительная обдувка фестона ( $\tau_0 \geq 60$  сек.) при сильной зашлакованности углов топки.

2. Процесс пароводяной обдувки фестона вызывает существенное местное понижение температуры газового потока при входе в конвективную часть агрегата, зависящее от времени действия аппарата. При  $\tau_0 = 20$  сек.  $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ ; при  $\tau_0 = 60$  сек.  $\Delta T = 150^\circ\text{C}$ . Соответственно увеличивается и температурный перекоп по змеевикам пароперегревателя.

3. Длительность действия аппаратов (полное открытие вентиля) при обдувке фестона и наличии заметных отложений на нем можно принять равным около 40 сек., а при профилактическом пользовании ~ 20 сек. В случае сильной зашлаковки соответствующих углов топочной камеры продолжительность непрерывного действия аппаратов должна быть сокращена примерно в 2 раза. При использовании данной системы для расшлаковки нижних зон экранов и холодной воронки время непрерывного действия сопловых аппаратов целесообразно ограничить ( $\tau_0 = 10$  сек.). При недостаточном эффекте допустимо повторное включение аппаратов после перерыва в несколько минут.

4. Использование пароводяной обдувки топочных поверхностей нагрева при сильно пониженных нагрузках котла нежелательно.

5. Не следует применять пароводяную обдувку для экранов с плавниковыми трубами.

6. Впредь до подбора наиболее рациональных типов и размеров сопловых аппаратов рекомендуется применять сопла (рис. 3) с наименьшим диаметром, равным 3,5—4,0 мм при обдувке питательной водой и 5—6 мм при обдувке продувочной водой. Целесообразно также уменьшить до трех число одновременно действующих сопел.

7. Сопловые наконечники должны изготавливаться из жароупорного металла либо с охлаждением.

8. При монтаже следует обращать серьезное внимание на плотность арматуры и правильность установки сопловых наконечников. Состояние арматуры и наконечников необходимо регулярно проверять и своевременно устранять дефекты.

9. Система присоединительных трубопроводов и коллекторов обдувочных аппаратов должна быть снабжена дренажным устройством.

10. Обдувка экранов и фестона пароводяной смесью является ответственной операцией. Эксплуатационный персонал должен быть хорошо ознакомлен с особенностями обдувочной системы, необходимыми предварительными операциями (увеличение тяги, включение мазутных форсунок, дренаж устройств) и допустимой длительностью действия аппаратов. Каждая обдувка должна регистрироваться в оперативном журнале.

При наличии теплового перекоса обдувку следует начинать с той стороны котла, где температура газов выше. При наличии нескольких обдувочных ярусов следует начинать очистку с нижних зон экрана. Не следует пользоваться обдувкой питательной водой в случае отключения регенеративных подогревателей высокого давления, а также в периоды выполнения других эксплуатационных операций.





# Новая серия тягодутьевых машин для энергетики<sup>1</sup>

Канд. техн. наук И. М. Готгельф и канд. техн. наук С. И. Ивянский

Выпускаемые в настоящее время котлостроительной промышленностью дымососы и дутьевые вентиляторы в значительной степени устарели и за редкими исключениями не отвечают современным требованиям по экономичности. Номенклатура серийных тягодутьевых машин создавалась в свое время не по единому, обоснованному плану, а в известной мере случайно. Несмотря на достаточно большое количество разнообразных типов и размеров машин, существующая номенклатура недостаточна и не удовлетворяет всем требованиям, вытекающим из различных конструкций котлов, их компоновок, а также рода и способа сжигания топлива. Такое положение затрудняет рациональный выбор машины для заданных условий и часто приводит к вынужденному использованию серийных машин в неэкономичной части их характеристики, а также при чрезмерно большой глубине регулирования уже на расчетном режиме. В результате расход электроэнергии на тягу и дутье дополнительно возрастает.

В целях повышения экономичности тягодутьевых установок в 1950 г. был утвержден Государственный общесоюзный стандарт 5308, в основу которого был положен проект, разработанный МО ЦКТИ. Этот ГОСТ<sup>2</sup> устанавливает шкалу производительностей и напоров, содержащую 45 сочетаний  $Q-H$  для дымососов и 31 — для вентиляторов. В части экономичности устанавливается величина к. п. д. машины на оптимальном режиме при наличии всасывающего кармана и направляющего аппарата, которая должна быть не ниже 65,5%. При лопатках, загнутых вперед, допускается снижение  $\eta_{\text{опт}}$  до 63%. Кроме того, разрешается использование машин в „рабочей“ части характеристики, ограниченной значениями к. п. д. до  $0,9\eta_{\text{опт}}$ , и при глубине регулирования, ограниченной снижением к. п. д. до  $0,83\eta_{\text{опт}}$ . Для производительности менее  $25\,000\text{ м}^3/\text{час}$  снижение к. п. д. по регулированию допускается до  $0,75\eta_{\text{опт}}$ .

## Типы машин

ГОСТ 5308-50 поставил перед котлостроительной промышленностью задачу по созданию серии машин, удовлетворяющих также и другим условиям, в первую очередь: минимальные габариты, затрата металла и трудоемкость. Кроме того, желательна идентичность аэродинамической схемы, по возможности для всей серии машин, позволяющая провести максимальную унификацию различных типоразмеров.

### Машины с лопатками, загнутыми назад

Из известных аэродинамических схем наивысшим исходным к. п. д. (до 75%) обладают схемы с лопатками, загнутыми назад. Естественно, что

раньше всего было уделено внимание этому классу машин. При углубленном исследовании схемы ЦАГИ 0,6-145 и схемы ЦКТИ 0,7-145 было обнаружено отличное свойство лопаток, загнутых назад, заключающееся в резком снижении к. п. д. при регулировании направляющими аппаратами. Этот факт, впервые экспериментально установленный МО ЦКТИ, тогда же получил теоретическое объяснение. С учетом этого обстоятельства эксплуатационная экономичность машин с загнутыми назад лопатками оказывается ниже, чем у машин с лопатками, загнутыми вперед, несмотря на меньший исходный к. п. д. последних<sup>3</sup>.

Характерным для лопаток, загнутых назад, является низкий коэффициент напора 0,4—0,45, который, несмотря на их большую быстроходность, приводит, как правило, к большим габаритам и весу этих машин. Наличие специфического для этих схем плавного поворотного участка на входе в колесо и жесткие требования к уплотнению зазора между колесом и всасывающей воронкой также увеличивают трудоемкость изготовления.

Дымососы этого типа пока плохо зарекомендовали себя из-за отложений летучей золы на тыльной стороне лопаток, что приводит к быстрому разбалансированию ротора и, как следствие, к недостаточной надежности в эксплуатации.

Приведенные соображения заставляют в настоящее время отказаться от применения лопаток, загнутых назад, для типовых машин.

Использование высокого исходного к. п. д. этих схем должно быть связано с одновременным переходом от направляющих аппаратов к регулированию изменением скорости вращения. С этой точки зрения машины с лопатками, загнутыми назад, остаются достаточно перспективными.

### Машины с радиальными лопатками

Класс радиально оканчивающихся лопаток по своим свойствам занимает промежуточное место среди центробежных колес, различающихся по профилю лопаток. Из ряда исследованных схем с радиальными лопатками необходимой быстроходности наилучшие результаты получены для новой схемы ЦАГИ ЦР-40 (рис. 1). Величина к. п. д. на оптимальном режиме для схемы ЦР-40 составляет 68% при открытом осевом подводе. При наличии осевого направляющего аппарата или упрощенного аппарата во всасывающем кармане снижение оптимального к. п. д. лежит в пределах 1%.

### Машины с лопатками, загнутыми вперед

Из выпускаемых в настоящее время серийных дымососов и дутьевых вентиляторов наилучшими показателями обладает дымосос типа Д-300/400,

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

<sup>2</sup> „Дымососы и вентиляторы центробежные котельные. Основные параметры“.

<sup>3</sup> И. М. Готгельф, Моделирование в применении к вентиляторостроению, Сборник АН СССР, „Теория подобия и моделирования“, 1951, Академиздат.

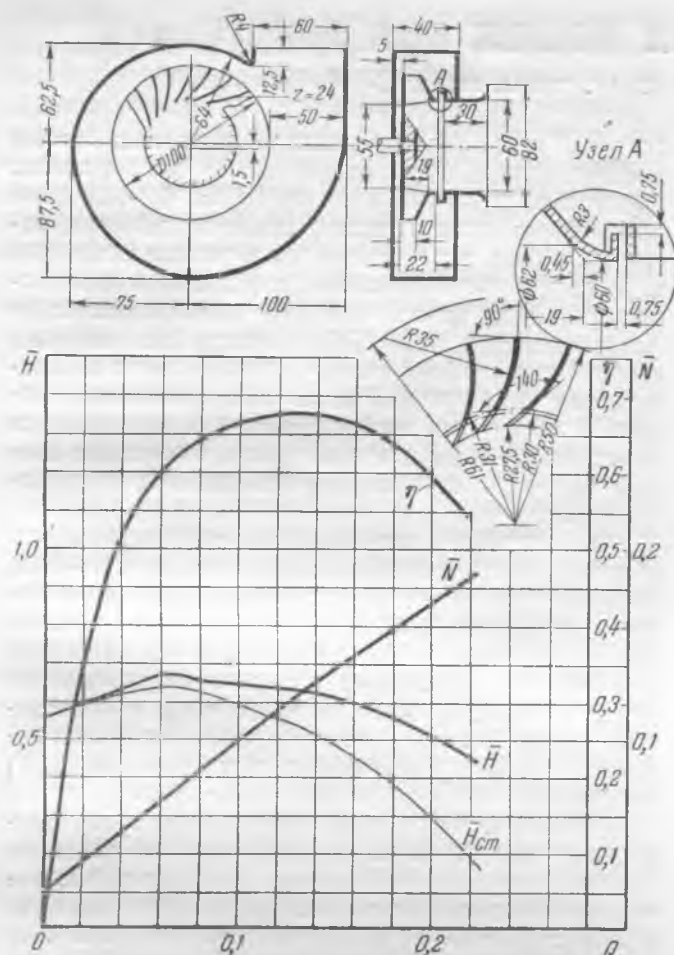


Рис 1. Аэродинамическая схема и безразмерная характеристика модели ЦАГИ (ЦР-40). Размеры в схеме даны в процентах от диаметра колеса.

изготавливаемый заводом им. Орджоникидзе, для котлов большой мощности по схеме с лопатками, загнутыми вперед, разработанной в свое время МО ЦКТИ. Указанный тип дымососа по экономичности удовлетворяет требованиям стандарта ( $\eta_{\text{ном}} \approx 65\%$ ).

Экспериментальное исследование ряда модификаций этой схемы с различными вариантами колеса (с плоским передним диском, с увеличенной шириной колеса) и кожуха (по ширине и по раскрытию) привело к созданию новой, более совершенной аэродинамической схемы 0,7-37. На рис. 2 приведены схема и безразмерная характеристика 0,7-37 при открытом осевом подводе.

Исходная экономичность этой схемы при осевом подводе характеризуется величиной  $\eta_{\text{ном}} \approx 68\%$ , с осевым направляющим аппаратом  $\eta_{\text{ном}} \approx 66\%$  и с упрощенным аппаратом  $\eta_{\text{ном}} \approx 65\%$ .

На рис. 3 приведены регулировочные характеристики схемы ЦР-40 и 0,7-37 с направляющими аппаратами.

## Выбор аэродинамической схемы

Из предыдущего следует, что обе указанные схемы ЦР-40 с радиальными лопатками и 0,7-37 с лопатками, загнутыми вперед, удовлетворяют по исходной экономичности требованиям стандарта.

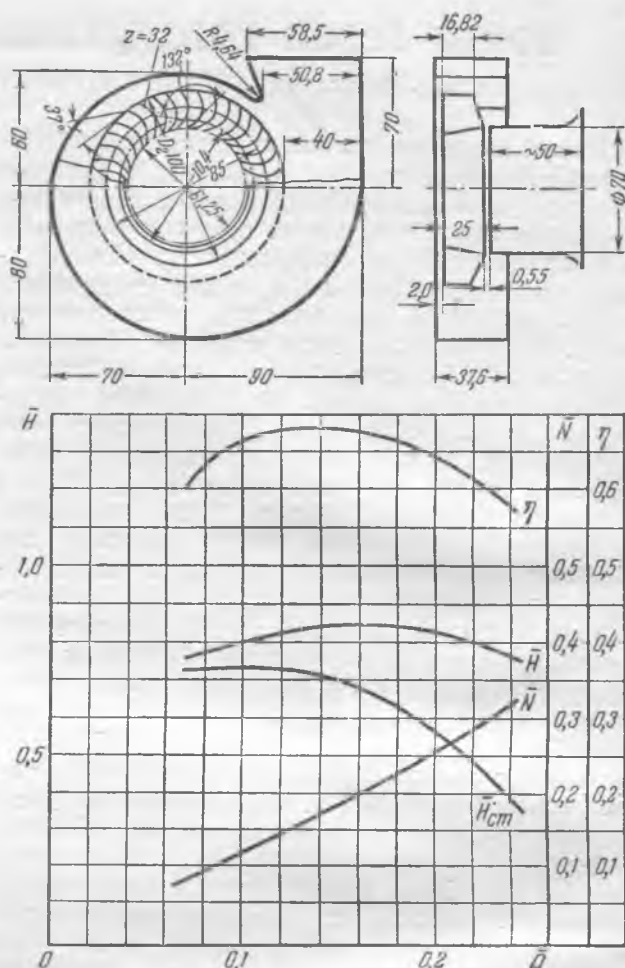


Рис 2. Аэродинамическая схема и безразмерная характеристика модели ЦКТИ (0,7-37). Размеры в схеме даны в процентах от диаметра колеса.

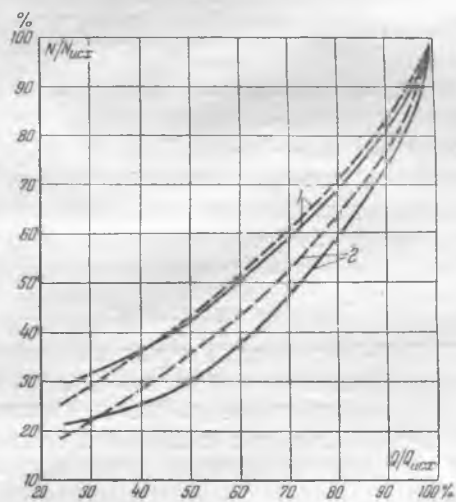


Рис. 3. Регулировочные характеристики моделей 0,7-37 (сплошным) и ЦР-40 (пунктиром).

1 — осевой аппарат; 2 — упрощенный аппарат.

По исходной экономичности (с направляющими аппаратами) схема 0,7-37 незначительно уступает схеме ЦР-40, а по экономичности регулирования, как следует из сопоставления кривых на рис. 3, схема 0,7-37 более выгодна.

Эксплуатационная экономичность обеих схем наглядно показана на рис. 4, на котором представлена зависимость к. п. д. машины от нагруз-

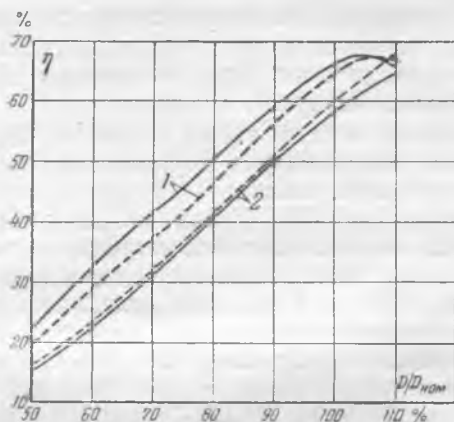


Рис. 4. Зависимость эксплуатационного к. п. д. машины от нагрузки котла в схеме 0,7-37 (сплошным) и в схеме ЦР-40 (пунктиром).  
1 — с осевым аппаратом; 2 — с упрощенным аппаратом.

ки котельного агрегата (с учетом потерь на регулирование направляющими аппаратами обоих типов). Исходная величина к. п. д. сравниваемых схем отнесена к нагрузке котла, превышающей номинальную на 10% в соответствии с запасом по производительности и напору тягодутьевых машин по нормам аэродинамического расчета котельных агрегатов. Из рис. 4 видно, что при регулировании направляющими аппаратами эксплуатационная экономичность схем 0,7-37 и ЦР-40 практически одинакова.

Следует отметить, что указанное сравнение базируется на результатах, полученных на модели ЦР-40 при диаметре колеса 400 мм и на модели 0,7-37 при диаметре колеса 367 мм.

При исследовании моделей с одинаковым диаметром колеса результаты должны были бы получиться более благоприятными для схемы 0,7-37.

Коэффициент напора схемы 0,7-37  $H \approx 0,82—0,83$ , естественно, выше, чем у схемы ЦР-40,  $H \approx 0,64—0,67$ , что ведет к уменьшению габаритов и веса для машин по схеме 0,7-37. Однако быстроходность схемы 0,7-37,  $n_{уд} = 420—450$  несколько меньше быстроходности схемы ЦР-40, 430—490, что влияет на габариты и вес машин в обратную сторону. Несколько большая быстроходность схемы ЦР-40 приводит к возможности удовлетворить некоторые из параметров стандарта при большей скорости вращения этой машины, а также к некоторому сокращению количества типоразмеров, необходимых для покрытия всей шкалы параметров.

В результате выявления необходимых типоразмеров по той и другой схеме установлено, что в случае применения схемы 0,7-37 количество типоразмеров должно быть таким же или в крайнем случае на один типоразмер больше, чем при схеме ЦР-40. При этом 8 параметров из 76 по ГОСТ будут покрыты на оборотах электродвигателей на одну ступень меньшую, чем при схеме ЦР-40 (например, вместо 730 об/мин 580), т. е. относительно большими типоразмерами машин.

Таким образом, для шкалы параметров по ГОСТ несколько большая быстроходность схемы ЦР-40 не является сколько-нибудь существенным преимуществом.

Отмеченная же выше большая величина коэффициента напора у схемы 0,7-37 является ее решающим преимуществом, так как приводит к значительному уменьшению всех типоразмеров по новой шкале машин, составляющему 10—12% по диаметру колеса. К этому добавляется то, что схема 0,7-37 имеет раскрытие кожуха 40% против 50% у схемы ЦР-40. Сопоставление по габаритам и по весу эквивалентных типоразмеров по обеим схемам как для консольных машин, так и для машин двустороннего всасывания показывает, что разница в габаритах в среднем составляет около 25%, а по расходу металла ~30% при двустороннем всасывании и ~50% для консольных машин.

Кроме того, схема 0,7-37 технологически и конструктивно проще, так как не имеет ни плавного поворотного участка на переднем диске колеса, ни лабиринтного уплотнения зазора между колесом и всасывающей воронкой. По количеству лопаток схема 0,7-37 относительно проигрывает, однако разница невелика: 32 лопатки против 24 у схемы ЦР-40.

Меньший диаметр колес по схеме 0,7-37 и их меньший вес приводят также к значительно меньшей величине махового момента, что облегчает условия пуска машины и снижает требования к электродвигателю.

Значительные преимущества схемы 0,7-37 по сравнению с ЦР-40 в отношении габаритов, затраты металла и трудоемкости при практически одинаковой экономичности обеих схем привели к окончательному выбору аэродинамической схемы 0,7-37 для покрытия шкалы параметров дымососов и дутьевых вентиляторов по ГОСТ 5308-50.

Все 76 параметров дымососов и дутьевых вентиляторов для котлов паропроизводительностью от 2 до 230 т/час по стандарту оказалось возможным покрыть 13 типоразмерами машин по единой аэродинамической схеме 0,7-37, из них 8 машин с односторонним всасыванием (№ 6, 8, 10, 12, 13<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, 15<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, 18 и 20) и 5 машин с двусторонним всасыванием (№ 13<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, 15<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, 18, 20 и 22<sup>1</sup>/<sub>2</sub>). \* Машин с односторонним всасыванием предусмотрены с направляющими аппаратами осевого типа, а машины с двусторонним всасыванием — с упрощенными направляющими аппаратами в кармане.

Шкала предусматривает возможность применения любого типоразмера и в качестве дымососа и в качестве дутьевого вентилятора. При этом все параметры дутьевых вентиляторов удалось обеспечить консольными машинами. Для увеличения срока службы дымососов имеется в виду возможность усиления изнашиваемых летучей золой рабочих лопаток и кожуха.

В таблице на стр. 24 приведена номенклатура новых машин с указанием того, какие параметры и при какой скорости вращения покрываются каждым типоразмером.

Как следует из таблицы, 52 параметра покрываются односторонними (консольными) машинами, а 24 — двусторонними. По оборотам все

\* Номер типоразмера обозначает наружный диаметр колеса в дециметрах.

№ п.п.	№ типоразмера	Скорость вращения, об/мин	Покрываемые параметры
Двусторонние машины			
1	22 $\frac{1}{2}$	730	Д320/450, Д270/450, Д220/450
		580	Д320/250, Д270/250
		485	Д320/200, Д270/200
2	20	730	Д320/350, Д270/350, Д220/350, Д190/350
		580	Д220/200, Д190/200, Д165/200
3	18	730	Д220/250, Д190/250, Д165/250
		580	Д165/150, Д120/150
4	15 $\frac{1}{2}$	730	Д120/200
5	13 $\frac{1}{2}$	970	Д75/250
		730	Д75/150
		580	Д75/100
		485	Д50/70

Односторонние машины			
6	20	730	Д165/350, Д165/300, ВД140/450
		580	ВД140/350, ВД120/350, ВД120/300
7	18	730	Д120/300, Д120/250, ВД120/450, ВД100/350
		580	ВД100/300, ВД100/250, ВД80/250
8	15 $\frac{1}{2}$	730	Д75/200, ВД80/350, ВД80/300, ВД60/300, ВД60/250
		580	ВД60/200
		485	Д50/100
9	13 $\frac{1}{2}$	970	Д50/250
		730	Д50/150, ВД40/200
		485	Д35/70, ВД25/100
10	12	970	Д50/200, Д35/150, ВД40/300, ВД40/250, ВД25/300
		730	В35/100, ВД25/150
		485	Д20/40, ВД15/70
11	10	970	Д20/100, ВД25/250, ВД25/200
		730	Д20/70, ВД15/100
		485	Д13/40
12	8	970	Д13/100, Д13/70, Д8/100, Д8/70, ВД15/150, ВД10/150, ВД10/100, ВД5/100
		730	Д8/40, ВД10/70
		450	ВД5/150
13	6	970	ВД5/70

76 параметров распределяются следующим образом: 1 — при 1450 об/мин, 19 — при 970 об/мин, 32 — при 730 об/мин, 15 — при 580 об/мин и 9 — при 485 об/мин.

Для всех 76 параметров проверена реальная возможность обеспечения машин электродвигателями необходимых мощности и скорости вращения. Следует отметить, что из девяти параметров, покрываемых при 485 об/мин, семь параметров, характеризующих редко встречающимися в котельной практике напорами 40—70 мм вод. ст. для дымососов и 70—100 мм вод. ст. для вентиляторов, целесообразно удовлетворять широко распространенными низконапорными вентиляторами общепромышленного назначения.

Из 13 типоразмеров новой шкалы можно было бы исключить два наибольших размера консольных машин, № 18 и 20, так как все покрываемые ими параметры могут быть обеспечены машинами двустороннего всасывания меньшего размера (№ 13 $\frac{1}{2}$  и 15 $\frac{1}{2}$ ) при большей скорости вращения. Однако в этом случае для некоторых установок пришлось бы применять дутьевые вентиляторы двустороннего всасывания, что при компоновке котлов 50 и 75 т/час вызывает затруднения. Для оптимального решения этого вопроса

необходимо изыскать новую схему, отвечающую требуемой экономичности и отличающуюся большой быстроходностью при достаточно высоком коэффициенте напора.

Аэродинамическая схема 0,7-37 и приведенная шкала типоразмеров приняты для новой серии тягодутьевых машин.

Практика освоения новой серии и опыт ее применения в энергетических установках позволит проверить как новые машины, так и полноту шкалы параметров по ГОСТ. Не исключена необходимость внесения в будущем некоторых коррективов в шкалу типоразмеров.

На ближайшее время самый большой дымосос (по новой шкале № 22 $\frac{1}{2}$ ) ввести в производство не предполагается, так как он во всех случаях может быть заменен выпускаемым в настоящее время дымососом Д300/400, удовлетворяющим требованиям стандарта по экономичности.

## Выводы

1. Разработанная МО ЦКТИ аэродинамическая схема центробежного вентилятора средней быстроходности с лопатками, загнутыми вперед (0,7-37) отличается достаточно высоким коэффициентом напора, а по экономичности, с учетом регулирования направляющими аппаратами, не уступает наилучшей схеме с радиальнооканчивающимися лопатками для быстроходности того же порядка ЦР-40.

2. Существенно более высокий коэффициент напора схемы 0,7-37 обуславливает меньшие габариты машин на ~25%, разницу в расходе металла, доходящую до 30—50%, и меньшую трудоемкость изготовления по сравнению с ЦР-40.

3. Проведенное сопоставление указанных двух схем (с лопатками, загнутыми вперед и с радиальными) по эксплуатационной экономичности коренным образом изменяет, в применении к котельным агрегатам, установившуюся точку зрения о меньшей экономичности машин с лопатками, загнутыми вперед.

4. Разработанная шкала из 13 типоразмеров новой серии дымососов и дутьевых вентиляторов по единой схеме 0,7-37, покрывающая все параметры по ГОСТ 5308-50, принята к внедрению на заводах котлостроительной промышленности взамен ранее выпускавшихся машин. До запуска новых машин в серийное производство необходимо провести тщательное испытание головных образцов на заводских стендах.

5. В целях возможности дальнейшего уменьшения габаритов и веса машин возникает необходимость создания аэродинамической схемы с лопатками, загнутыми вперед, большей быстроходности и требуемой экономичности при достаточно высоком коэффициенте напора.

В заключение следует отметить, что применение в энергетике машин с лопатками, загнутыми назад, отличающихся максимальной величиной исходного к. п. д., должно быть связано с переходом на регулирование изменением скорости вращения, а также с устранением возможности отложения летучей золы на лопатках дымососов.





# Вибрация конденсаторных трубок

Канд. техн. наук И. К. Гришун

Повышенная вибрация конденсаторных трубок, сопровождаемая их поломкой, в современных конструкциях конденсаторов встречается сравнительно редко. Более распространенной является незначительная вибрация трубок, которая обуславливает пониженную гидравлическую плотность конденсатора вследствие систематического расстройств вальцовочных или сальниковых уплотнений. Одновременно с этим заметно сокращается срок службы конденсаторных трубок, в особенности, если последние охлаждаются морской водой или иной водой, имеющей агрессивные свойства.

При расчете трубок на вибрацию принято характеризовать степень отстройки от резонанса расхождением между частотой свободных колебаний трубок и скоростью вращения турбины, полагая этим самым, что возмущающей силой является только неуравновешенность ротора турбогенератора. В действительности вибрация может

вызываться, как показывает опыт, и неудовлетворительно отбалансированными вращающимися механизмами, расположенными вблизи конденсатора, скорость вращения которых довольно часто совпадает с числом свободных колебаний конденсаторных трубок первого порядка.

В отдельных случаях, в особенности при большой длине пролетов (более 70 наружных диаметров трубки), колебания конденсаторных трубок, главным образом периферийных на стороне входа пара в трубный пучок, могут вызываться паровым потоком, причем резонансные или близкие к ним колебания чаще всего возникают при больших скоростях парового потока, имеющих место при полной нагрузке конденсатора и низкой температуре охлаждающей воды.

Неблагоприятное влияние на амплитуду колебаний при большой длине пролетов оказывает и скорость охлаждающей воды, движущейся в слегка изогнутых под действием собственного веса

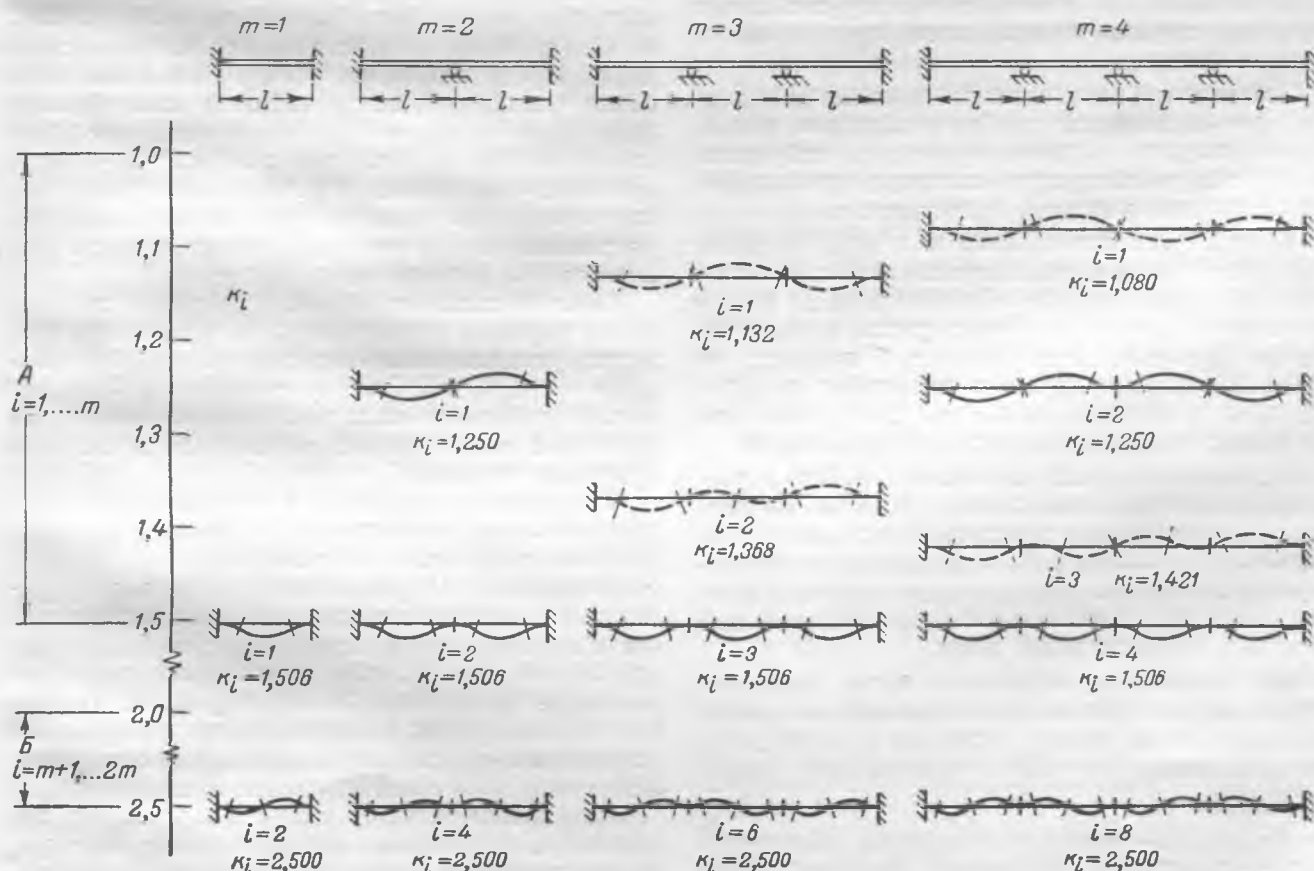


Рис. 1. Формы колебаний многосплетных трубок с одинаковой длиной пролетов.

А — первый тон; Б — второй тон;  $m$  — число пролетов;  $i$  — порядок колебаний (форма колебаний);  $\kappa_i$  — безразмерный коэффициент  $i$ -й формы колебаний;  $l$  — длина пролета.

и веса воды конденсаторных трубках с некоторым непостоянным ускорением.

При проведении расчетов необходимо иметь в виду, что последовательные формы свободных колебаний однопролетной балки независимо от способа крепления концов отличаются между собой числом узлов в пролете. В первой форме, соответствующей первому тону колебаний, узел отсутствует (рис. 1), во второй форме один узел, в третьей — два узла и т. д.

При колебании многопролетных балок, к числу которых относятся и конденсаторные трубки, последовательности частот однопролетной балки соответствует последовательность группы частот. Таким образом, в отличие от однопролетной балки здесь мы имеем группу частот первого или основного тона, группу частот второго тона или первой гармоники и т. д., при этом для многопролетных балок с жестко закрепленными концами и одинаковой длиной пролетов число частот в группе равно числу пролетов.

Способ определения частоты свободных колебаний конденсаторных трубок при отсутствии в них продольной силы, т. е. трубок, уплотненных с одной или обеих сторон сальниками, достаточно подробно освещен в литературе<sup>1</sup>.

В двусторонне развальцованных трубках или в трубках с сильно затянутыми сальниками и вследствие различных значений температур и коэффициентов линейного расширения материала трубок и корпуса конденсатора возникают сжимающие или растягивающие усилия, которые существенно изменяют частоту свободных колебаний трубок, в особенности группу частот основного тона.

Поэтому во всех случаях перехода на двустороннее вальцевание трубок необходимо производить поверочный расчет трубок на вибрацию. Между тем в литературе методика проведения такого расчета освещена недостаточно.

Формула для определения величины продольной силы  $T$  дана в рассматриваемом ниже числовом примере. Как уже отмечалось нами в других работах<sup>2</sup>, значение  $T$  непрерывно изменяется по ходу движения пара. На рис. 2 приведен по расчетным данным характер изменения продольной силы в трубках диаметром  $24 \times 1$  мм при различных температурах охлаждающей воды.

Частота свободных колебаний трубок с учетом влияния продольной силы должна определяться для наиболее характерных и достаточно длительных режимов работы конденсатора, к числу которых прежде всего следует отнести режимы работы при максимальной и минимальной температурах охлаждающей воды.

При правильно выбранном числе промежуточных перегородок и целесообразном их расположении с точки зрения отстройки и распределения отработавшего пара расхождение между

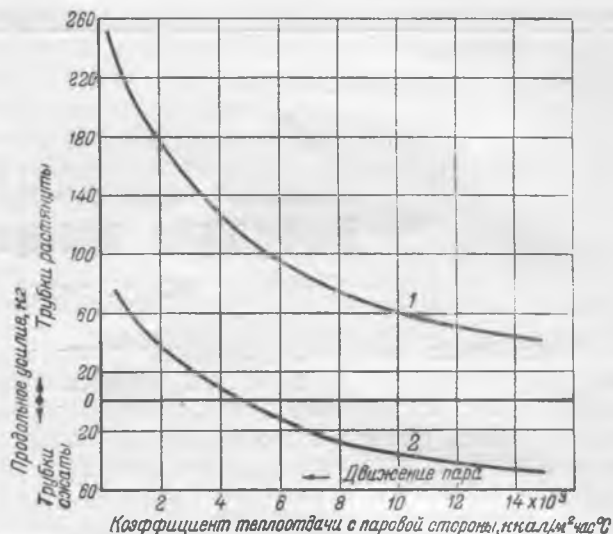


Рис. 2. Изменение величины продольной силы в охлаждающих трубках одноходового конденсатора по ходу движения пара в трубном пучке. Температура металла во время вальцевания  $t_0 = 20^\circ \text{C}$ .

1 — температура охлаждающей воды  $t_{1в} = 1^\circ \text{C}$ , давление отработавшего пара  $p_2 = 0,03 \text{ атм}$  и коэффициент теплоотдачи с водяной стороны  $\alpha_в = 4600 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ \text{C}}$ ; 2 —  $t_{1в} = 26^\circ \text{C}$ ,  $p_2 = 0,075 \text{ атм}$  и  $\alpha_в = 6700 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ \text{C}}$ .

частотой возмущающей силы (скоростью вращения турбины) и числом свободных колебаний первого порядка должно составлять не менее 25%.

Для каждого последующего порядка свободных колебаний указанное расхождение между частотами может быть уменьшено на 5%, однако во всех случаях желательно, чтобы расхождение между любой из частот свободных колебаний основного тона и частотой возмущающей силы было не менее 15%, а частотой свободных колебаний  $(m+1)$ -го порядка, где  $m$  — число пролетов, — не менее 12%. При этом число частот в основном тоне, независимо от отношения расстояний между опорами, можно принять ориентировочно равным числу пролетов.

Опыт показывает, что если вибрация подшипников турбины и генератора не превышает пределов, установленных пересмотренными «Правилами технической эксплуатации» (§ 350), то можно допустить совпадение числа свободных колебаний выше  $(m+1)$ -го порядка и скорости вращения турбины.

Приведенные указания в отношении отстройки собственной частоты трубок должны рассматриваться в качестве временных.

Независимо от результатов расчета не рекомендуется переход на двустороннее вальцевание без дополнительного крепления периферийных трубок (см. ниже), если длина пролетов в конденсаторе превышает 70—80 наружных диаметров трубки и если, кроме того, при сальниковых уплотнениях наблюдается систематическое нарушение гидравлической плотности конденсатора.

Результаты расчетов и опыт эксплуатации показывают, что случаи недопустимости перехода на двустороннее вальцевание трубок без дополнительных мероприятий вследствие неблагоприятных результатов поверочного расчета на вибрацию очень редки, если турбина делает

<sup>1</sup> См., например, книгу Ф. А. Анатолиева «Расчет вспомогательных устройств паросиловых установок», ОНТИ НКТП, 1936 или М. И. Яновского «Судовые конденсационные установки», Военмориздат, 1943.

<sup>2</sup> И. К. Гришук, «Электрические станции», 1949, № 3; 1952, № 6.

3 000 об/мин, напротив, они очень часты при скорости вращения турбины 1 500 об/мин.

Особые требования должны быть предъявлены к расчету трубок на вибрацию при охлаждении конденсаторов агрессивной водой, в частности морской. Коррозия оказывает большое влияние на предел выносливости металла при переменной нагрузке. В отдельных случаях по данным экспериментальных исследований при наличии коррозии снижение предела выносливости достигает 50—80%. Поэтому с учетом имеющегося у нас довольно большого опыта эксплуатации приморских станций не следует при охлаждении конденсаторов агрессивной водой принимать длину пролетов более 50—60 наружных диаметров трубки.

Величина продольных усилий, а следовательно, и диапазон изменения частот свободных колебаний двусторонне развальцованных трубок, по крайней мере основного тона, существенно зависят от системы водоснабжения. Минимальная температура охлаждающей воды в конденсаторе при проточном и прудовом водоснабжении в зимнее время может быть близкой к 0° С, в то время как при оборотном водоснабжении с брызгальными бассейнами и градирнями она, как правило, в этих же условиях превышает 8—10° С. Следовательно, в первом случае продольные усилия и диапазон изменения частот свободных колебаний двусторонне развальцованных трубок заметно больше, чем во втором случае.

В условиях эксплуатации вибрация трубок может вызываться отличием действительных условий крепления их в конденсаторе от условий, принятых в расчете. Если, например, между трубкой или группой трубок по тем или иным причинам не имеется надежного соприкосновения с одной или двумя трубными промежуточными перегородками, то частота свободных колебаний первого наиболее опасного порядка резко снижается. В этом случае указанные трубки могут начать колебаться от совершенно случайных, в большинстве своем еще не выясненных возмущающих источников.

При установке трубок необходимо следить за тем, чтобы они имели надежный контакт с промежуточными перегородками. При обнаружении «болтающихся» трубок необходимо осуществить надежное дополнительное крепление их в пролетах или заглушить.

Поломке трубок от вибрации наиболее подвержены сильнее нагруженные периферийные трубки, расположенные на входе пара в трубный пучок. При этом вследствие расстройств вальцовочных соединений или сальниковых уплотнений еще до появления поперечных трещин на трубках или полной их поломки резко увеличивается присос сырой воды в конденсатор.

Для предотвращения поломки трубок и повышения гидравлической плотности конденсатора в отдельных случаях можно рекомендовать установку между трубками деревянных клиньев шириной 40—60 мм с последующей обвязкой их проволокой. Расположение клиньев должно быть согласовано с расположением существующих промежуточных перегородок и по возможности не

должно затруднять правильное распределение поступающего из патрубка турбины отработавшего пара по длине трубок.

Вибрация периферийных конденсаторных трубок довольно часто носит резко выраженный местный характер, наблюдаемый при колебаниях, обусловленных паровым потоком, в особенности при большой неравномерности распределения пара по поперечному сечению горловины конденсатора. В этом случае для ее устранения иногда бывает достаточно установить в пролетах скрепляющие пластины, с помощью которых вибрирующие трубки соединяются в одну группу.

Если турбина имеет 1 500 об/мин, то нередко возникает затруднение в получении, при приемлемом числе промежуточных перегородок и целесообразном их расположении, требуемого расчетом расстояния между числом свободных колебаний охлаждающих трубок и скоростью вращения турбины. В этих условиях, в особенности при применении конденсаторов с двусторонним отсосом воздуха, следует иметь в виду, что хорошим мероприятием, стабилизирующим частоту свободных колебаний и делающим ее независимой от режима работы конденсатора, является установка компенсатора на корпусе или эластичное соединение трубной доски с корпусом. При наличии этих приспособлений частота свободных колебаний трубок может определяться без учета влияния продольной силы. Помимо этого применение указанных компенсирующих приспособлений увеличивает срок службы трубок при охлаждении их агрессивной водой.

Ниже приводится пример поверочного расчета на вибрацию.

Турбина типа АК-50 обслуживается двухходовым конденсатором. Скорость вращения турбины 1 500 об/мин. Охлаждающие трубки с одной стороны развальцованы, а с другой — уплотнены сальниками. Трубки изготовлены из латуни марки ЛО-70-1. Диаметр трубок 25×1 мм, длина 6,4 м. В конденсаторе установлено симметрично три чугунных промежуточных перегородки толщиной 45 мм. Расстояние между трубными досками и крайними промежуточными перегородками 2 002 мм, между средней и крайними 1 198 мм.

Конденсатор охлаждается морской водой.

В связи с полной сменой всех трубок и износом сальниковых втулок необходимо выяснить расчетным путем возможность перехода на двустороннее вальцевание.

В качестве исходных данных примем следующие величины:

	Летом	Зимой
Скорость охлаждающей воды в трубках, м/сек	2,3	1,9
Температура охлаждающей воды $t_{1в}$ , °С	25	0
Коэффициент теплоотдачи с водяной стороны (полсчитано) $\alpha_n$ , ккал/м <sup>2</sup> час °С	7 600	4 700
Коэффициент теплоотдачи с паровой стороны для трубок на входе пара в трубный пучок $\alpha_n$ , ккал/м <sup>2</sup> час °С	15 000	12 000
То же для трубок воздухоохладителя на выходе паровоздушной смеси $\alpha_n$ , ккал/м <sup>2</sup> час °С . . . . .	500	300

Температура отработавшего пара $t_m, ^\circ\text{C}$	40	24
	(вакуум ~92%)	(вакуум ~97%)
Нагрев воды в конденсаторе, $^\circ\text{C}$ . . . . .	$\Delta t = 10$	
Ориентировочный нагрев воды в трубках воздухоохладителя (первый ход), $^\circ\text{C}$	$\Delta t_1 = 1$	
То же в периферийных трубках на входе пара в трубный пучок (второй ход), $^\circ\text{C}$	$\Delta t_2 = 7$	
Коэффициент линейного расширения латунных трубок (ЛО-70-1)	$\beta_m = 19,7 \cdot 10^{-6}$	
То же стального корпуса конденсатора	$\beta_k = 12 \cdot 10^{-6}$	
Модуль упругости трубок (ЛО-70-1), $\text{кг/см}^2$	$E = 1,06 \cdot 10^6$	
Температура металла во время вальцевания, $^\circ\text{C}$	$t_0 = 20$	
Поправочный коэффициент, учитывающий влияние толщины промежуточных перегородок . . . . .	$\varphi = 1,07$	

Число собственных колебаний трубок  $n_{oi}$  при отсутствии продольной силы устанавливаем по формуле

$$n_{oi} = 304\pi \frac{k_i^2}{l_1^2} \sqrt{\frac{FJg}{q}}$$

где  $n_{oi}$  — число свободных колебаний  $i$ -го порядка, кол/мин;

$\varphi$  — поправочный коэффициент, учитывающий влияние толщины промежуточных трубных перегородок;

$k_i$  — безразмерный коэффициент  $i$ -го порядка колебаний;

$l_1$  — длина первого пролета, см;

$E$  — модуль упругости трубок,  $\text{кг/см}^2$ ;

$J$  — экваториальный момент инерции,  $\text{см}^4$ ;

$g$  — ускорение силы тяжести,  $\text{см/сек}^2$ ;

$q$  — вес 1 пог. см трубки с водой,  $\text{кг/см}$ .

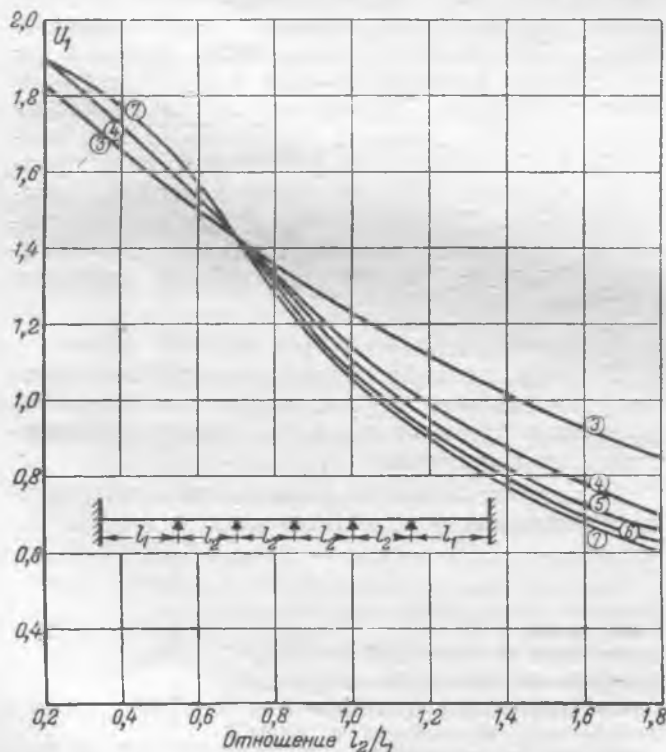


Рис. 3. Значение безразмерного коэффициента  $u_1$  для определения критической сжимающей силы при симметричном расположении промежуточных перегородок в зависимости от отношения длины второго пролета к длине первого пролета. Цифры в кружках — число пролетов.

Величина поправочного коэффициента  $\varphi$ , по ориентировочным данным общезаводской лаборатории ЛМЗ им. Сталина, составляет в зависимости от толщины трубной промежуточной перегородки 1,05—1,10. Более высокие значения  $\varphi$  соответствуют более толстым перегородкам.

Коэффициент  $k_i$  независимо от числа промежуточных перегородок и их расположения определяется по специальной номограмме<sup>3</sup>, пользование которой требует некоторых навыков. При симметричном расположении перегородок для случая двух—четырёхпролетных трубок значения  $k_i$  можно установить по более простым графикам<sup>4</sup>.

В нашем случае отношение длины второго пролета  $l_2$  к длине первого пролета  $l_1$  составляет:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1198}{2002} = 0,6.$$

Величину критической сжимающей силы  $T_{кр}$  определяем из уравнения

$$T_{кр} = \frac{u_1^2 \cdot \pi^2 \cdot EJ}{l_1^2} = \frac{1,53^2 \cdot \pi^2 \cdot 1,06 \cdot 10^6 \cdot 0,545}{200,2^2} = 332 \text{ кг},$$

где  $u_1$  — безразмерный коэффициент.

Значение  $u_1$  устанавливаем на номограмме А. К. Калишука<sup>5</sup>, а при симметричном расположении опор — с помощью графика, приведенного на рис. 3. При  $\frac{l_2}{l_1} = 0,6$  имеем  $u_1 = 1,53$ .

Максимальное значение продольной силы в трубках на стороне входа пара при рабочем режиме турбины в зимнее время определяется следующим образом.

Средняя температура стенки трубки  $t_m$ :

$$t_m = \frac{\alpha_n t_n + \alpha_g t_g}{\alpha_n + \alpha_g} = \frac{1200 \cdot 24 + 4700 \cdot 7,5}{1200 + 4700} = 19,4^\circ\text{C},$$

где  $t_g$  — средняя температура воды,  $^\circ\text{C}$ .

Разность относительных удлинений корпуса и трубок  $\Delta\varepsilon$ :

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon &= \beta_k(t_n - t_0) - \beta_m(t_m - t_0) = \\ &= 12 \cdot 10^{-6}(24 - 20) - 19,7 \cdot 10^{-6}(19,4 - 20) = \\ &= 59,8 \cdot 10^{-6}, \end{aligned}$$

т. е. трубки растянуты.

Величина растягивающей силы  $T$ :

$$T = \Delta\varepsilon EF = 59,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1,06 \cdot 10^6 \cdot 0,754 = 48 \text{ кг},$$

где  $F$  — площадь кольцевого сечения трубки,  $\text{см}^2$ .

Аналогичным образом устанавливаем продольные усилия для трубок воздухоохладителя в летнее и зимнее время и для трубок на входе пара в летнее время.

<sup>3</sup> См. сноску 1.

<sup>4</sup> См. упомянутую в сноске 1 книгу Ф. А. Анатолиева или книгу В. П. Блюдова „Конденсационные устройства паровых турбин“, 1951. Необходимо иметь в виду, что в книге Блюдова имеется опечатка: в действительности график на фиг. 4-3 относится к четырехпролетной трубке, а на фиг. 4-4 — к трехпролетной трубке.

<sup>5</sup> „Советское котлотурбостроение“, № 7, 1936; см. также приведенную в сноске 4 книгу В. П. Блюдова.



Число свободных колебаний трубок с учетом влияния продольной силы  $n_i$  может быть определено приближенно по формуле<sup>6</sup>

$$n_i = n_{oi} \sqrt{1 \pm \frac{T}{T_{крj}}} j,$$

где  $j = 1, 2, \dots$  — целые числа, соответствующие группе частот основного тона, первой гармонике и т. д. Знак минус принимается при сжимающей продольной силе, знак плюс — при растягивающей.

Результаты расчета для летних и зимних условий приведены в таблице:

Порядок колебаний	Число собственных колебаний трубок							
	На стороне входа пара				На стороне выхода паровоздушной смеси			
	$T = 0$				$T = 0$			
	зимой, трубки растянуты $T = 48 \text{ кг}$		летом, трубки сжаты $T = 82 \text{ кг}$		зимой, трубки растянуты $T = 322 \text{ кг}$		летом, трубки растянуты $T = 90 \text{ кг}$	
	$n_{oi}$	$n_i$	$\delta$	$n_i$	$\delta$	$n_i$	$\delta$	$n_i$
1	1 010	1 080	28	870	42,0	1 420	5,3	1 140
2	1 110	1 190	20,6	960	36,0	1 560	4,0	1 250
3	1 990	2 120	41,3	1 720	14,7	2 790	86,0	2 240
4	2 760	2 950	96,7	2 390	59,3	3 870	158,7	3 100
5	3 350	3 410	127,2	3 240	116,0	3 730	148,5	3 460

Примечания: 1. Для первого-четвертого порядков колебаний  $j=1, 2, 3, 4$  для пятого  $j=5$ .

2.  $\delta$  — расхождение между числом свободных колебаний и скоростью вращения турбины  $n$  определялось из уравнения

$$\delta = \frac{n_i - n}{n} 100 \text{ \%}.$$

Из рассмотрения результатов расчета следует, что в зимнее время на стороне отсоса паровоздушной смеси имеет место практически полное совпадение частот свободных колебаний трубок первых двух порядков основного тона и скорости вращения турбины. При частичных нагрузках турбины и холостом ходе зона охлаждения паровоздушной смеси распространится, как известно, на

<sup>6</sup> Эта формула позволяет определить величину  $n_i$  с приемлемой для практических расчетов точностью, если при работе трубок на сжатие отношение  $\frac{T}{T_{кр}} \leq 0,5$ , а на растяжение  $\frac{T}{T_{кр}} < 2$ .

большую часть трубного пучка. Следовательно, в зимнее время, как это видно из таблицы, еще больше увеличится число трубок, имеющих частоту свободных колебаний первых двух порядков, близкую к скорости вращения турбины. Учитывая также большую длину крайних пролетов, составляющую около 80 наружных диаметров трубки, низкую температуру охлаждающей воды в зимнее время (проточное водоснабжение!), при принятом расположении промежуточных перегородок нельзя рекомендовать переход на двустороннее вальцевание трубок.

В данном случае для обеспечения достаточно большого срока службы трубок при двусторонней их развальцовке необходима установка двух дополнительных перегородок, которые наиболее удобно расположить посередине крайних пролетов. Установка одной дополнительной перегородки при приемлемых длинах пролетов, как показывают подсчеты, не позволяет надежно отстроиться от частот возмущающей силы.

Справедливость приведенных расчетов и рассуждений подтверждается неблагоприятным опытом эксплуатации 10 подобных конденсаторов с двусторонне развальцованными трубками, охлаждаемых проточной или прудовой водой. В то же время при обратном водоснабжении с брызгальными бассейнами или градирнями конденсаторные трубки в рассматриваемом типе конденсатора при правильном выполнении сальниковых уплотнений работают удовлетворительно.

## Выводы

1. При переходе на двустороннее вальцевание конденсаторных трубок необходимо проводить проверочный расчет на вибрацию, в особенности в тех случаях, когда турбина делает 1 500 об/мин.

2. Для увеличения срока службы конденсаторных трубок, охлаждаемых морской водой или иной водой, имеющей агрессивные свойства, не следует принимать длину пролетов более 50—60 наружных диаметров трубки.

3. Величина продольных усилий и диапазон изменения частоты свободных колебаний в двусторонне развальцованных конденсаторных трубках при проточном и прудовом водоснабжении существенно больше, чем при тех же условиях, но при обратном водоснабжении и охлаждении воды в градирне или брызгальном бассейне.



# Новые методы работ при заполнении каркасов главных корпусов тепловых электростанций

Инж. Е. Я. Драгунов

При возведении надземной части главных корпусов тепловых электростанций, стены которых имеют кирпичное заполнение, а кровельные перекрытия — заполнение из сборных железобетонных плит мелкого размера, основным вопросом организации работ является выбор кранов для доводочного монтажа отдельных элементов металлоконструкций, которые не включаются в состав блоков, монтируемых основным монтажным краном, для вертикального и горизонтального (в пределах объекта) транспорта материалов кирпичной кладки, а также для монтажа кровельных перекрытий.

Доводочный монтаж металлоконструкций, кирпичную кладку стен и монтаж кровельных перекрытий объединяют общность места и производства работ и одинаковая потребная грузоподъемность средств механизации.

Сложность геометрического очертания и значительные размеры надземной части главного корпуса не позволяют остановиться на каком-либо одном кране для механизации перечисленных работ, а требуют проработки определенной системы механизации.

Группой инженеров Проектной конторы треста «Мосэнергострой» предложена схема комплексной механизации работ по доводочному монтажу металлоконструкций, кирпичной кладке и монтажу кровельных перекрытий главного корпуса, сущность которой заключается в том, что в качестве средств механизации работ по доводочному монтажу металлоконструкций и заполнению каркаса приняты башенные краны типа БКСМ-4 с укороченной башней (рис. 1),двигающиеся по

путям, уложенным на крыше главного корпуса, причем расположение и количество таких кранов назначаются с таким расчетом, чтобы вся площадь главного корпуса обслуживалась ими.

Схема размещения кранов на крыше главных корпусов приведена на рис. 2.

Такие краны изготавливаются на базе крана БКСМ-4А с небольшой реконструкцией, которая сводится к следующему:

а) лебедка для увеличения канатоемкости оборудуется канатоукладчиком, который позволяет увеличить длину каната до 148 м;

б) башня понижается за счет удаления двух секций;

в) кабина из башни переносится в портал.

Переоборудование крана БКСМ-4А для применения его на кровле главного корпуса электростанции не представляет большой трудности.

Техническая характеристика переоборудованного крана БКСМ-4 определяется следующими данными:

Грузоподъемность на вылете 8 м . . . . .	1,0 т
Грузоподъемность на вылете 16,5 м . . . . .	0,5 т
Максимальный вылет стрелы . . . . .	16,5 м
Максимальная высота подъема . . . . .	70 м
Скорость подъема груза . . . . .	30 м/мин
Скорость передвижения крана . . . . .	29,5 м/мин
Скорость поворота стрелы . . . . .	0,62 об/мин
Суммарная мощность электродвигателей . . . . .	14,0 кВт
Ширина колеи . . . . .	3 000 мм
База крана . . . . .	3 200 мм
Вес крана без балласта . . . . .	6 593 кг
Вес балласта на тележке . . . . .	2 500 кг
Вес балласта на противовесе . . . . .	600 кг

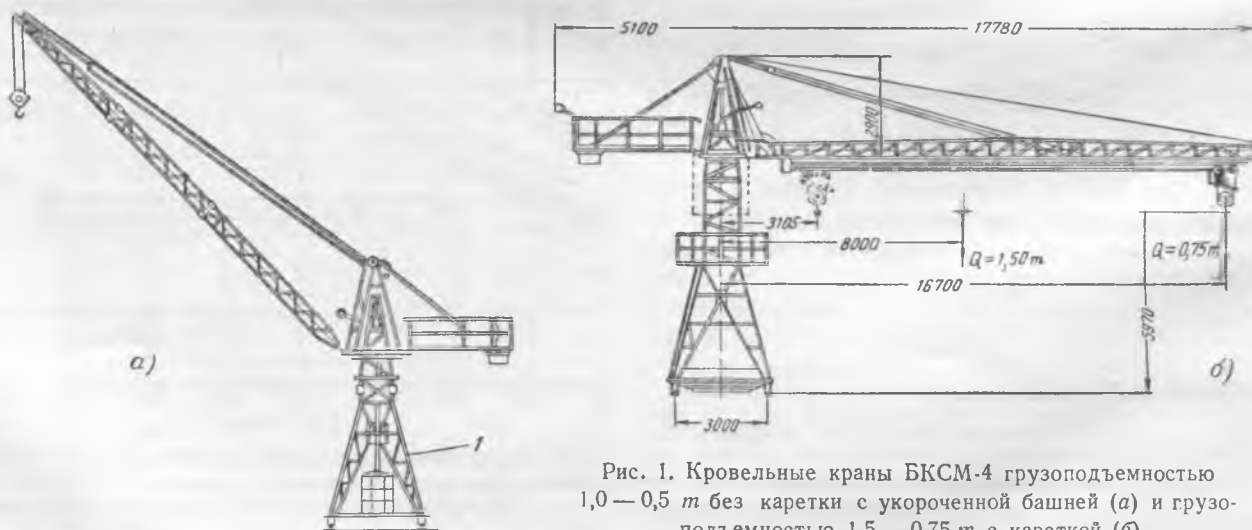
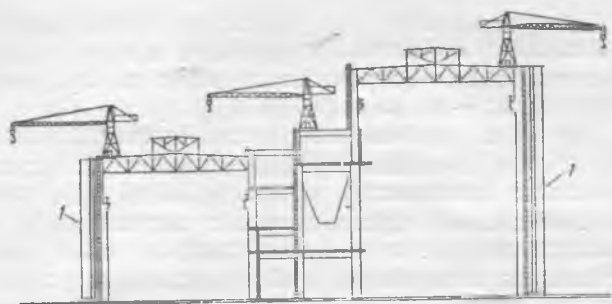
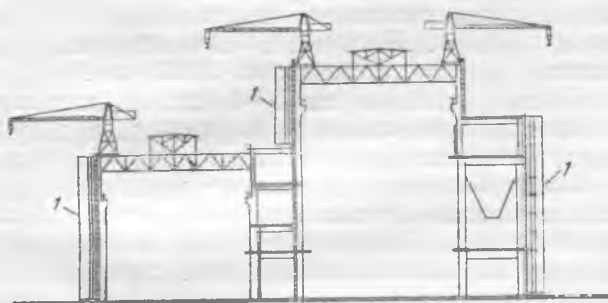


Рис. 1. Кровельные краны БКСМ-4 грузоподъемностью 1,0—0,5 т без каретки с укороченной башней (а) и грузоподъемностью 1,5—0,75 т с кареткой (б).



а)



б)

Рис. 2. Схемы размещения кровельных кранов на главном корпусе при сомкнутых (а) и при разомкнутых этажах (б).

1 — подвесные леса системы Тюленева.

Подкрановые пути (рис. 3), укладываемые на фермы, состоят из инвентарных блоков, длина которых равна шагу ферм. Блок состоит из двух рельсов, базирующихся на двух двутавровых балках, сечение которых принимается по расчету в зависимости от пролета путей. Для того чтобы иметь возможность в зоне подкрановых путей укладывать плиты кровельного перекрытия, подкрановые пути несколько подняты над крышей.

Основные преимущества предложенной схемы механизации работ по доводочному монтажу и заполнению каркаса стен главного корпуса с размещением передвижного крана на крыше заключаются в следующем:

а) достигается почти полная механизация работ по доводочному монтажу металлоконструкций и заполнению каркаса стен;

б) возможность ведения работ в период, когда со стороны машинного зала не закончено устройство циркуляционных водоводов, со стороны котельной — устройство подземной части электрофильтров, а со стороны постоянного торца — устройство различных подземных коммуникаций (что совершенно невозможно при работе с наземными кранами);

в) легкость принятых кранов по сравнению с наземными, а также инвентарность и меньшая трудоемкость устройства и разборки подкрановых путей;

г) простота монтажа и демонтажа крана на крыше, осуществляемых с помощью основного монтажного башенного крана;

д) возможность применения этой схемы при решении стенового и кровельного заполнения в виде крупных блоков или панелей весом до 3 т (в этом случае только следует поставить на крыше кран-погрузчик на базе крана БКСМ-4, имею-

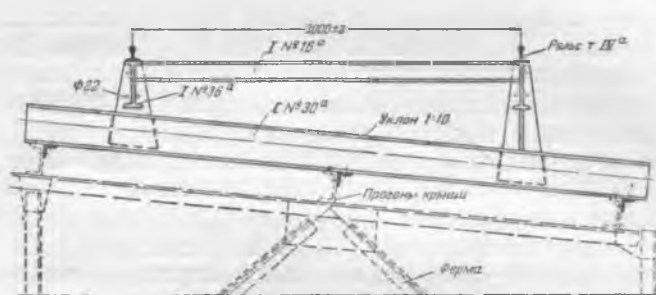


Рис. 3. Поперечный разрез подкрановых путей кровельного крана БКСМ-4 при расстоянии между фермами 6 м.

щий вылет 16,5 м, а грузоподъемность от 1 до 3 т).

Количество требуемых кранов в каждом отдельном случае назначается в зависимости от директивных сроков производства и объемов работ, подлежащих выполнению.

При совмещении работ по доводочному монтажу металлоконструкций с работами по заполнению каркаса стен главного корпуса необходимо иметь два крана, установленных на крыше, с тем чтобы один кран обслуживал доводочный монтаж, а другой — заполнение каркаса.

При монтаже блоков металлоконструкций, образованных двумя колоннами, фермами или ригелями и соединенных между собой связями, органически включаемыми в состав блоков, остается большое количество отдельных элементов, которые должны связать блоки между собой. Как правило, эти элементы не удается свести в блоки и приходится монтировать подетально.

Организация доводочного монтажа металлоконструкций при помощи кранов, установленных на крыше, представляется в следующем виде.

Во время сборки первого блока из двух ферм котельного (или машинного) зала по фермам монтируется первое звено подкрановых путей для крана, устанавливаемого на крыше.

На поднятый и установленный на место первый блок ферм основным монтажным краном поднимается надкровельный кран. После этого производится монтаж блоков 3-й и 4-й осей, а кровельный кран производит монтаж междублочного заполнения между 2-й и 3-й осями. В таком же порядке продолжается монтаж на всей длине главного корпуса.

При монтаже металлоконструкций 25—30 т в смену с удельным весом крупных блоков около 80% объем работ по доводочному монтажу составит 5—6 т в смену.

Производительность одного надкровельного крана на монтаже прогонов, связей, элементов фонарей и фахверков составляет в смену около 3—4 т. Таким образом, для доводочного монтажа необходимо иметь два надкровельных крана. Это же количество требуется и для охвата всех важнейших участков монтажа конструкций при условии, что машинный зал обслуживается наземным башенным краном. При обслуживании машинного зала надкровельными кранами требуется иметь не два, а три крана, которые почти полностью обслуживают участки доводочного монтажа.

Объем кирпичной кладки, попадающей в зону действия надкровельных кранов, зависит от уча-

ствия в механизации кирпичной кладки наземных кранов. Для подачи материалов при кладке постоянного торца главного корпуса бывает целесообразно поставить башенный кран СБК-1, который может подавать материалы в любую точку, в то время как у надкровельных кранов сфера действия при обслуживании постоянного торца несколько сужена.

По главному корпусу электростанции мощностью 200—300 тыс. кВт объем кирпичной кладки составил 7 200 м<sup>3</sup> для 20 700 м<sup>2</sup> стен. Из этого количества подлежит транспортировке надкровельными кранами 6 200 м<sup>3</sup> кирпича для 16 700 м<sup>2</sup> стен.

Определение количества потребных для кирпичной кладки кранов зависит в очень большой степени от типа лесов, принятых для кладки.

От правильного выбора типа лесов для кладки стен главного корпуса в значительной мере зависит общий срок работ по заполнению каркаса стен, так как различные системы лесов позволяют вести кладку с определенной скоростью, чаще всего выражающейся в ярус-день. Исключение составляют только подъемные леса, дающие возможность вести кирпичную кладку непрерывно со значительно большей скоростью, чем при стоечных и подвесных лесах.

При заполнении каркасных стен получили распространение трубчатые и подвесные леса.

Трубчатые леса требуют в 2 раза больше металла, чем подвесные, и в 2 раза более трудоемки в монтаже и демонтаже. Кроме того, предельная высота трубчатых лесов составляет 40 м (усовершенствованные Промстройпроектом леса системы Ленпромстроя), что не обеспечивает кладки стен ряда главных корпусов, достигающих высоты 46 м. При этом надо иметь в виду, что высота яруса трубчатых лесов 1,0 м, а подвесных — 1,2 м.

Наиболее дешевы и удобны в эксплуатации леса системы Тюленева, позволяющие вести кладку каркасных стен высотой до 60 м. Они с успехом применяются на строительстве крупных электростанций в тресте «Мосэнергострой». При наличии надкровельных кранов весьма упрощаются монтаж, демонтаж подвесных лесов и подача материалов для кладки стен. Однако, несмотря на неоспоримые преимущества, леса системы Тюленева имеют один существенный недостаток — необходимость прерывать кладку для перемещения настилов. Очевидно, что только подъемные леса могут обеспечить непрерывную скоростную кладку каркасных стен.

Подачу материалов для кладки стен на непрерывно поднимаемые люлечные леса особенно удобно производить кровельными кранами со стреловыми тележками.

Подача кирпича в контейнерах при всех системах лесов должна производиться надкровельными и в отдельных случаях наземными башенными кранами. Для внутренних стен кирпич следует подавать надкровельными кранами по принципу каскада. Раствор лучше всего подавать растворонасосами или в крайнем случае кранами.

До последнего времени из всего комплекса работ по монтажу кровельных перекрытий были

механизированы только работы по вертикальному транспорту, а одна из трудоемких и очень тяжелых операций — перемещение плит в пределах перекрытия — производилась вручную.

Наличие кранов на кровле, охватывающих почти всю площадь кровли главного корпуса, позволяет комплексно механизировать весь процесс подъема, горизонтального перемещения и укладки на место сборных плит, а также всех остальных материалов, требующихся для устройства кровли.

Количество работ по транспортировке плит и других материалов для устройства кровли главного корпуса составляет на площади 10 500 м<sup>2</sup> около 3 000 т. Количество монтируемых плит составит в этом случае около 10 000 шт.

Плиты пакетами по 5—6 шт. поднимаются надкровельными кранами на крышу, а там по одной раскладываются на место.

Ввиду большого количества монтажных элементов монтаж кровельных перекрытий займет много времени. Сокращение сроков монтажа кровельных перекрытий может быть достигнуто за счет укрупнения плит в пределах грузоподъемности надкровельного крана (до 500 кг).

Такие краны в комбинации с подвесными лесами системы Тюленева были успешно применены в системе треста «Мосэнергострой» на строительстве одной из крупных тепловых электростанций. Леса показали большую надежность в работе и были удобны в монтаже и эксплуатации.

Надкровельные краны обслуживали многочисленный комплекс работ по заполнению каркаса и успешно выполняли ту роль, которая на них была возложена проектом организации работ.

## Выводы

Из приведенных выше соображений о методах скоростного заполнения каркасов главных корпусов можно сделать следующие важные выводы:

1. Объемы работ по внутриобъемному вертикальному и горизонтальному транспорту, в рассмотренном выше примере составляющие около 15 500 т (по кирпичной кладке — 11 520 т, по доводочному монтажу — 800 т, по монтажу подвесных лесов — 250 т, по устройству кровельных перекрытий — 3 000 т), настолько значительны, особенно в сравнении с объемом монтажа основных металлоконструкций, составляющих в данном случае около 3 200 т, что совершенной механизации этих работ должно быть уделено наибольшее внимание.

2. При распространенных в данное время кирпичных заполнениях каркасов наилучшим способом механизации работ по заполнению каркаса следует считать применение кранов, установленных на кровле, охватывающих всю площадь главного корпуса, со стреловыми каретками.

3. Из применяющихся в данное время систем лесов для кирпичной кладки следует применять леса системы Тюленева, но в качестве актуальнейшей задачи должно быть поставлено проектирование непрерывно поднимающихся широкопролетных люлечных лесов.



# Железобетонные пасынки для линий электропередачи

Инж. Г. Д. Бодров и канд. техн. наук В. П. Новицкий

Широкое внедрение железобетонных пасынков для деревянных опор на линиях электропередачи повысит эксплуатационную надежность линий, уменьшит расход древесины на ремонт линий и сократит эксплуатационные расходы.

Конструкция железобетонных пасынков была впервые разработана Оргрэс. Пасынки пустотелые и имеют восьми- или девятигранное наружное очертание при круглом внутреннем. Ширина 30—40 см, толщина стенок 5—6 см. Пустотелые пасынки восьмигранного сечения надежны в эксплуатации благодаря замкнутой и симметричной форме сечения, удобны при транспортировании и установке; имеют достаточный защитный слой бетона для рабочей арматуры, которая располагается по углам восьмигранника; наличие плоских граней облегчает подачу бетонной смеси в форму при бетонировании пасынка и дает простое сопряжение пасынка с деревянной опорой. По сравнению с пасынками кольцевого сечения восьмигранные пасынки дают экономию бетона на 10%, причем технология их изготовления значительно проще технологии пасынков кольцевого сечения.

Впервые пустотелые железобетонные пасынки начали изготавливаться в системах Ярэнерго и Саратовэнерго<sup>1</sup>. Пасынки имели ширину 30 см, толщину стенок 5 см и длину 6,5 м. Продольная арматура выполнялась из девяти стержней марки Ст. 3, диаметром 16 мм при поперечной арматуре диаметром 6 мм, установленной с шагом 60 мм. Вес продольной арматуры составлял 100 кг, поперечной 28 кг. Пасынки изготавливались из бетона марки 200. Для образования полости применялся разборный реечный сердечник, обернутый холстом; сердечник извлекался из изделия через 12 час. после бетонирования. Уплотнение бетона производилось вибраторами типа И-7 (без площадки), укрепленными к наружной форме. При перевозке пасынков в них были обнаружены волосяные трещины.

Однако технология изготовления пасынков, особенно в заводских условиях, требует дальнейшего совершенствования.

Так, например, применение арматуры периодического профиля горячекатанной или холодно-сплюсненной с расчетным пределом текучести 3 500 кг/см<sup>2</sup> сократит расход металла на продольную арматуру на 30—40% и увеличит долговечность пасынков, так как это уменьшит величину раскрытия трещин в бетоне при работе пасынков на изгиб или на растяжение.

Для повышения технических свойств бетона, увеличения его водонепроницаемости, морозостой-

кости необходимо вводить в бетонную смесь пластифицирующие добавки (сульфитно-спиртовую барду) или применять пластифицированные цементы.

Применение реечного сердечника, обмотанного холстом, увеличивает затраты рабочего времени на его сборку; кроме того, срок службы такого сердечника невелик.

При массовом изготовлении пасынков в заводских условиях большой эффект может дать применение вакуумирования бетона.

При вакуумировании на 50% ускоряется процесс твердения бетона в раннем возрасте, в 1,5—2 раза сокращается срок пропаривания изделий, резко снижаются усадка и ползучесть бетона.

Уплотнение бетона лучше всего производить наружными тисковыми вибраторами типа И-87, которые легко крепятся к опалубке. Появление видимых волосяных трещин на поверхности пасынков указывает на наличие в бетоне растягивающих напряжений, причиной которых является усадка. Усадка бетона имеет место при нахождении изделия в воздушной среде с пониженной по сравнению с самим изделием влажностью. Величина укорочения изделия от усадки может достигать до 0,2—0,3 мм на 1 м, т. е. превышать предельное удлинение бетона при разрыве, составляющем 0,1—0,15 мм на 1 м.

Наличие внутренних связей в виде продольной арматуры препятствует усадке бетона, что и ведет к появлению трещин в изделии до его загрузки. Во избежание появления таких усадочных трещин первые 15 дней пасынки необходимо хранить во влажных условиях.

С целью повышения устойчивости пасынков в грунте и для устранения земляных работ следует широко практиковать забивку пасынков в грунт. Для этого можно применять дизель-молот 600, монтируемый на стреле, установленной на тракторе или автомашине.

Опыты, проведенные Научно-исследовательским институтом мостов, показывают, что пустотелые железобетонные сваи (пасынки) в зависимости от грунтовых условий следует погружать либо с открытым концом, либо с глухим башмаком.

При плотных грунтах — плотные пески и глины — пасынки забиваются с открытым концом, при этом грунт частично входит внутрь пасынка, что значительно облегчает его забивку (сваи с глухим башмаком в такие грунты погрузить не удалось). В грунтах средней плотности и особенно слабых грунтах пасынки необходимо забивать с глухим башмаком, чтобы уплотнить грунт вокруг пасынка.

Научно-исследовательским институтом мостов проводились опыты по забивке пустотелых железобетонных свай (пасынков). Сваи имели на-

<sup>1</sup> К. Н. Боголюбовский, Железобетонные пасынки для линий электропередачи, "Электрические станции", 1951, № 12; Эксплуатация воздушных линий электропередач, Госэнергоиздат, 1952, Сборник статей под ред. И. А. Сыромятникова.



Рис. 1. Разрушенная свая.

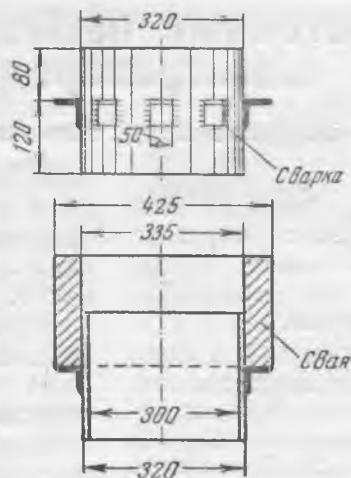


Рис. 2. Кольцевой башмак.

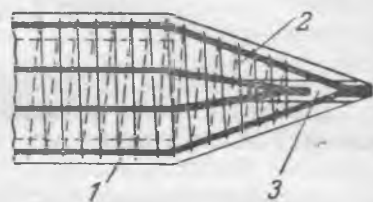


Рис. 3. Глухой башмак.  
1 — продольная арматура; 2 — поперечная арматура,  $d=6$  мм, шаг 10 см; 3 — планка  $60 \times 12$  мм.

ружный диаметр 42,5 см, толщину стенки 4,5 см и длину 350 см. Они армировались продольной арматурой диаметром 12 мм в количестве восьми стержней и поперечной спиральной арматурой диаметром 6 мм, установленной с шагом 10 см.

Забивка свай производилась штанговым дизель-молотом на глубину до 3 м. Характер грунтов в месте забивки свай был: песок влажный, мелкозернистый — 3 м, далее — плотная глина.

Первая свая с открытым концом была забита на глубину 2,5 м, а затем открыта и извлечена для обследования. Оказалось, что нижний конец сваи на длине 50 см совершенно разрушен (рис. 1), причем на длине 30 см поперечная арматура была порвана, а продольная отогнута в сторону, выше на протяжении 20 см в бетоне имелись крупные трещины. Такое разрушение конца сваи объясняется большим внутренним давлением со стороны грунтового ядра (пробки) на стенки сваи.

Свободному продвижению грунтового ядра внутри сваи при ее забивке препятствует сила трения между грунтовым ядром и стенками сваи, поэтому высота грунтового ядра всегда несколько меньше, чем глубина забивки сваи. Грунт внутри сваи уплотняется и оказывает давление на стенки сваи.

Для предотвращения разрушения конца сваи при забивке ее с открытым концом было опробовано несколько конструкций кольцевых башмаков. Из них наиболее удачным оказался башмак, состоящий из кольца, сваренного из полосовой стали сечением  $200 \times 6$  мм, к которому по периметру приваривались восемь отрезков уголка  $60 \times 60 \times 6$  (рис. 2). Кольцо башмака свободно входило внутрь железобетонной сваи, а торец сваи опирался на полки уголков. При нагружении сваи кольцо башмака воспринимало на себя давление со стороны грунтового ядра, а уголки защищали торец сваи.

Так как внутренний диаметр кольца башмака меньше внутреннего диаметра сваи, грунтовое

ядро, пройдя через башмак, дальше свободно проходило внутрь сваи, не оказывая давления на ее стенки. С таким башмаком было забито несколько свай на глубину 3 м до плотной глины, при этом отказ свай равнялся нулю. После забивки сваи были извлечены и обследованы. Ни трещин, ни других повреждений на концах свай не было обнаружено.

При забивке свай (пасынка) с глухим башмаком (рис. 3) башмак бетонируется после изготовления сваи. Стержни продольной арматуры сводятся вместе и привариваются к металлической планке, усиливающей острие башмака.

При опытах вместо монолитного бетонного башмака применялись деревянные башмаки из отрезка бревна длиной 70—80 см и металлические башмаки, которые приваривались к кольцу, вбетонированному в конец сваи. Глухие металлические башмаки следует применять при наличии в грунте валунов. Сваи, забитые с глухими башмаками, никаких повреждений не имели.

В качестве наголовника применялась деревянная бобышка высотой 50 см, обжата сверху и снизу хомутами. Головы свай никаких повреждений не имели.

## Выводы

1. При изготовлении железобетонных пасынков для экономии металла следует применять горячекатанную арматуру периодического профиля, а для улучшения технических свойств бетона пасынков и экономии цемента вводить в бетонную смесь пластифицирующие добавки или применять пластифицированные цементы.

2. Во всех случаях, когда это допускают грунтовые условия, пасынки следует забивать в грунт, применяя для этой цели дизель-молот.

Для пасынков шириной 30—35 см и длиной 6,5 м при глубине забивки их 2,5—3 м можно применять дизель-молот с весом ударной части 600 кг.



# Стробоскопический метод измерения фазы вибрации осциллографом с приставкой

Инж. Н. А. Худабашев

Определение фазы вибрации наряду с измерением ее амплитуды бывает необходимо при вибрационных испытаниях турбогенераторов и динамической балансировки их роторов.

Наиболее простым и наглядным методом, позволяющим производить непосредственный отсчет фазовых углов, является стробоскопический метод измерения фазы вибрации.

Для такого измерения может быть успешно применен электронный осциллограф в соединении со специальной приставкой.

Предлагаемое устройство имеет ряд преимуществ по сравнению с получившим распространение виброскопом типа ВК, так как позволяет производить, кроме определения фазы вибрации, также и другие измерения, необходимые при исследовании вибрации и балансировке турбогенераторов, а именно:

- 1) точно определять амплитуды вибрации с достаточным увеличением;
- 2) определять форму кривой вибрации с фиксированием фотографией или же от руки на прозрачной бумаге;
- 3) определять частоту вибрации.

Это устройство (рис. 1) содержит следующие элементы: электронный осциллограф 1, имеющий блок усилителя по оси Y на двух лампах 6Ж8; блок усилителя по оси X на двух лампах 6Ж8; блок развертки на лампах 6Ж7, 6К3 и 6П3С; блок питания на лампах 5Ц4С и 2Ц2С (для питания электронно-лучевой трубки типа ЛО-247 диаметром 75 мм); приставку 2 для определения фазы вибрации, схема которой изображена на рис. 2; электродинамический датчик 3 конструкции КТБ треста «Союзэнергоремонт» типа виброшуп; неоновую лампу 4.



Рис. 1. Устройство для определения фазы вибрации.

1 — электронный осциллограф; 2 — приставка; 3 — электродинамический датчик; 4 — неоновая лампа.

Схема (рис. 2) для определения фазы вибрации стробоскопическим методом работает следующим образом.

На сетку тиратрона  $L_1$ , имеющего отрицательное смещение около 3 в, подается напряжение вибрации (датчика) после усилителя через делитель напряжения  $R_1$  и  $R_2$ .

При снижении отрицательного напряжения на сетке до 2—2,5 в, что практически соответствует прохождению э. д. с. вибрации через нуль, тиратрон  $L_1$  откроется и вспыхнет неоновая лампа ЛН — начнется заряд конденсатора  $C_1$ . Время горения лампы ЛН будет определяться постоянной времени контура  $L_1$  — ЛН —  $C_1$ . Одновременно с вспышкой лампы ЛН на сетку разрядной лампы  $L_2$  будет подано отрицательное смещение значительной величины, которым она будет заперта. Запирающее напряжение на сетке лампы  $L_2$  будет в течение всего положительного полупериода напряжения вибрации, т. е. на все время, пока тиратрон  $L_1$  открыт. Подъем напряжения на конденсаторе  $C_1$  будет продолжаться до того момента, когда напряжение на лампе ЛН упадет до величины, необходимой для поддержания разряда в лампе, — лампа ЛН потухнет.

При отрицательном полупериоде напряжения вибрации на сетке тиратрона  $L_1$  токи утечки схемы будут прерваны, отрицательное смещение с лампы  $L_2$  будет снято и конденсатор  $C_1$  пол-

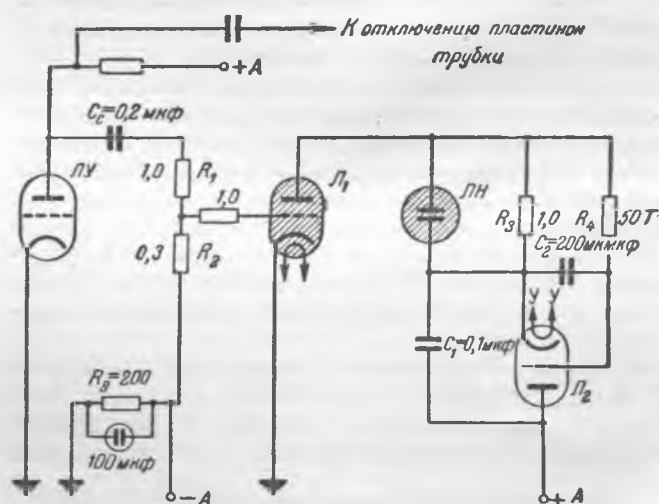


Рис. 2. Схема приставки к осциллографу.

$R_1$  и  $R_2$  — делитель напряжения на выходе усилителя; ЛУ — выходная лампа усилителя оси Y в осциллографе;  $L_1$  — тиратрон;  $L_2$  — разрядная лампа (6Ж8 в триодном включении); ЛН — неоновая лампа;  $R_3$  — сопротивление смещения для тиратрона.

ностью разрядится через лампу  $L_2$ . В следующий период явление повторится заново.

Таким образом, моменту зажигания неоновой лампы  $ЛН$  будет соответствовать момент нулевого значения э. д. с. вибрации перед положительным полупериодом, и вал, освещаемый лампой  $ЛН$ , будет казаться неподвижным в положении, соответствующем фазе вибрации. Если на вход усилителя подать напряжение, пропорциональное скорости движения вибрирующей поверхности (напряжение датчика без интегрирующего контура), то точка вала, находящаяся при стробоскопическом эффекте против виброшупа, будет соответствовать бьющей точке вала, так как момент зажигания неоновой лампы соответствует нулевой скорости вибрирующей поверхности — максимальному размаху колебаний.

В схеме введен контур  $R_3 - C_2 - R_4$ , назначение которого — ввести замедление в снятии запирающего напряжения с лампы  $L_2$ . Это сделано для того, чтобы можно было определять фазу по максимальному значению э. д. с. вибрации в случае сильно несинусоидальной формы кривой вибрации. При таком измерении постоянное смещение на сетке  $L_1$  должно быть увеличено до 5—6 в, и стробоскопический эффект получается при постепенном увеличении напряжения на выходе усилителя (увеличение коэффициента усиления с нуля). Появление стробоскопического эффекта соответствует амплитуде э. д. с. вибрации. Замедление необходимо из-за возможности

зубчатости вершины кривой. Введение замедления улучшает работу схемы при наличии зубцов в кривой э. д. с. вибрации.

Как показывают расчет и проведенные испытания, данное устройство обеспечивает точность измерения фазы вибрации в пределах:  $\pm 1 \div 2^\circ$  при неизменной частоте колебаний и  $\pm 4 \div 5^\circ$  при изменениях частоты от 10 до 50 гц и амплитуды колебаний от 10 до 1 мм. Практически точность измерений определяется точностью измерений углов по отметкам при стробоскопическом эффекте.

При резком отличии формы кривой от синусоиды, особенно при несимметрии относительно оси  $Y$ , описываемое устройство не может обеспечить точности определения фазы колебаний, но надо отметить, что измерения фазы в этих случаях выходят из рамок обычных технических измерений и требуют определения фазы всех гармонических составляющих по специальному методу.

## Выводы

Описываемое устройство в сочетании с электронным осциллографом (или же как его составная часть) позволяет производить вибрационные испытания и динамическую балансировку быстро и с большой точностью. Специальное исполнение осциллографа позволяет снизить общий вес установки до 8—10 кг, что делает ее вполне транспортабельной.

□ □ □

## О координации линейной изоляции<sup>1</sup>

Канд. техн. наук М. М. Некрасов

Электрическая прочность дерева при импульсах не является величиной постоянной. Она сильно понижается под влиянием дождя, предыдущих импульсных разрядов, щепления и особенно при комбинированном их воздействии<sup>2</sup>. Однако приблизительно можно установить величину разрядного напряжения как междуфазовой изоляции, так и на землю, для пропитанных и непропитанных опор.

Пропитка древесины опор креозотом увеличивает ее электропроводность, при этом улучшается распределение напряжения вдоль дерева опор и разрядное напряжение значительно повышается<sup>3</sup>, причем под дождем после наложения достаточно большого количества импульсов разрядное напряжение пропитанного дерева снижается до величины, близкой к разрядному напряжению соответствующих непропитанных

образцов. Это объясняется тем, что хорошо пропитанным оказывается поверхностный слой толщиной 1,5—2 см. Разряды по дереву, как правило, сопровождаются щеплением.

Пропитанный слой дерева по всей длине оказывается разрушенным в различных местах и в дальнейшем разряд происходит по участку непропитанной (или слабо пропитанной) древесины под дождем. Это показывает тщательный анализ данных<sup>4</sup>, а также наблюдения автора при проведении подобных экспериментов в Ивановском энергетическом институте. Так, например, разрядное напряжение сосновой непропитанной траверзы длиной 4 м под дождем (при отрицательной полярности) было 540 кв, а пропитанной траверзы при тех же условиях — 900 кв. После наложения значительного числа импульсов, сопровождающихся щеплением, разрядное напряжение снизилось до величины 550 кв.

Мы имели возможность проследить в эксплуатации влияние пропитки древесины опор на число отключений, имея данные двух соседних систем (в первой системе почти все опоры из непропи-

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

<sup>2</sup> А. А. Горев и Л. Е. Машкиллейсон, Импульсные характеристики линейной изоляции и искровых промежутков, "Электрические станции", 1936, № 11.

<sup>3</sup> М. М. Некрасов, Переход импульсного перекрытия в дугу на линиях передачи с деревянными опорами, "Электричество", 1951, № 3.

<sup>4</sup> См. сноски 2 и 3.



танной древесины, во второй системе все опоры пропитаны креозотом), работающих практически в одинаковых условиях. Протяженность линий первой системы в 1,8 раза больше второй, число отключений же больше во второй системе (табл. 1). Из табл. 2 видно, что повреждаемость

Таблица 1

Отчетный год	Количество установленных трубчатых разрядников		Количество работающих трубчатых разрядников		Количество грозных отключений	
	1-й системы	2-й системы	1-й системы	2-й системы	1-й системы	2-й системы
1947	2 126	916	178	136	6	12
1948	1 893	911	242	63	6	13
1949	1 560	633	370	244	11	13
1950	1 443	618	234	179	6	7
1951	1 359	703	80	145	2	10

Таблица 2

Отчетный год	Повреждения трубчатых разрядников	
	1-й системы	2-й системы
1946	4	1
1947	2	2
1948	1	1
1949	4	—
1950	2	1
1951	1	1
Всего . .	14	6

трубчатых разрядников приблизительно пропорциональна количеству установленных. Отключения вследствие междупазовых перекрытий в сети 110 кВ второй системы в 2 раза больше, чем первой системы, т. е. хотя пропитка древесины опор повышает уровень изоляции, но число отключений при этом не уменьшается, а увеличивается.

В табл. 3 приводятся данные приближенных значений уровней и показателей грозоупорности линий на деревянных опорах (пропитанных и непропитанных) с полным использованием изоляции дерева.

Из табл. 3 видно, что для линий 110 кВ на деревянных непропитанных опорах минимальное разрядное напряжение на землю (под дождем) одного порядка с напряжением, необходимым для междупазового перекрытия. Пропитка древесины опор креозотом сравнительно мало повышает разрядное напряжение между проводами и значительно повышает разрядное напряжение с провода на землю. Поэтому для опор, пропитанных креозотом, линий 110 кВ необходимо значительно снизить разрядное напряжение на землю путем шунтирования части дерева (4—5 м) стойки опоры. Опыт шунтирования части стойки опоры при

Таблица 3

	Номинальное напряжение, кВ		
	110	35	
Расстояние между проводами, м . . . .	4	4	3
Количество изоляторов в гирлянде на промежуточной опоре, шт. . . . .	6	2	2
Высота опоры, м . . . . .	13	13	12,7
Минимальное разрядное напряжение между фазами, на промежуточной опоре (траверза не пропитана), кВ	1 600	900	800
То же, в случае траверзы, пропитанной креозотом, кВ . . . . .	2 000	1 000	850
Коэффициент связи с учетом короны <sup>1</sup>	0,44	0,34	0,41
Напряжение, необходимое для междупазового перекрытия на промежуточной опоре (траверза не пропитана), кВ . . . . .	2 900	1 400	1 350
То же, в случае пропитанной траверзы . . . . .	3 600	1 550	1 450
Наибольшее значение минимального разрядного напряжения на землю, на промежуточной опоре (для непропитанной опоры), кВ . . . . .	3 100	3 100	3 000
То же, для опоры, пропитанной креозотом . . . . .	4 500	4 500	4 200

<sup>1</sup> Коэффициент связи вычислен по формуле ЛПИ, см. М. В. Костенко, Атмосферные перенапряжения и грозозащита высоковольтных установок, Госэнергоиздат, 1949.

установке деревянных подкосов в системе Челябинск-энерго<sup>5</sup> дал положительные результаты.

На линиях 35 кВ с деревянными пропитанными опорами при расстоянии между проводами  $l = 4$  м градиент для перехода импульсного перекрытия в дугу в случае разряда между проводами оказывается недостаточным. Это подтверждается опытом эксплуатации такой линии в системе Ярэнерго.

При расстоянии между проводами  $l = 3$  м линий 35 кВ, как видно из табл. 3, вероятность перекрытий междупазовой изоляции сильно возрастает. Однако вероятность перехода импульсного перекрытия в дугу уменьшается (особенно, когда древесина опор пропитана креозотом). Напряжение гашения при разряде по поверхности пропитанного дерева возрастает, в итоге для линий 35 кВ при расстоянии между проводами 3 м в случае пропитанной древесины мы имеем меньшее число отключений, чем для непропитанной.

Таким образом, пропитка древесины опор увеличивает напряжение гашения (градиент, при котором импульсное перекрытие переходит в дугу). Однако для линий электропередачи 110 кВ на деревянных опорах этого оказывается недостаточно. Необходимо изоляцию линий координировать так, чтобы напряжение, необходимое для междупазового перекрытия, было выше разрядного напряжения на землю по стойке опоры.

<sup>5</sup> П. А. Рыбкин, К вопросу о грозозащите линий электропередачи координирующими подкосами, "Электричество", 1951, № 7.



# О релейной защите гидрогенераторов на телеуправляемых гидроэлектростанциях<sup>1</sup>

Инж. Г. В. Подковыров и канд. техн. наук Э. Г. Файнштейн

Автоматизация и телемеханизация гидроэлектростанций значительно сокращают число операций управления агрегатами и вспомогательным оборудованием, благодаря чему становится возможным отказаться от постоянного пребывания персонала на электростанции и ограничиться дежурством «на дому». В этих условиях значительно возрастает роль релейной защиты в деле обеспечения надежной и безаварийной работы.

Релейная защита автоматизированных и телемеханизированных гидроэлектростанций пока продолжает выполняться в соответствии с требованиями «Правил устройства электротехнических установок» (ч. II, Госэнергоиздат, 1950), подготовленных еще до широкого внедрения автоматизации и телемеханизации гидроэлектростанций. В целях упрощения Правилами не предусматриваются некоторые защиты, исходя из того, что находящийся постоянно у агрегатов персонал успеет выявить начавшееся повреждение или ненормальный режим, определить его характер и принять меры к ликвидации опасного нарушения. Отсутствие персонала на телеуправляемой гидроэлектростанции существенно меняет это условие.

Опасность того или иного ненормального режима, допустимая длительность работы генератора в этом режиме зависят от конструкции и качества выполнения генератора, от способов ведения эксплуатации, качества планово-предупредительных ремонтов и эффективности профилактических испытаний. Проведенные в последние годы исследования позволили установить и уточнить ряд условий, на основе которых доказана безопасность режимов, ранее считавшихся недопустимыми. Повышена эффективность профилактических испытаний и планово-предупредительных ремонтов. Массовое внедрение устройств системной автоматики повысило устойчивость работы энергосистем. Накопленный опыт эксплуатации послужил основой для формулировки новых требований и способов ведения эксплуатации, данных в «Инструкции по эксплуатации и ремонту генераторов» (Госэнергоиздат, 1952) и «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей» (Госэнергоиздат, 1953). Однако принятое исполнение релейной защиты агрегатов телеуправляемых гидроэлектростанций недостаточно удовлетворяет этим требованиям.

## Тепловая защита

Контроль величины и длительности перегрузки генераторов, допускаемых Правилами технической эксплуатации, с помощью обычно имеющихся на диспетчерском пункте приборов телеизмерения и устройств телесигнализации является недостаточным. Принятый объем телемеханического контроля не позволяет определить характер протекания перегрузки с учетом действительного теплового режима генератора. Поэтому защита гене-

ратора от перегрузки должна учитывать реальное тепловое действие тока перегрузки и при достижении определенного предела подавать сигнал, а затем разгружать генератор путем автоматического ввода в работу резервных агрегатов или изменения активной и реактивной нагрузки защищаемого агрегата. В том случае, если по каким-либо причинам перегрузка не будет устранена, защита должна отключить генератор от сети.

Правильно учесть действие тока перегрузки на обмотку генератора может защита, основанная на тепловом принципе. Действие такой защиты на разгрузку генератора, а также на его отключение должно контролироваться токовой блокировкой с выдержкой времени, отстроенной от междудуговых защит присоединений. Это предотвратит неправильную работу тепловой защиты вследствие тепловой инерции генератора, а также при внешних коротких замыканиях.

Вопрос о выпуске достаточно надежных и совершенных тепловых реле давно назрел и должен быть решен электропромышленностью. До выпуска таких реле токовую защиту от перегрузки следует выполнять не с независимой, а с зависимой выдержкой времени согласно допустимой по Правилам технической эксплуатации продолжительности перегрузки в зависимости от кратности тока.

## Защита от асинхронного режима работы

Длительный асинхронный режим является опасным для гидрогенератора, так как при работе в этом режиме возникают большие токи статора, несинхронные поля, вызывающие перегрев успокоительной обмотки, механические пульсирующие усилия и сопутствующие им вибрации.

Гидрогенераторы без успокоительных обмоток не могут развить большого асинхронного момента и при выпадении из синхронизма сбрасывают нагрузку почти полностью. Даже при наличии успокоительной обмотки асинхронный момент, развиваемый генератором, все же оказывается настолько малым, что в установившемся режиме генератор работает со значительным скольжением, которое в основном определяется настройкой степени неравномерности регулятора скорости турбины.

Незначительно загружаясь активной нагрузкой, генератор при работе в асинхронном режиме потребляет из сети значительный реактивный ток, отрицательно влияя на работу энергосистемы.

Поэтому «Инструкция по эксплуатации и ремонту генераторов» (§ 88, 91) предписывает немедленно отключать от сети гидрогенераторы при потере возбуждения и выпадении из синхронизма.

На электростанциях без постоянного дежурного персонала это требование не может быть выполнено, так как персонал диспетчерского пункта по приборам телеизмерений не может быстро

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

установить характер и причины ненормальности. Это должна выполнить соответствующим образом настроенная релейная защита.

Общим признаком любого асинхронного режима независимо от того, какими причинами он вызван (потерей возбуждения или выпадением из синхронизма), является потребление реактивной мощности из энергосистемы, поэтому в качестве измерительного элемента защиты может быть использовано реле направления мощности. Достаточно, чтобы это реле при своем срабатывании закорачивало контакты пусковых реле минимального напряжения в схеме защиты от сверхтоков, вызванных внешними короткими замыканиями.

В предлагаемом виде защита имеет неоспоримые преимущества перед другими, основанными на непосредственном включении измерительных элементов в цепи возбуждения. Ложные ее срабатывания (например, при качаниях) исключены благодаря наличию в схеме реле времени и реле максимального тока.

### **Защита от недопустимого повышения напряжения на выводах генератора**

В свое время уставки этой защиты были выбраны, исходя только из возможного повышения напряжения на выводах генератора после сброса нагрузки. Предполагалось, что защита с напряжением трогания  $1,5 U_n$  с выдержкой времени 0,5 сек. должна действовать лишь в редких случаях отключения регулятора возбуждения<sup>2</sup>.

Как было показано авторами раньше<sup>3</sup>, защита с указанными выше уставками может придти в действие после отключения коротких замыканий, происходящих на линиях, присоединенных к шинам электростанции и отключаемых с некоторой выдержкой времени. Наличие регуляторов возбуждения с устройствами форсировки только увеличивает вероятность действия защиты после отключения короткого замыкания, не предотвращая кратковременного повышения напряжения на выводах генератора, достаточного по величине и длительности для срабатывания защиты.

Отключение генераторов защитой от повышения напряжения может привести к потере не только потребителей, но и собственных нужд электростанции, т. е. к аварии, ликвидация которой возможна лишь после прибытия на электростанцию персонала.

Такое отключение генератора с точки зрения предотвращения опасного для его изоляции повышения напряжения является совершенно бесполезным, если предшествующее короткое замыкание было на генераторном напряжении, и вредным, если оно было за повышающим трансформатором.

Следовательно, имеются все основания к тому, чтобы отказаться от действия защиты на генера-

торный выключатель, оставив ее действие только на отключение АГП с последующим повторным его включением при снижении напряжения на выводах до 110% от номинального. Необходимо отметить, что при этом напряжение на генераторе будет снижаться быстрее.

Проведенные советскими электротехниками многочисленные исследования показывают полную безопасность кратковременных (до 1 мин.) повышений напряжения на выводах генератора до 200% от номинального. Следовательно, в целях предотвращения излишних отключений АГП выдержка времени защиты от повышения напряжения должна быть увеличена настолько, чтобы при исправной работе устройства расфорсировки возбуждения защита не приходила бы в действие. С другой стороны, учитывая опасность длительных повышений напряжения на работу электродвигателей и других устройств в случае неисправности регулятора скорости и отказа расфорсировки при отсутствии персонала на электростанции, уставка защиты по напряжению может быть понижена. Наиболее успешно этот вопрос решается применением реле максимального напряжения с зависимой выдержкой времени.

### **Автоматический ввод в действие противопожарного устройства**

Повреждения генератора вследствие замыканий в обмотке статора сами по себе не столь велики, так как ликвидация таких повреждений надежно и быстро осуществляется релейной защитой. Однако воспламенение изоляционных материалов дугой электрического тока, приводящее к пожару обмотки статора, может привести к тяжелым последствиям и надолго вывести из строя генератор.

Наиболее простым и надежным способом является применяемое тушение пожаров в генераторах водой, подаваемой через кольцевые трубы, расположенные в зоне лобовых частей. Этот способ имеет несущественный недостаток, заключающийся в том, что одновременно смачиваются водой и неповрежденные секции. Однако, как показали многочисленные исследования, это смачивание не отражается на диэлектрической прочности неповрежденной изоляции и вода из генератора может быть удалена кратковременным вентилированием.

Начавшийся в генераторе пожар обмотки может быть обнаружен персоналом только по дыму, проникающему в машинный зал, и запаху гари или после осмотра генератора, т. е. только после прибытия персонала на электростанцию. Естественно, что за время от начала аварии до принятия персоналом мер по ликвидации пожара пожар может создать большие, непоправимые в короткие сроки повреждения.

Для предупреждения и ликвидации пожара необходимо автоматически осуществлять ввод воды при возникновении замыканий, сопровождающихся протеканием тока большой силы, т. е. при замыканиях, ликвидируемых дифференциальной защитой генератора<sup>4</sup>. В зону дифференциальной

<sup>2</sup> „Руководящие указания по релейной защите“, ч. II, 1939.

<sup>3</sup> См. „Электрические станции“, 1952, № 2.

<sup>4</sup> Предложено Техническим управлением по электростанциям МЭСЭП.

защиты не должны входить соединительные кабели и другое оборудование, находящееся за водами генератора.

В связи с принятыми в настоящее время уставками трогания дифференциальной защиты (1,2 ÷ 1,5)  $I_n$  ее ложное срабатывание при отсутствии замыкания в генераторе практически исключено. Для большей надежности импульс на действие соленоидного клапана можно осуществлять от последовательно соединенных контактов дифференциальных защит генератора и блока (для генераторов, работающих в блоке с повышающим трансформатором).

В целях предупреждения попадания в генератор воды через неплотности соленоидного клапана между соленоидным клапаном и генератором должна быть установлена U-образная труба с нормально открытым сливным клапаном, который должен автоматически закрываться при повышении давления в трубке.

Длительность подачи воды в генератор должна быть ограничена интервалом 2—3 мин.

### **Автоматическое повторное включение генератора**

Некоторые виды нарушения нормальной работы генератора (асинхронный ход вследствие выпадения из синхронизма или из-за потери возбуждения, внешние короткие замыкания, вызы-

вающие срабатывание максимальной защиты) устраняются отключением генератора от сети и его немедленным, при соблюдении соответствующих условий, включением в работу с помощью устройства АПВ с самосинхронизацией.

В случаях отключения генератора (вследствие перегрузки) тепловой защитой причина, вызывающая это отключение, самоустранивается не сразу, и генератор может быть включен в работу лишь через некоторое время с понижением температуры обмотки до определенного значения. Во избежание включения поврежденного генератора цепь АПВ должна блокироваться защитами от внутренних повреждений. На случай работы максимальной защиты как резервной при внутреннем повреждении генератора и отказе дифференциальной защиты целесообразно действие максимальной защиты на АГП осуществить через замедленный вспомогательный контакт отключенного выключателя с тем, чтобы АПВ приходило в действие при наличии несинхронных номинальных напряжений на шинах и на генераторе как основном условии его пуска.

Наличие АПВ при таком выполнении максимальной защиты позволяет в некоторых случаях на гЭС, связанных с системой одиночной линией и при наличии независимого питания собственных нужд, максимальную защиту генератора настраивать с выдержкой времени, меньшей выдержки времени резервной защиты линии.

□ □ □

## **Простые каналы связи и телемеханики для сетей с малым током замыкания на землю**

Инж. С. М. Петров и инж. В. М. Петроз

Распространенная в настоящее время в энергосистемах высокочастотная связь требует применения элементов обработки линии электропередачи, т. е. высоковольтных конденсаторов связи и высокочастотных заградителей.

Вследствие значительной стоимости высокочастотные каналы пока не получили распространения для сетей напряжением 35 кВ и тем более 6—10 кВ.

Авторами разработан более простой способ использования в качестве каналов связи линий электропередачи, работающих в режиме изолированной или компенсированной нейтрали. Сущность этого способа заключается в наложении на ток промышленной частоты, образующий в нормальном режиме симметричную трехфазную систему, тока нулевой последовательности другой частоты, циркулирующего по пути — три фазных провода — земля и используемого для передачи сигнала.

Для подключения аппаратуры связи к линии применены трансформаторы напряжения, так как их одновременно можно использовать и для целей электрических измерений.

Принципиально возможны следующие способы подключения аппаратуры связи для передачи сигнала токами нулевой последовательности:

1. Подключение к трансформаторам контроля изоляции на обмотку, включенную фильтром нулевой последовательности (рис. 1). У трансформаторов напряжения типа НТМИ аппаратура связи включается на специальную обмотку, обыч-

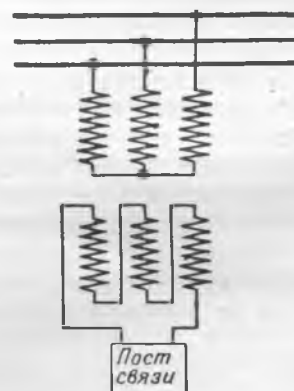


Рис. 1.



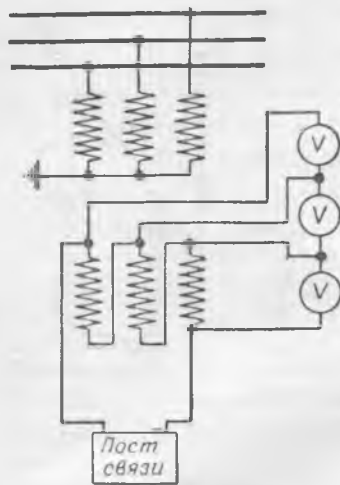


Рис. 2.

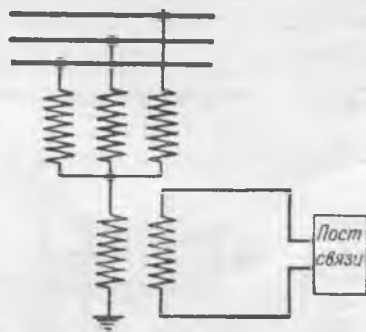


Рис. 3.

но используемую для сигнализации замыканий на землю. У трансформаторов напряжения типа НОМ вторичная обмотка собирается по схеме разомкнутого треугольника. Одновременно на фазные вторичные напряжения можно подключить вольтметры контроля изоляции (рис. 2). Недостаток этой схемы заключается в том, что одной группой однофазных трансформаторов можно обеспечить только связь и контроль изоляции, но нельзя подключать одновременно и трехфазные счетчики. Устранить этот недостаток можно выполнением трансформаторов напряжения с двумя вторичными обмотками, из которых одна использовалась бы для электрических измерений, а другая для подключения аппаратуры связи.

2. Подключение к трансформатору напряжения, установленному между нулевым выводом силового трансформатора и землей (рис. 3).

Эта схема может найти применение там, где не требуется установка измерительных приборов на стороне высшего напряжения.

3. Подключение ко вторичной обмотке заземляющей дугогасящей катушки. Данная схема является аналогичной показанной на рис. 3.

Пока экспериментально проверен только первый способ. Остальные способы требуют тщательной проверки влияния на затухание канала вторичной обмотки силового трансформатора, соединенной в треугольник или звезду.

Из трех введенных в эксплуатацию каналов связи более подробно исследован совместно с бригадой ВИЭСХ канал связи по линии электропередачи 10 кВ длиной 20,5 км, выполненной проводом АС-25, соединяющей межколхозную гидроэлектростанцию с подстанцией энергосистемы. Сеть 10 кВ, в которую входит данная линия, имеет протяженность около 200 км и 70 трансформаторных пунктов.

Снимались характеристики всего канала в целом, без подразделения на элементы (трансформаторы напряжения, линия и т. д.), что является существенным недостатком опытов и пока не позволяет сделать выводов относительно возможных путей дальнейшего улучшения качественных показателей работы канала.

Входное сопротивление определялось на зажимах разомкнутого треугольника трансформато-

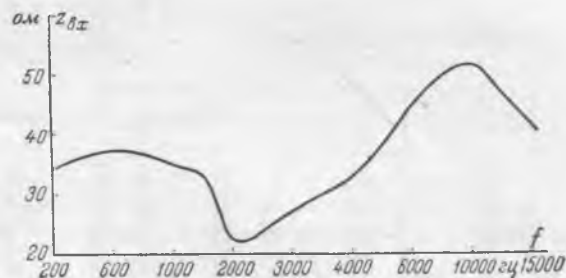


Рис. 4.

ров напряжения типа НОМ-10, включенных по схеме звезда с заземленной нейтралью — разомкнутый треугольник.

На рис. 4 приведены значения входного сопротивления  $Z_{вх}$  на подстанции. Входное сопротивление в диапазоне частот 200 — 15 000 гц изменяется в пределах от 23 до 53 ом, имея минимум при частоте ~2 500 гц. Среднее значение  $Z_{вх}$  в тональном диапазоне составляет 30 ом.

На рис. 5 приведены значения  $Z_{вх}$  на другой подстанции. Входное сопротивление  $Z_{вх}$  от 16 ом при частоте 200 гц поднимается до 37 ом при 7000 гц и затем падает до 29 ом при 15 000 гц. Характер кривой более пологий, а величина  $Z_{вх}$  меньше, чем на рис. 4.

Таким образом, расчетной величиной входного сопротивления  $Z_{вх}$  для линий электропередачи 10 кВ в тональном диапазоне можно принять 20—25 ом.

На рис. 6 приведено затухание канала в диапазоне частот от 300 до 15 000 гц. Затухание имеет максимум в диапазоне 800—2 500 гц, снижаясь в сторону как более низких, так и более высоких частот. Так, максимальное затухание на частоте 2 500 гц равно 2,23 неп, при частоте 300 гц — 1,355 неп, а при частоте 15 000 гц — 1,145 неп.

Это показывает возможность использования предлагаемого канала как в тональном, так и в подтональном и надтональном диапазонах.

Представляет значительный интерес исследовать показатели предлагаемого канала для кабельных линий. Предварительные опыты были проведены в городских кабельных сетях, где суммарная протяженность кабельных линий со-

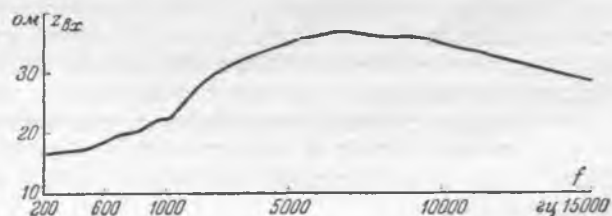


Рис. 5.

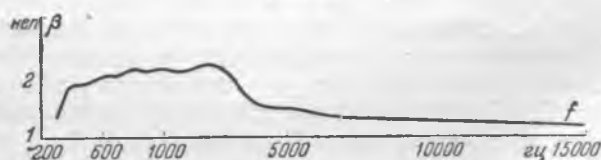


Рис. 6.

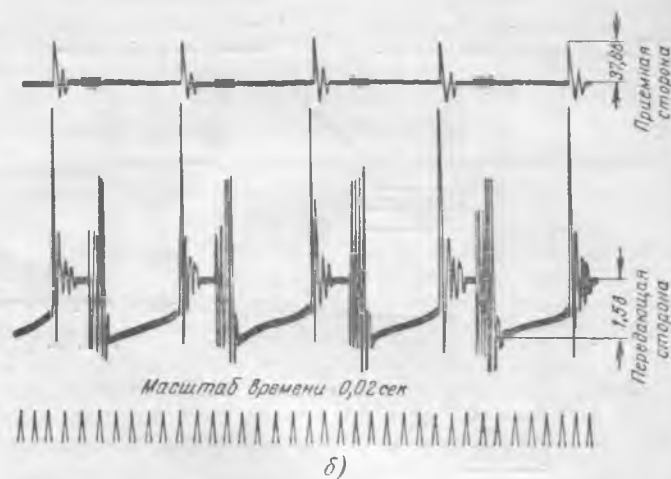
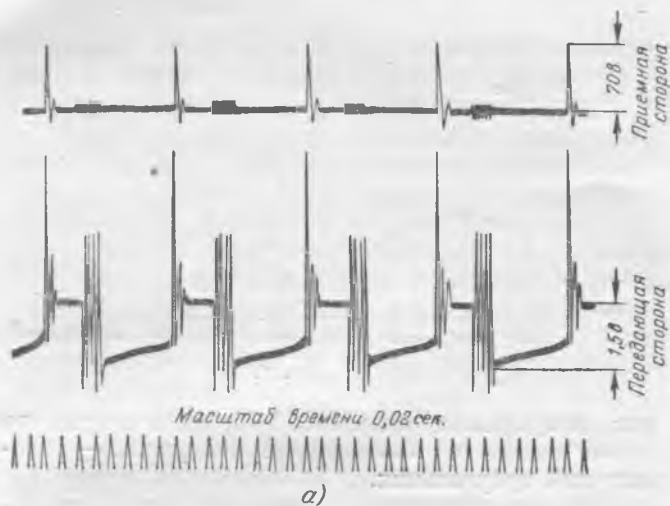


Рис. 7.

ставляла около 60 км. Телефонная передача при расстоянии между подстанциями 7 км была слышна, однако, с несколько худшим качеством, чем на воздушных линиях. Сигналы телемеханики от пульспары с частотой 8 гц, напряжением 1,5 в отчетливо принимались на приемное реле.

Наиболее серьезным вопросом при всякой связи по линиям электропередачи является высокий уровень помех. В предлагаемом канале этот вопрос еще более осложняется близостью частоты промышленного тока к применяемым частотам связи.

Основной помехой связи является наличие фона переменного тока частотой 50 гц и высших гармонических на зажимах разомкнутого треугольника. Величина напряжения небаланса в опытах составляла от 0,1 до 2 в.

Уровень помех делает совершенно необходимым наличие хорошего фильтра низких частот. Поэтому на введенных в эксплуатацию каналах был применен описанный в литературе избирательный фильтр  $RC$ , настроенный на резонансную частоту 50 гц.

Разработка в направлении создания качественных фильтров должна вестись и дальше, так как этим определяется не только качество передачи, но и возможность ее сохранения в режиме однофазного замыкания на землю.

В самом начале разработка предлагаемого канала велась для использования его в целях передачи сигналов телемеханики. Экспериментальные исследования показали ничтожное затухание канала для частот подтонального диапазона и импульсов постоянного тока как в воздушных, так и в кабельных сетях. В настоящее время вызов на двух из введенных в эксплуатацию объектах осуществляется импульсами постоянного тока от батареи 1,5 в.

Для выяснения причины столь малого затухания канала для импульсов постоянного тока снимались осциллограммы напряжения на вторичных обмотках трансформаторов напряжения НОМ-10 передающего и приемного концов (рис. 7). В первом опыте пульспара включалась прямо на обмотку трансформатора (рис. 7, а), во вторым — вторичная обмотка шунтировалась конденсатором 2 мкф (рис. 7, б). Из осциллограмм

видно, что максимальная величина импульса на приемном конце получается при размыкании контакта пульспары и доходит до 70 в при напряжении питающей батареи 1,5 в. При включении параллельно обмотке емкости амплитуда импульса снижается до 37,6 в и увеличивается длина периода импульса.

Из осциллограмм ясно, что усиление сигнала получается без всяких дополнительных устройств за счет коммутационного перенапряжения в момент размыкания цепи с индуктивностью.

Таким образом, для передачи сигналов телемеханики импульсами постоянного тока не требуется никаких дополнительных усилителей и оборудование получается предельно простым.

Приемо-передающее устройство для телефонной связи<sup>1</sup> (рис. 8) представляет собой двухкаскадный усилитель низкой частоты на лампах 6Ж7 и 6ПЗС с микрофонным входом и трансформаторным выходом, который согласовывает нагрузку лампы с входным сопротивлением линии.

Усилитель перевертывается на прием и передачу малогабаритным телефонным реле постоянного тока  $P_1$  посредством контакта микротелефонной трубки.

При приеме (клапан отпущен) на вход усилителя включается Т-образный фильтр  $RC$  на 50 гц, который запирает вход усилителя от напряжения промышленной частоты, пропуская токи звуковой частоты.

При передаче (клапан нажат) фильтр не работает. Потенциометр на входе микрофонного трансформатора позволяет регулировать громкость приема. При передаче он не участвует, а является только шунтом первичной обмотки.

Вызов осуществляется через кнопку  $K$ , которая при нажатии подает в измерительные трансформаторы напряжения импульс постоянного тока. В момент вызова на приемном конце микротелефонная трубка висит на рычаге. Контакты рычага разрывают анодную цепь усилителя, оставляя только накал лампы, и включают на вход поляризованное реле (то же и на передающей стороне).

<sup>1</sup> Поочередно односторонней, как в селекторной аппаратуре.

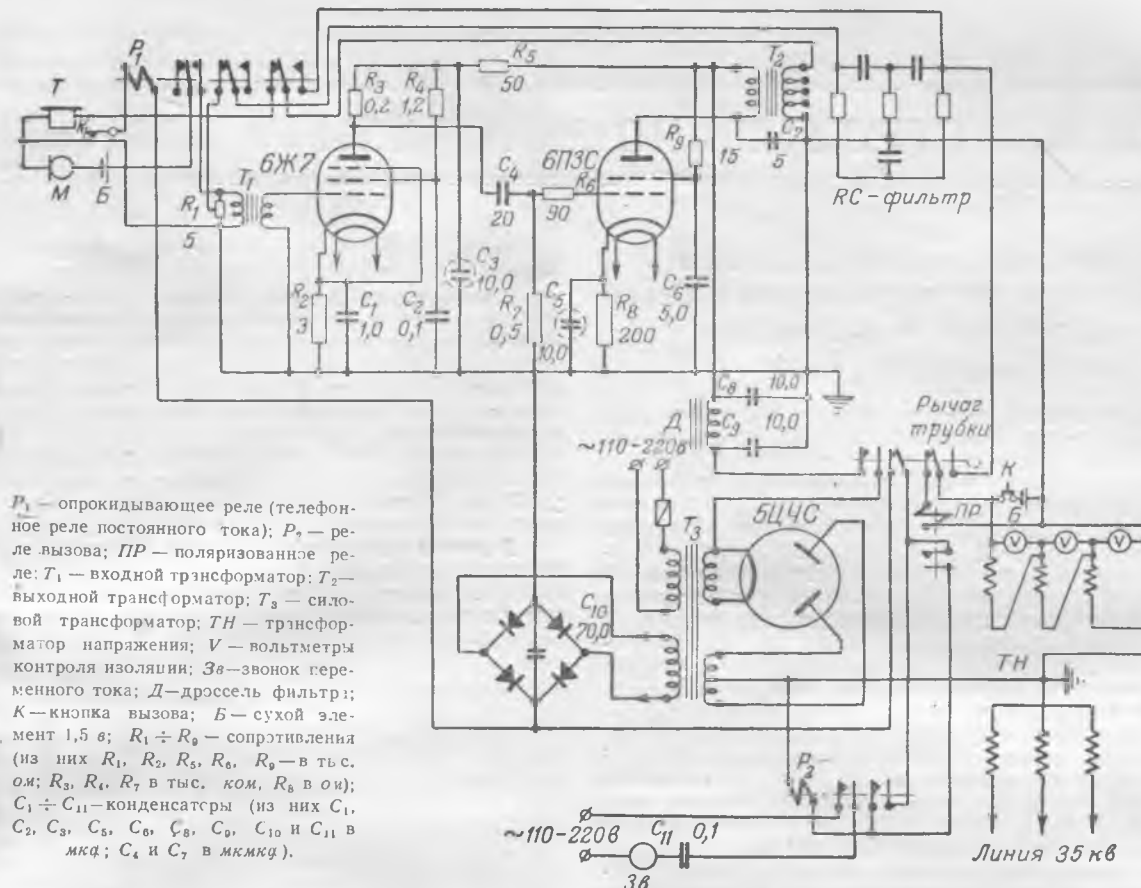


Рис. 8. Премо-передающее устройство для телефонной связи.

Поляризованное реле замыкает свой нормально открытый контакт и подает питание реле вызова  $P_2$ , последнее, самоблокируясь, дает питание звонку переменного тока через конденсатор от сети 110—220 в.

При снятии рычага звонок деблокируется, поляризованное реле отключается, на усилитель подается анодное напряжение и усилитель становится готовым к приему и передаче.

При вызове и повешенной трубке на передающей стороне срабатывают поляризованные реле, и реле вызова включает звонок, что служит контролем прохождения вызова. Телефонные реле питаются постоянным током 6 в, который дает селеновый выпрямитель, включенный по схеме моста в обмотку для питания накала ламп 6,3 в. Микрофон и вызов питаются каждый от одного сухого элемента 1,5 в типа ЗС-Л-30.

В последней модели питание вызова происходит от того же селенового выпрямителя через делитель напряжения (проволочное сопротивление с отводом).

Все детали заводского изготовления, самодельными же являются выходной трансформатор, намотанный на стали Ш-20, сечение сердечника 3,4 см<sup>2</sup>, первичная обмотка 2 900 витков провода ПЭ 0,18 мм, вторичная 360 витков с отпайками от 220, 270 и 320 витков провода ПЭ 0,6 мм.

Обмотка реле с 24 в перемотана на 6 в и имеет по 4 000 витков провода ПЭ 0,2 мм. Выпрями-

тель из селеновых шайб диаметром 25 мм по одной в плече. Микрофонный трансформатор — реактивная катушка, 2 500/3 000 витков провода ПЭ 0,2 мм, — помещен в стальной экран со стенками толщиной 3 мм. Силовой трансформатор типа ЭЛС-2.

Остальные детали и их величины указаны на рис. 8.

Конструкция аппарата консольного типа: на одном шасси 170×140×50 мм смонтирован выпрямитель, на другом таком же усилитель с элементами вызова и рычагом.

Премо-передающее устройство помещено в стальной ящике 175×160×340 мм, в верхней половине усилитель, внизу выпрямитель. Наружу выходит рычаг трубки, шлиц регулятора громкости, кнопка вызова и четырехштырьковая панелька для включения микрофонной трубки. Усилитель может быть как настольным, так и стенным.

## Выводы

1. Эксплуатация опытных каналов связи показала их удовлетворительную работу как по качеству, так и по надежности аппаратуры.

2. Описанный способ выполнения каналов связи и телемеханики сетей с малыми токами замыкания на землю требует его дальнейшего изучения, а соответствующая аппаратура — усовершенствования.

# ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ

## Из опыта строительства кабельных и трубопроводных туннелей и каналов из сборного бетона

На строительстве грес предстояло выполнить 1 659 пог. м наружных проходных туннелей и 1 172 пог. м наружных каналов для кабелей и трубопроводов.

К числу проходных туннелей относились: кабельные туннели на открытую подстанцию сечением  $2 \times 1,6$  м протяжением 186 пог. м; кабельный туннель на береговую насосную сечением  $2,0 \times 1,2$  м, длиной 166 пог. м; кабельные туннели к сооружаемому отдельно зданию дымососной сечением  $2 \times 1,2$  м, длиной 70 пог. м; кабельный туннель к дробильному корпусу длиной 70 пог. м, сечением  $2 \times 1,2$  пог. м, а также трубопроводные туннели для паро-мазутопроводов от главного корпуса к химической водоочистке и к другим объектам сечением  $1,2 \times 1,5$  м;  $1,8 \times 2,0$  м и  $1,5 \times 2,0$  м.

К числу наружных каналов относились каналы открытой подстанции глубиной от 0,3 до 1,2 м и шириной от 0,6 до 1,2 м общим протяжением 483 м; кабельные каналы к химической водоочистке и к служебному корпусу сечением  $0,6 \times 0,7$  м, а также канал паро-мазутопроводов к мазутному хозяйству сечением  $0,6 \times 0,7$  м.

По первоначальному проекту все перечисленные туннели и каналы намечалось выполнить в монолитном железобетоне, но в целях ускорения работ этот проект был изменен, и туннели и каналы были выполнены из сборного железобетона.

При этом была принята конструкция сборных блоков проходных туннелей, изображенная на рис. 1. Блоки были запроектированы шести размеров:  $1,2 \times 1,5$  м;  $1,5 \times 2,0$  м;  $1,75 \times 2,1$  м;  $1,6 \times 2,0$  м;  $1,2 \times 2,0$  м и  $1,5 \times 2,1$  м. Длина

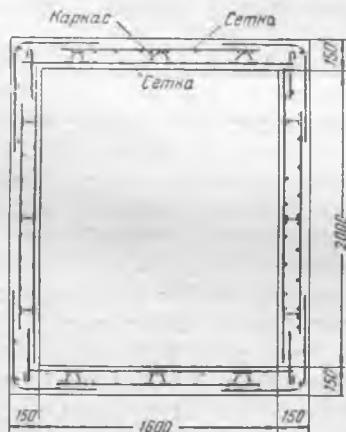


Рис. 1.

каждого из блоков была установлена в 1 м. Для удобства транспортировки в верхней части блоков было предусмотрено по 4 проушины из арматурного железа диаметром 16 мм (рис. 2).

Для стыковки блоков между собой на их торцевых стенах было предусмотрено по 4 выпуска из арматурного железа диаметром  $20 \pm 16$  мм. При установке блоков между ними оставлялся зазор шириной от 40 до 100 мм. Выпуски арматуры сваривались между собой электросваркой, а зазор заполнялся раствором 1:2, приготовленным на цементе марок 300 или 400.

Ввиду большого количества принятых типов блоков проходных туннелей для их изготовления вместо инвентарной стальной опалубки была применена инвентарная деревянная опалубка, кратность оборачивания которой при

применении обмазки ее эмульсией (смесью глины и мела) достигала 10—15.

Бетонирование блоков производилось в большинстве случаев в летних условиях на открытой площадке комбината подсобных предприятий с применением глубинных вибраторов. Бетон для блоков применялся марки 140 на щебне крупностью до 25 мм. Часть блоков была изготовлена в зимних условиях с применением электропрогрева и пропаривания.

При изготовлении первых партий блоков их геометрические размеры были выдержаны с отклонениями до  $\pm 20$  мм. В дальнейшем за счет создания более жестких конструкций опалубки удалось достигнуть допуска  $\pm 10$  мм.

В летних условиях распалубка блоков производилась на третьи сутки. Для крепления к установленным блокам кабельных конструкций по внутренним вертикальным стенкам блоков закладывались выпускные полосы — по 2 на

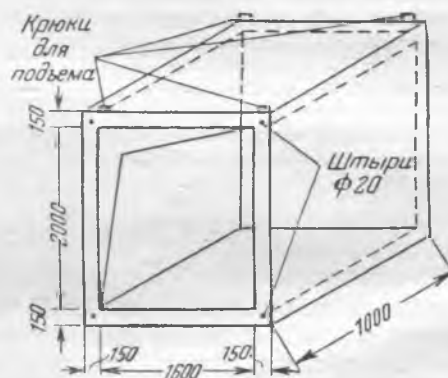


Рис. 2.

каждую внутреннюю боковую вертикальную сторону блока. К этим полосам в дальнейшем при монтаже приваривались конструкции для кабеля. В трубопроводных туннелях оказалось удобным закладывать стойки для крепления трубопроводов в стыки между блоками.

Доставка блоков туннелей к месту установки производилась на автомашинах, а в отдельных случаях, когда трассы туннелей располагались вблизи от железнодорожных путей, — на железнодорожных платформах.

Вес одного блока размером  $1,5 \times 2,0$  м составляет 2,8 т, размером  $1,2 \times 2,0$  м — 2,4 т и размером  $1,2 \times 2,0$  м — 2 т. Погрузка блоков на автомашины на месте изготовления производилась автопогрузчиком грузоподъемностью 5 т.

У места установки блоки выгружались с автомашин непосредственно в траншею (рис. 3 и 4) или на бровку траншеи. Выгрузка производилась автокранами или же с помощью гусеничных кранов (рис. 5). Автокраны, имеющие грузоподъемность 3 т только на коротком вылете, оказались возможным использовать лишь для установки блоков размером  $1,5 \times 1,2$  м — весом 2 т.

Блоки устанавливались в траншею на слой бетонной подготовки из бетона марки 90 толщиной 200 мм (рис. 3).

Ввиду наличия некоторой разницы в геометрических размерах блоков в пределах вышеприведенных допусков перед установкой блоков производились их сортировка и подготовка. При стыковке блоков иногда подкладывались стальные подкладки с последующей подливкой раствора. После взаимной выверки групп блоков в количестве 10—20 шт. производилась сварка стержней арматуры по торцам соседних блоков и заделка стыков раствором. При заделке стыков применялась деревянная опалубка, что следует признать неудачным. Целесообразнее для заделки стыков применить переставную стальную опалубку.





Рис. 3.

При сооружении кабельных и трубопроводных туннелей из сборных железобетонных блоков отдельные небольшие участки туннелей выполнялись в монолите. К таким участкам относятся ниши для компенсаторов трубопроводов, узлы пересечений туннелей между собой и с кабельными и трубопроводными каналами, места выходов туннелей из зданий и т. п.

После распалубки стыков блоков производилась затирка отдельных мест с внутренней и наружной поверхности стыков. В сухих грунтах после заделки стыков пере-



Рис. 4.

крытия туннелей покрывались слоем битумной обмазки, затем слоем пергамина и поверх пергамин слоем мягкой глины толщиной 100 мм. В сырых грунтах, помимо этого, производилось покрытие боковых стен слоем битумной обмазки.

При двухсменной работе в пределах одного туннеля за сутки производилась установка до 40 блоков. Цикл работ по установке блоков, заделке стыков и гидроизоляции на каждом из участков туннелей составлял 2—3 суток.

Уклоны внутри туннелей обеспечивались последующей укладкой выравнивающего слоя тощего бетона или раствора толщиной до 200 мм.

Работы по сооружению вышеперечисленных туннелей грэс были выполнены, включая земляные работы, в летних условиях за три месяца.

При разработке конструкции сборных каналов было принято решение, в соответствии с которым боковые стенки каналов выполнялись из Т-образных железобетонных блоков, устанавливаемых на бетонную подготовку, параллельно с зазором шириной 200—400 мм (рис. 6). Зазор заполнялся гравием, через который осуществляется дренаж каналов. Сверху каналы перекрывались сборными железобетонными плитами.

Т-образные блоки (рис. 7) для каналов изготавливались в инвентарной деревянной опалубке с применением глубинных вибраторов и перевозились к месту установки на автомашинах. Погрузка блоков на автомашины, раз-



Рис. 5.

грузки и установка в траншеи производились с помощью автокранов грузоподъемностью 3 т. Вес одного Т-образного блока достигал 300 кг.

Стыки блоков заделывались на цементном растворе 1:2. Из монолитного железобетона выполнялись узлы пересечений каналов между собой и с автогужевыми дорогами.

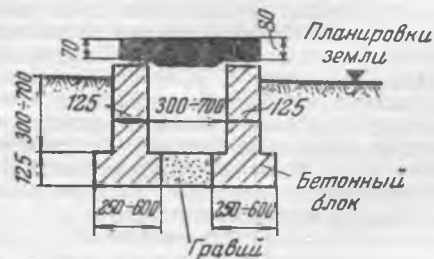


Рис. 6.

Изготовление Т-образных блоков оказалось достаточно трудоемким. Поэтому в дальнейшем конструкция сборных каналов была изменена (рис. 8). Боковые стенки каналов изготавливались в виде плоских плит. Для придания устойчивости между боковыми плитами, в местах устройства стыков укладывались распорные плиты, а с наружной стороны бетонный валик. Распорные плиты укладывались по дренажному слою гравия или щебня. Стыки плит заделывались на цементном растворе.



Рис. 7.



Инж. Н. Я. Турчин

Гнутые трубы производятся при помощи электролебедки грузоподъемностью 5 т через трехроликовый полиспаст, закрепленный к якорю, и отводный блок. Примерные усилия приведены в таблице.

$D_n$ трубы, мм	Толщина стенки трубы $S$ , мм	Усилие, кг, при расстоянии между опорами				
		3 м	3,8 м	4,5 м	5,3 м	6 м
273	10	—	14 800	13 200	12 100	10 450
219	8	12 800	12 050	11 432	10 000	9 100
159	5	8 300	7 910	7 220	6 755	—

Экономия в трудозатратах при гнутье труб указанных размеров в холодном состоянии по сравнению с гнутьем труб в горячем состоянии составляет 20%. Кроме того, гнутье труб в холодном состоянии могут производить менее квалифицированные рабочие (вместо рабочих VII разряда — I, V — 2, IV — 1 и III — 1 работу выполняют рабочие VI разряда — I, IV — 2 и III — 2) и отпадает необходимость в расходе топлива.

При помощи описанного приспособления были согнуты трубы с наружным диаметром 146 мм — 18 колен; 159 мм — 28 колен; 219 мм — 34 колена и 273 мм — 19 колен.

Из согнутых колен с наружной растягивающейся и внутренней сжимающейся сторон было вырезано несколько образцов, результаты лабораторных испытаний которых не показали отклонений структурного строения металла и его прочности от допускаемых.

В. З.

## Устранение примерзаний сыпучих и других грунтов к металлическим стенкам кузовов автомашин<sup>1</sup>

На строительстве значительные объемы грунта транспортируются при помощи автосамосвалов. Поэтому повышение использования автосамосвалов является одним из важных вопросов для строительных организаций и особенно в зимний период работ, когда при низких температурах грунт не только примерзает к стенкам и днищу кузова машины, но и смерзается сам, вызывая необходимость применения дополнительного ручного труда и излишний простой машин.

Для устранения этого многие строители прибегают к различным мерам, в том числе: к посыпке в кузов самосвала перед загрузкой опилок, сухого песка, поваренной соли. Однако эти мероприятия, помимо того, что не гарантируют от примерзания грунта, трудоемки, дороги и требуют много времени для подготовки кузова автомашины к каждому очередному рейсу. Некоторые строители применяли специальные устройства для обогрева кузовов выхлопными газами. Но это снижает мощность двигателя, приводит к увеличению расхода горючего.

Авторы поставили перед собой задачу найти более рациональный способ разгрузки грунта из самосвала при низких температурах, который гарантировал бы от примерзания грунта, был экономичен, прост и доступен любой стройке в производственных условиях.

В опытах были использованы различные материалы, в том числе:

существующие пластики (органического и неорганического происхождения), придающие металлу гладкую поверхность;

консистентные смазки, различные жировые эмульсии, смеси масел;

этилен-гликоль, спирт, глицерин, твердые антифризы, хлориды; поваренная соль, хлористый цинк, хлористый кальций, хлористый барий и др.

Наиболее эффективным оказалось применение хлористого кальция. Авторы подобрали такую концентрацию раствора хлористого кальция, при которой он при низких температурах быстро застывает в твердый, хорошо пристающий к металлу покров.

Влага грунта, реагируя с поверхностным слоем такого покрова на стенках и днищах кузова автосамосвала, постепенно растворяет его, образуя при этом незамерзающий слой на границе между покровом и нижним слоем грунта. Этот незамерзающий слой и способствует лучшему скольжению грунта по наклонной плоскости.

Приготовление раствора заключается в следующем: на 1—1,3 части воды принималось 10 частей хлористого кальция по весу. Хлористый кальций разбивается на куски, заливается водой и нагревается до полного растворения. Процесс растворения занимает 50—60 мин. Для ускорения растворения хлористый кальций можно залить водой заранее и оставить смесь на несколько часов. Чем мельче раздроблен хлористый кальций, тем быстрее идет процесс его растворения.

Рабочий раствор можно изготовить впрок и в случае необходимости применять его, предварительно подогрев без добавки воды. Подготовленный указанным выше способом раствор подогревается до 90—100°C и затем наносится на холодную или теплую поверхность кузова волосистой кистью, поливкой или распылителем слоем толщиной 1—2 мм, который затвердевает в течение 3—5 мин., образуя прочный, хорошо сцепляющийся с металлом покров.

Расход раствора для обмазки кузова автосамосвала типов ЗИС-585 и МАЗ-205 составляет 5—7 л; время, затрачиваемое на обмазку, — 5÷7 мин.

Защитное действие обмазки при толщине слоя 1—2 мм и при перевозке песчаного грунта влажностью 10—15% обеспечивает его непримерзаемость к кузову на 50—60 рейсов при транспортировке на расстояние до 2 км.

Проведенные опыты показали, что при температуре 12÷15°C ниже нуля на разгрузку автомашины, кузов которой был покрыт раствором хлористого кальция, затрачивается на один рейс 1 мин., тогда как на разгрузку машины, не имеющей обмазки кузова и работающей в аналогичных условиях, затрачивается на один рейс до 14,5 мин. При температуре —5°C на разгрузку автомашины с кузовом, обмазанным раствором, затрачивалось до 1 мин., а без обмазки кузова — до 9 мин.

При необходимости удлинения службы обмазки слой ее необходимо делать толщиной 4—5 мм, но в этом случае, чтобы предохранить его от скалывания, следует стенки и днище кузова покрыть предварительно смесью битума с древесной смолой или с отработанным минеральным маслом в следующих соотношениях: битума марки Ш — 40%, древесной смолы — 60% или битума марки Ш — 80%, отработанного минерального масла — 20%. Указанная смесь наносится на кузов слоем толщиной 1—2 мм.

Битумо-масляная прокладка между металлом и противозамерзающим покрытием, обладая пластичностью и хорошим сцеплением с раствором, препятствует откалыванию его от поверхности металла.

Опыт показал, что автосамосвал, кузов которого предварительно был покрыт битумной подкладкой толщиной 2—3 мм и затем слоем противозамерзающего раствора толщиной 4—5 мм, перевозил сырой песчаный грунт в течение 7 смен, сделав 172 рейса, и покрытие его оставалось работоспособным. Никакого откалывания противозамерзающего раствора не наблюдалось.

После полной сработаемости покрова металл кузова вследствие его взаимодействия с концентрированным раствором хлористого кальция приобретает устойчивость против примерзания грунта и, как показал опыт, автосамосвал работает в течение 4—8 час. без обмазки.

Покрытие кузова автомашины раствором можно производить не только в условиях гаража, но и в местах непосредственной работы самосвалов при отрицательных температурах, что значительно упрощает его применение.

Инж. Б. И. Данилович  
и инж. Р. З. Файнциммер

<sup>1</sup> По материалам УКС МЭСЭП.



## Перевод на жидкое шлакоудаление котлов, работающих на АШ

Однотрубные котлы паропроизводительностью 60/75 т/час с давлением и температурой пара 30 атм и 400°С оборудованы каждым тремя горелками типа Орггрес, расположенными с фронта котла треугольником с вершиной, обращенной кверху. Объем топki равен 360 м³.

Стены топki полностью экранированы, за исключением фронтальной стены в районе горелок на высоту 4 м от края холодной воронки. Диаметр труб экранов — 83 × 3,5 мм, шаг боковых экранов 250 мм, заднего 90 мм и потолочного — 170 мм.

В топках котлов сжигается антрацитовый штыб с зольностью 15—16%, влажностью 5—6% и теплотворной способностью 6 200—6 300 ккал/кг. Выход летучих на горючую массу — 4%.

На боковых стенках топki установлены зажигательные пояса высотой 4 м.

Задний экран вследствие трудности установки на нем зажигательного пояса (шаг экрана почти равен диаметру трубы) и экраны холодной воронки оставались открытыми.

Потеря тепла с механическим недожогом составляла 7—8% и возрастала по мере выгорания зажигательных поясов.

В мае 1953 г. на двух котлоагрегатах по опыту Зуевской грес трубы скатов холодной воронки были закрыты шамотным кирпичом (рис. 1). В первый период после утепления холодной воронки к. п. д. котельных агрегатов повысился на 1—1,5% за счет снижения содержания горючих в уносе. Однако после двух-трех недель эксплуатации шамотный кирпич на скатах холодной воронки выгорал и утепления воронки отпадали. Кроме того, появились затруднения в шлакоудалении.

Образовавшийся на скатах холодной воронки вязкий тестообразный шлак сползал в шлаковый комод и оттуда с большим трудом удалялся зольщиками. Труд зольщика стал значительно сложнее. На одном из котлов щель воронки затянуло вязким шлаком, что привело к необходимости остановки для расшлаковки котла. В связи с этим на четырех котлах дополнительно был выполнен в нижней части воронки под скаткой размером 800 × 600 мм (рис. 2).

Несущие балки пода укладывались на существующий каркас. Шаг экрана холодной воронки позволил пропустить балки между трубами. Под топку выкладывался на несущей конструкции из шамотного кирпича. Летка никаких специальных охлаждающих устройств не имеет. Высота зажигательных поясов на боковых стенках была уменьшена на 1—1,5 м. Шлаковый комод остался почти без изменений.

Было обращено внимание на создание плотности шлаковых затворов для возможности заливки нижней части комода водой для грануляции шлака.

Все эти простые мероприятия были осуществлены в период текущего ремонта котла в течение трех дней. Они позволили повысить температуру газов в нижней части топочной камеры и создать условия для стекания шлака в жидком виде. Никаких затруднений в удалении шлака через летку не было. Период переоборудования котлов совпал с периодом несения станцией пиково-резервных нагрузок и опыт эксплуатации котлов в течение длительного времени показал надежность удаления шлака в жидком виде в широком диапазоне нагрузок.

На верхней части переднего ската холодной воронки, как и прежде, шамотный кирпич выгорает, однако наличие горячего пода создает условия для поддержания температуры, необходимой для удаления шлака в жидком виде.

Для стабилизации температур в нижней части топki и уменьшения расхода шамотного кирпича станцией намечено выполнить экран переднего ската воронки из труб с шипами.

После месяца непрерывной работы один из котлов был остановлен. При осмотре топki обнаружено, что шамотный пояс в верхней части переднего ската воронки выгорел. В связи с тем, что до остановки котел работал хорошо, было решено выгоревший кирпич новым не заменять. В дальнейшем котел работал надежно.

Жидкий шлак, попадая в ванну, гранулируется на мелкие пористые куски размером 3—5 мм, которые легко удаляются из комода; спуск гранулированного шлака производится через 2,5—3 часа.

Котел устойчиво работает при нагрузках 45—50 т/час без затягивания летки шлаком. На этих котлах совершенно ликвидирован тяжелый труд рабочих, занятых обиванием шлака. При снижении нагрузок происходит частичное затягивание углов летки шлаком, который затем расплавляется при повышении нагрузки. Случаев полного затягивания летки шлаком не было.

Сепарация пыли при нормальной тонкости помола отсутствует. При повышении тонны помола или уменьшении скорости аэромеси при уменьшении давления в коробе первичного воздуха наблюдается сепарация пыли.

Количество золы топлива, выделяемой в топке в жидком виде, зависит от нагрузки котельного агрегата и возрастает от 20 до 40—50% при изменении нагрузки котельного агрегата от 50 до 70 т/час.

Каждый котельный агрегат, переоборудованный под жидкое шлакоудаление, был тщательно испытан эксплуатационным отделом станции при различных нагрузках и при различных избытках воздуха в топке.

При новом режиме работы котельных агрегатов получено значительное улучшение выжигания топлива и снижения потерь тепла с горючими в уносах.

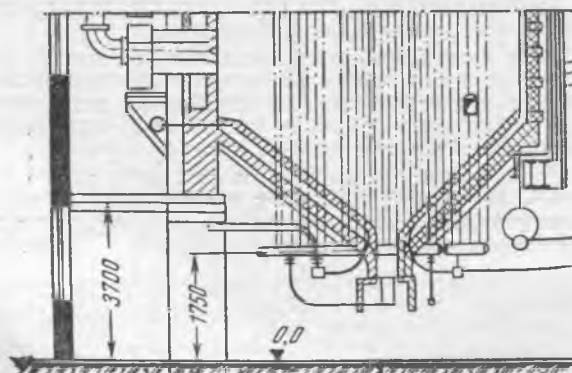


Рис. 1. Вид холодной воронки после утепления по опыту Зуевской грес.

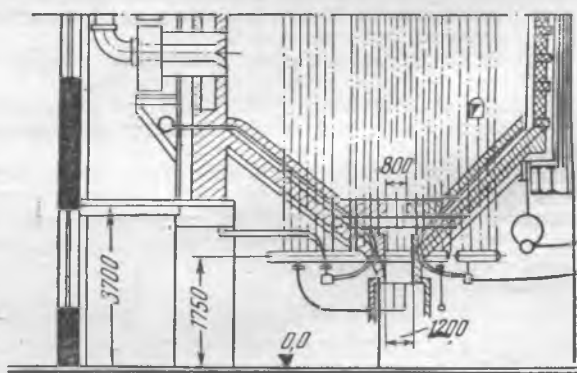


Рис. 2. Вид пода воронки после перевода котла на жидкое шлакоудаление.



Перемещение зоны высоких температур в нижнюю часть топки и выпадение значительных количеств золы в топке создали благоприятные условия для уменьшения шлакования кипяточного пучка и хвостовых поверхностей нагрева и снижения потерь с уходящими газами.

Расширилась также область устойчивых регулируемых нагрузок котельных агрегатов, что имеет существенное значение для станции, значительное время года регулирующей частоту в системе.

С переходом на жидкое шлакоудаление к. п. д. котельных агрегатов значительно повысился. Сравнение к. п. д. котлов на сухом и жидком шлакоудалении, в зависимости от их нагрузки, показано на рис. 3. Полученный к. п. д. — 86,5% — является большим достижением для этих котлов, проектный к. п. д. которых равен 80%.

Испытания показали сильную зависимость содержания горючих в уносе от избытка воздуха в топке. При умень-

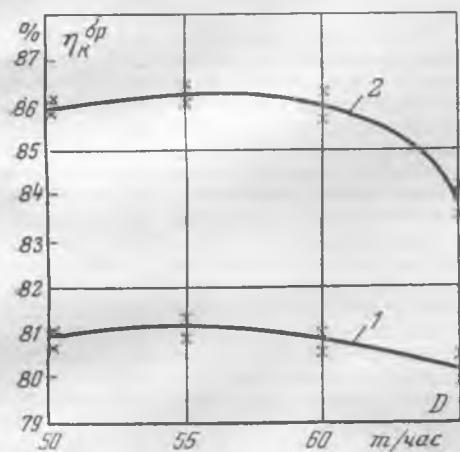


Рис. 3. Сравнение к. п. д. котельного агрегата до и после перевода на жидкое шлакоудаление.

1 — к. п. д. котельных агрегатов при сухом шлакоудалении; 2 — то же при жидком шлакоудалении.

шению избытка воздуха ниже оптимального значения потеря с недожогом резко возрастает.

Один из переоборудованных котлов после 2,5 мес. работы сохраняет хороший к. п. д., в то время как котлы с сухим шлакоудалением постепенно, по мере выгорания зажигательных поясов, ухудшают свою экономичность. Решающим фактором в данном случае является наличие горячего пода, создающего условия, необходимые для получения высоких температур в зоне воспламенения пыли.

Резко снизилось содержание горючих в шлаках. Если на котлах с сухим шлакоудалением содержание горючих в шлаке составляет 20—25%, то на котлах с жидким шлакоудалением — 4—5%.

Инж. Ш. Ш. Кантор и инж. П. Х. Чехунов

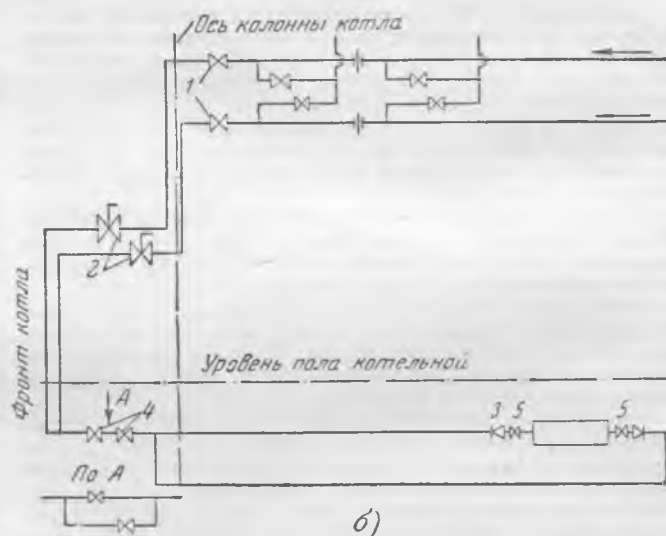
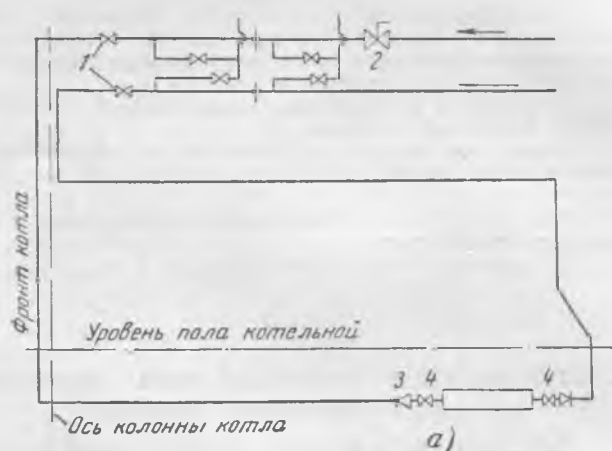


Рис. 1. Схема питательного трубопровода.

а — до реконструкции; б — после реконструкции.

После реконструкции вентили 1 (см. рис. 1) с дистанционным приводом на отметку водосмотра были оставлены на месте для возможности регулировки уровня при проверке работы сниженных указателей уровня; вместо вентилей 4 с дистанционными приводами у коллектора водяного экономайзера установлены вентили 5 с местным приводом, а вентили 4 с дистанционным приводом перенесены на фронт котла. Регулирующий клапан 2 перенесен на фронт котла для удобства обслуживания; обратные клапаны 3 оставлены на прежнем месте.

Для контроля за уровнем воды были установлены два сниженных указателя уровня, а также уровнемер.

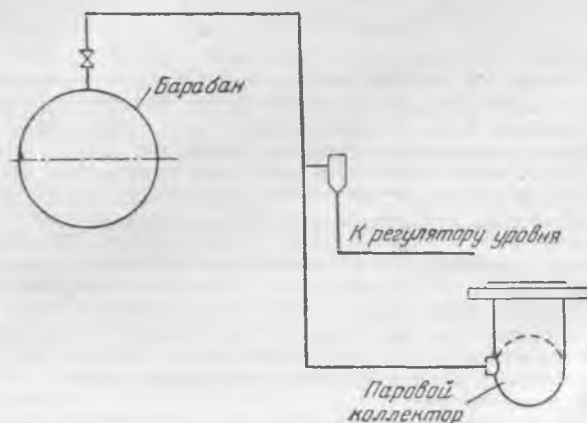


Рис. 2. Схема забора импульса по расходу.

## Работа котла типа 75-39-Ф без водосмотра

Для работы без водосмотра на котле типа ЦКТИ 75-39-Ф были реконструированы трубопроводы в пределах котла с установкой на отметке машиниста двух регуляторов питания типа АРП-IV системы Трубкина вместо одного двухимпульсного регулятора питания, установленного до реконструкции. От двухимпульсного регулятора отказались ввиду отсутствия у него дистанционного управления. Схема питательного трубопровода до и после реконструкции показана на рис. 1.

Так как трубка насыщенного пара регулятора создает связь между барабаном и главным паровым коллектором, то для уменьшения солесодержания насыщенного пара, перетекающего в главный паровой коллектор, эта трубка установлена в месте выхода пара из барабана (рис. 2).

В золотнике регулирующего клапана окна были уменьшены с 30 до 15 мм, что привело к уменьшению пропускной способности клапана до 85—95 т/час, т. е. в 2 раза.

При установке импульсных трубок сниженных указателей уровня в барабане был предусмотрен отбойный щиток для уменьшения колебания жидкости указателя уровня при резких колебаниях воды в барабане.

Такие щитки установлены также в местах заборных трубок импульса по уровню.

После реконструкции питательного трубопровода машинист котла имеет возможность быстро регулировать уровень воды в барабане при выходе из строя автоматов питания, при регулировке последних, в период пуска и остановки котла и т. д.

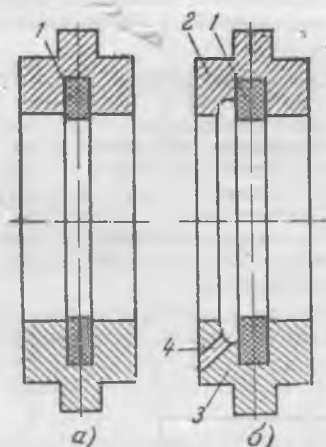
Инж. М. Л. Табориский

## Устранение попадания масла в возбудитель путем реконструкции уплотнения

На одной электростанции у турбогенератора фирмы «Эллиот» с начала пуска его в эксплуатацию постоянно попадало масло в возбудитель через уплотнение переднего подшипника возбудителя (считая со стороны муфты сцепления). Масло заливало обмотки возбудителя, коллектор и щетки. Приходилось часто останавливать турбогенератор для чистки возбудителя и устранения течи масла. Через два-три дня после пуска масло снова начинало проникать в возбудитель.

Ротор возбудителя покоится на двух опорных подшипниках, вкладыши которых залиты баббитом. Скорость вращения ротора возбудителя 3 000 об/мин. Вал возбудителя соединен с валом генератора посредством гибкой эластичной муфты. Перед задним подшипником возбудителя на валу сидит крыльчатка вентилятора, обеспечивающая охлаждение обмоток возбудителя. Вход всасываемого вентилятором воздуха со стороны переднего подшипника возбудителя, выход — со стороны заднего.

Уплотнения подшипников (а на рисунке) представляют собой фетровые кольца 1, заложенные в выточки бронзовых вкладышей. Вкладыши уплотнения и вкладыши подшипников заключены в один общий корпус. При работе фетровые уплотнения прилегают к шейкам вала, препятствуя прохождению масла из подшипников в корпус воз-



будителя. Из заднего подшипника масло в возбудитель никогда не попадало, несмотря на то, что фетр зачастую оказывался более разработанным, чем у уплотнения переднего подшипника. Причина попадания масла в возбудитель через уплотнение переднего подшипника заключалась в следующем: вентилятор, просасывая воздух через возбудитель, создает разрежение перед передним подшипником и небольшой напор перед задним. Вследствие этого разрежения масло подсасывается из подшипника и скапливается перед уплотнением. Не имея стока, оно просачивается через зазор между уплотнением и валом и разбрызгивается по обмоткам возбудителя. Течь масла усугубляется по мере разработки фетра. Обычно ремонты сводились к замене фетра 1, что давало первоначально некоторый эффект.

Для устранения этого дефекта автором было предложено следующее (б на рисунке).

Во вкладышах 2 и 3 уплотнения переднего подшипника была сделана кольцевая выточка глубиной 6 и шириной 5 мм со сквозным отверстием в нижнем вкладыше 3 для стока скапливающегося масла. По этому отверстию масло сливается в корпус подшипника и затем по сливному трубопроводу следует в масляный бак.

Годичный опыт эксплуатации показал, что осуществленное мероприятие вполне себя оправдало. Остановок турбогенератора по этой причине больше не было.

Инж. М. И. Лужнов

## Электромеханическое реле оборотов для гидроагрегатов

В одной энергосистеме при выполнении и эксплуатации автоматического управления гидроагрегатами имели место трудности с получением достаточно надежных реле оборотов для контроля скорости вращения. Изготавливаемые промышленностью реле оборотов типа РОУ-40 и УРОМ-7 имеют ряд недостатков. Реле типа РОУ-40 не оправдали себя в эксплуатации из-за некачественных редукторов и значительного разброса срабатывания контактов. Реле оборота типа УРОМ-7 сложно по конструкции и недостаточно надежно. Кроме того, изготовление реле оборотов указанных типов практически недоступно лабораториям или мастерским энергосистем.

Поэтому в 1951 г. в Центральной лаборатории энергосистемы авторами совместно с инж. Г. С. Погосьяном было предложено и выполнено описанное ниже электромеханическое реле оборотов. Реле предназначается для:

а) фиксации подсинхронной скорости вращения агрегата для самосинхронизации;

б) подачи импульса на остановку агрегата при разгонной скорости вращения;

в) включения тормозных устройств при достижении агрегатом в общем цикле автоматической остановки  $40 \div 50\%$  от номинальной скорости вращения;

г) деблокировки схемы при полной остановке агрегата. Указанное реле оборотов (рис. 1) состоит из двух элементов, собранных в одном кожухе на общей оси.

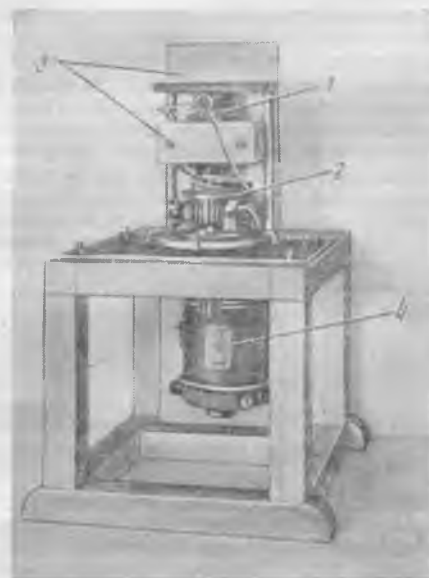


Рис. 1. Общий вид реле оборотов на испытательном стенде (со снятой крышкой).

1 — тахогенератор; 2 — короткозамкнутый коллектор; 3 — корпус реле; 4 — испытательный электродвигатель.

Первый элемент реле оборотов представляет собой синхронный генератор от авиаатахометра типа ТЭ-45, выпускаемого промышленностью, к которому подсоединены три реле напряжения серии ЭН-520, устанавливаемые на щите автоматики и имеющие различные уставки по напряжению (рис. 2).

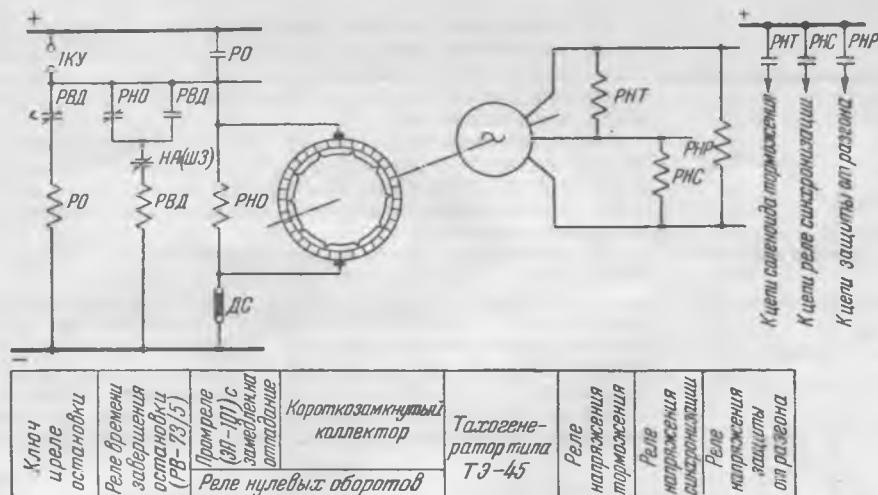


Рис. 2. Принципиальная схема реле оборотов.

Ротор синхронного тахогенератора представляет собой постоянный магнит с высокой коэрцитивной силой, выполненный в форме колокола. Статор имеет трехфазную обмотку и расположен внутри колокола. Благодаря встроеному редуктору с передачей 1:3 ротор вращается в 3 раза быстрее выходного вала тахогенератора. Напряжение статора прямо пропорционально скорости вращения ротора и при 500 об/мин составляет около 15 в (рис. 3). Реле оборотов может соединяться с валом агрегата непосредственно — без передачи, при номинальной скорости вращения агрегата (500 об/мин) и выше. При применении соответствующей передачи реле может быть использовано для агрегатов с любой номинальной скоростью вращения.

Уставки реле напряжения выбраны таким образом, чтобы срабатывание их соответствовало разгонной скорости вращения (130—140%), подсинхронной скорости (90—100%) и скорости вращения, при которой должен быть подан импульс на включение тормозных устройств (40—50%).

Вместо реле напряжения могут быть также использованы телефонные реле, включенные на выпрямленное напряжение тахогенератора, причем уставки телефонных реле в отличие от реле серии ЭН-520 должны регулироваться при помощи добавочных сопротивлений.

Обычные реле серии ЭН-520 для напряжения 7,5—30 в имеют значительное потребление, из-за чего снижается напряжение на тахогенераторе. Поэтому при применении этих реле обмотки их заменяются. Каждая катушка выполняется из 4000 витков провода ПЭ-0,2 и 70 витков провода ПЭМ-0,12 (манганин). Общее сопротивление одной катушки реле составляет 700—800 ом. При этом для тех же пределов срабатывания по напряжению потребление реле снижается примерно в 7—8 раз, не считая увеличения индуктивного сопротивления.

Второй элемент реле оборотов предназначен для фиксации остановки агрегата и состоит из коллектора от любой малой электромашинки постоянного тока (например, от автомобильной динамомашинки) с установленными по диаметру щетками. Пластины коллектора соединены между собой таким образом, что образуют замкнутые с противоположащими секторы (см. рис. 2). Таких замкнутых между собой секторов — 5 пар и, следовательно, десять раз за каждый оборот щетки оказываются замкнутыми. Длительность замкнутого состояния щеток зависит от скорости вращения агрегата.

Указанные щетки включены таким образом, что шунтируют катушку промежуточного реле нулевых оборотов серии ЭП-100 (включенного на напряжение 110 или 220 в), имеющего замедление на отпадание якоря 0,5—0,6 сек. В результате в течение одного оборота щетки десять раз шунтируют и десять раз дешунтируют промежуточное реле. Во время остановки агрегата пока скорость вращения снижается до 1% от номинальной нормально замкнутые контакты реле нулевых оборотов остаются разомкнутыми, так как при такой скорости вращения длительность шунтировки катушки меньше времени замедления реле. При дальнейшем снижении скорости вращения примерно до 0,8—0,5% длительность шунтировки катушки становится равной или большей времени замедления реле и оно успевает сработать, замыкая свои предварительно разомкнутые

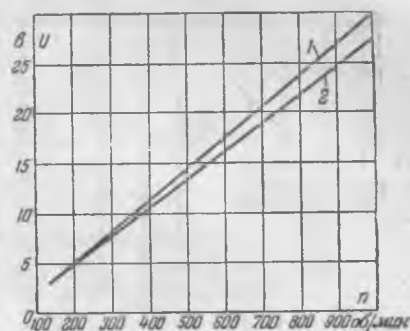


Рис. 3. Зависимость напряжения тахогенератора от скорости вращения.

1 — холостой ход; 2 — нагрузка в виде трех реле типа ЭН-520 с измененными обмоточными данными.

контакты, которые дают импульс на реле времени завершения останова.

Для предотвращения короткого замыкания между шинами постоянного тока во время шунтировки щетками катушки реле нулевых оборотов последовательно с катушкой включено сопротивление порядка 2000 ом. Замедление реле нулевых оборотов достигается при помощи медной пилы, насаженной на сердечник реле.

Реле оборотов описанной выше конструкции прошло лабораторные испытания в начале 1952 г. В процессе испытаний для выяснения изменения с течением времени напряжения на тахогенераторе последний был установлен на валу одного из гидрогенераторов, имеющего скорость вращения 500 об/мин, и вращался непрерывно в течение 6 мес. Регулярные измерения напряжения на тахогенераторе показали, что напряжение его практически не изменяется.

За период с октября 1952 г. по апрель 1953 г. реле оборотов было установлено в энергосистеме на двух вертикальных гидрогенераторах с номинальной скоростью вращения 500 об/мин, четырех горизонтальных гидрогенераторах с номинальной скоростью вращения 750 об/мин и четырех горизонтальных гидрогенераторах с номинальной скоростью вращения 600 об/мин. Из указанных десяти агрегатов на двух вертикальных применено реле оборотов с устройством нулевых оборотов. В остальных восьми случаях устройства нулевых оборотов не установлены из-за отсутствия необходимости деблокировки схемы останова.

В шести случаях применена схема с реле напряжения. В четырех случаях схема с телефонными реле, включенными на выпрямленное напряжение тахогенератора. За время эксплуатации установленных реле оборотов из общего количества 270 автоматических пусков и останова, произведенных на указанных десяти агрегатах, только в двух случаях произошел сбой автосамосинхронизации из-за неправильной работы телефонных реле, не сработавших при подсинхронной скорости.

При 62 автоматических остановах, произведенных на двух агрегатах с установленными устройствами нулевых оборотов, последние работали надежно и никаких сбоев по их вине не было.

Таким образом, описанное реле оборотов работает достаточно надежно и четко. Оно может быть легко изготовлено силами энергосистемы.

Инж. Ю. Е. Ходжамярян  
и инж. Л. М. Хуршудян

## О типовой схеме щита постоянного тока

Для обеспечения надежной работы любого оборудования, как известно, требуется производство периодических ремонтов и профилактических испытаний. Щит постоянного тока является весьма ответственным оборудованием для обеспечения надежной работы электростанции или подстанции и на него в полной мере распространяются эти требования.

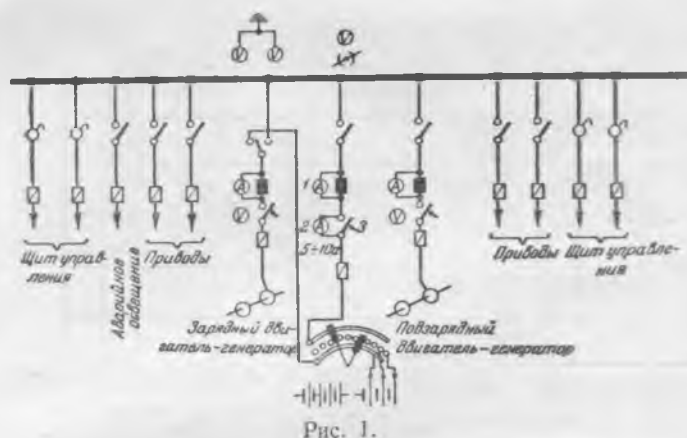


Рис. 1.

1) схема щита должна предусматривать возможность профилактических испытаний и вывода в ремонт с снятием напряжения с наибольшего количества приборов и аппаратов без нарушения питания цепей управления, защиты и сигнализации;

2) в зависимости от режима эксплуатации аккумуляторной батареи заряд-разряд или постоянный подзаряд должна быть обеспечена возможность непрерывного контроля в первом случае за током нагрузки, а во втором — за током подзаряда;

3) конструкция щита должна предусматривать возможность доступа ко всем его аппаратам и контактам.

Возможность вывода в ремонт со снятием напряжения с наибольшего количества аппаратов и приборов, как указано в первом условии, является особенно важным требованием, так как при производстве ремонта на панели, находящейся под напряжением, при значительной насыщенности ее аппаратурой и приборами, можно легко вызвать короткое замыкание. Для выявления наиболее удачной

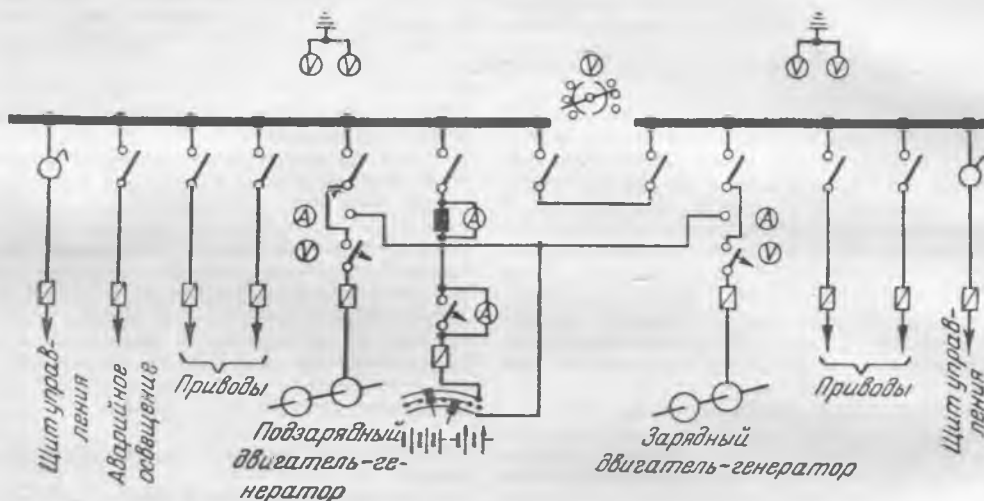


Рис. 2.

Однако при проектировании щитов постоянного тока часто не учитываются указанные условия и тем самым ставится в затруднительное положение персонал, обслуживающий эти щиты.

В настоящее время прочно внедряется испытание всех вторичных цепей повышенным напряжением переменного тока, однако цепи щитов постоянного тока вследствие неудачных схем не могут испытываться наравне со вторичными цепями.

Основными требованиями, предъявляемыми к щитам постоянного тока, являются следующие:

схемы, отвечающей требованиям эксплуатации, проанализируем существующие схемы щитов постоянного тока.

Приведенная на рис. 1 простейшая схема не удовлетворяет ни одному из указанных условий: шины, спуски к рубильникам и верхние губки находятся все время под напряжением; для измерения тока постоянной нагрузки при разряде батареи или тока подзаряда при работе в режиме постоянного подзаряда предусмотрен амперметр 2 со шкалой на  $5 \div 10$  а, нормально зашунтированный автоматом 3, который при измерении необходимо кратковременно отключать.

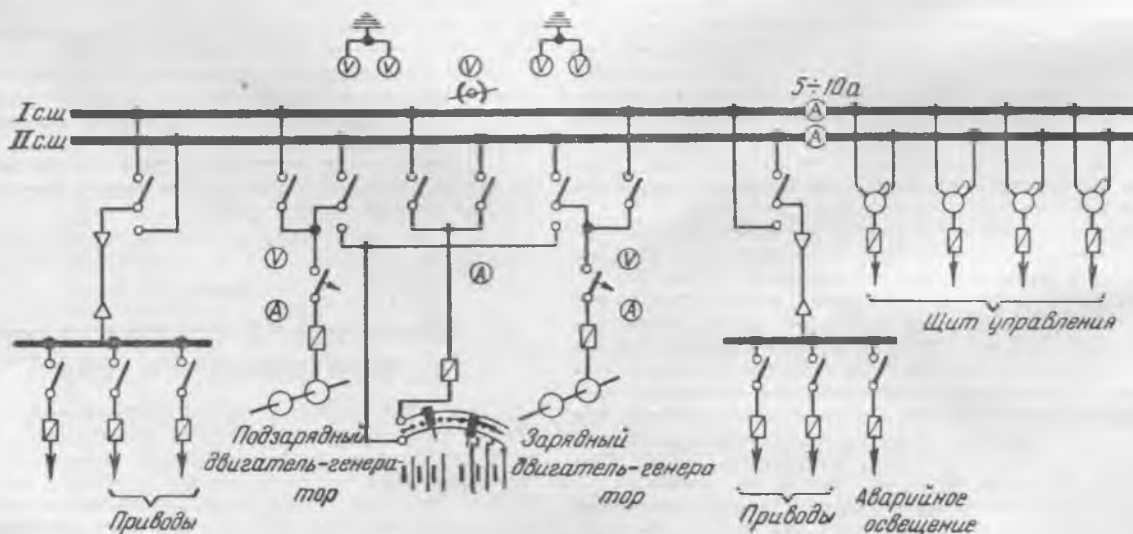


Рис. 3.



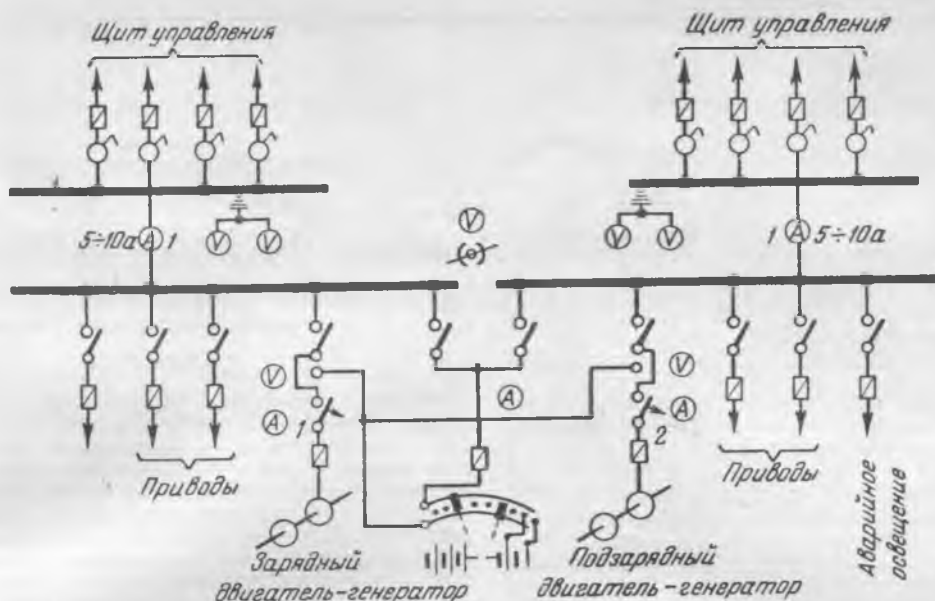


Рис. 4.

Наличие автомата в цепи разряда батареи понижает надежность схемы, так как при случайном отключении автомата и при включении в этот момент соленоидных приводов весь ток пройдет через амперметр с шунтом, рассчитанным на  $5 \div 10 \text{ а}$ , последние перегорят и питание объекта постоянным током прекратится. Недостатком этой схемы является также то, что зарядный генератор не резервируется подзарядным генератором.

Схема, изображенная на рис. 2, является попыткой выправить недостатки предыдущей схемы секционированием сборных шин. Однако при фиксированном присоединении аккумуляторной батареи к одной секции для производства ремонта и испытаний этой секции потребуется, во-первых, отключение аккумуляторной батареи, во-вторых, питание управления, защиты и сигнализации от двигатель-генератора, подключенного к другой секции, что, конечно, снижает надежность работы. В данной схеме предусматривается возможность использования подзарядного генератора на случай выхода из строя зарядного. В остальной схеме обладает всеми недостатками, присущими первой схеме.

Схема с двумя системами сборных шин, приведенная на рис. 3, является дальнейшим шагом к улучшению, но обладает тем существенным недостатком, что одна система сборных шин находится всегда под напряжением, а это значит, что ни с одной панели не может быть полностью снято напряжение.

Схема, приведенная на рис. 4, отвечает всем требованиям эксплуатации, так как позволяет питать от батареи любую секцию и тем самым предоставляется возможность их поочередного вывода в ремонт и для производства профилактических испытаний без снижения надежности питания всех приемников постоянного тока. Непрерывное измерение тока постоянной нагрузки обеспечивается амперметрами на  $5 \div 10 \text{ а}$ , включенными между сборными шинами и шинками линий, питающих щиты управления, защиты и сигнализации

При эксплуатации аккумуляторной батареи в режиме заряд-разряд достаточно иметь показания амперметров  $1$ , а для определения тока подзаряда достаточно из показания амперметра  $2$  подзарядного генератора вычесть показания амперметров  $1$ , учитывающих постоянную нагрузку. Схема рис. 4 принята в качестве типовой для районных подстанций в одной из энергосистем

## Выводы

1. Предлагаемую схему щита постоянного тока с присоединением аккумуляторной батареи к двум секциям можно рекомендовать для широкого применения. В ряде случаев по этой схеме целесообразно реконструировать и действующие схемы щитов постоянного тока.
2. Необходимо ввести производство плановых ремонтов щитов постоянного тока, а также испытание их повышенным напряжением переменного тока, как это принято для цепей вторичной коммутации.

Инж. Б. М. Зецерсв

## ОТ РЕДАКЦИИ

Предложение автора о приключении аккумуляторной батареи к двум секциям шин постоянного тока может быть рекомендовано для применения на подстанциях средней мощности и электростанциях небольшой мощности (с агрегатами 12 тыс. квт и ниже), так как для электростанций средней и большой мощности и для крупных подстанций применяются более совершенные схемы, обеспечивающие удобства в эксплуатации и большую надежность работы.

□ □ □

# Консультация по „Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей“

## ВОПРОС

В § 762 новых «Правил» указано, что анализ электролита из работающей аккумуляторной батареи должен производиться не реже одного раза в год.

Согласно типовой инструкции НКЭС по эксплуатации аккумуляторных батарей 1941 г. пробы аккумуляторной кислоты из контрольных элементов должны браться не реже одного раза в полгода.

Просим разъяснить, достаточно ли производить анализ электролита раз в год согласно новым «Правилам» только из контрольных элементов или требуется брать анализ из всех элементов.

## ОТВЕТ

В отношении порядка производства анализа электролита следует руководствоваться новыми «Правилами».

Согласно § 762 этих «Правил» периодичность анализов электролита кислотных аккумуляторных батарей предусматривается не реже одного раза в год. В отдельных случаях, в зависимости от состояния аккумуляторной батареи, может быть принято решение на месте производить этот анализ 2 раза в год.

Отбор проб электролита достаточно производить из контрольных элементов, количество которых должно устанавливаться на месте в зависимости от условий работы и состояния аккумуляторной батареи.

## ВОПРОС

§ 1006 «Правил» требует, чтобы частота в энергосистеме непрерывно поддерживалась на уровне 50 гц с отклонениями не более  $\pm 0,5$  гц при отсутствии регистрирующих частотомеров и  $\pm 0,2$  гц при наличии регистрирующих частотомеров.

Возможность поддержания частоты в указанных пределах зависит не от приборов, указывающих частоту, а от чувствительности и точности настройки регуляторов скорости агрегатов на электростанции, регулирующей частоту. Кроме того, регистрирующие частотомеры могут иметь значительную погрешность. Следовало бы установить только один предел регулирования с точностью  $\pm 0,2$  гц.

## ОТВЕТ

При ручном регулировании частоты поддержание ее в указанных пределах зависит от точности показаний имеющихся частотомеров.

Регистрирующий частотомер имеет шкалу деления по 0,1 гц, а указывающий вибрационный (лепесткового типа) — по 0,5 гц. Кроме того, регистрирующий частотомер позволяет дежурному персоналу точно определять по направлению кривой записи тенденцию на повышение или на понижение частоты, в то время как по колебанию лепестков указывающего частотомера это сделать зачастую трудно. Поэтому при регистрирующем частотомере «Правилами» требуется более тщательная регулировка частоты.

При наличии погрешностей у регистрирующих частотомеров шкала должна быть скорректирована.

На электростанциях, регулирующих частоту, регистрирующий частотомер должен быть расположен на главном пульте щита управления в непосредственной близости от дежурного у пульты.

При автоматическом регулировании частоты настройка автоматов регулирования частоты и регуляторов скорости агрегатов должна обеспечить регулирование частоты с точностью  $\pm 0,2$  гц.

## ВОПРОС

Остается ли в силе указание эксплуатационного циркуляра Технического управления МЭС № 4/Э от августа 1951 г. о том, что при переключениях для полного снятия напряжения с шин подстанции по бланку переключения производятся только операции по отключению всех возможных источников питания, после чего отключение от шин всех остальных присоединений производится без бланка переключения. При подаче напряжения на шины подстанции, а также на отдельные присоединения операции производятся по бланку переключения в общем порядке.

## ОТВЕТ

Указанное положение эксплуатационного циркуляра № 4/Э «О заполнении бланка переключения» остается в силе.

## ВОПРОС

§ 29 «Правил» требует проверки знаний техниминимума по обслуживаемому оборудованию каждого работника до назначения его на самостоятельную работу. Прошу разъяснить, должны ли проходить эту проверку инженерно-технические работники и нужно ли ее проводить ежегодно, как этого требует указанный параграф «Правил»?

## ОТВЕТ

Согласно постановлению СТО от 30/VI 1932 г. обучение техническому минимуму знаний является обязательным только для рабочих, непосредственно обслуживающих агрегаты (см. стр. 42 «Сборника действующих правил по технике безопасности», Госэнергоиздат, 1951 г.).

Проверка знаний техниминимума у рабочего персонала производится только один раз до назначения на самостоятельную работу или при переводе на другую работу с выдачей соответствующего удостоверения. Поэтому ежегодно проводить такую проверку не следует.

Для инженерно-технических работников сменного персонала, имеющих законченное техническое образование (инженеры, техники), проверку знаний техниминимума производить не следует.

Практики, занимающие эти должности, должны проходить обучение техниминимуму и проверку его знаний наравне с рабочим персоналом.

## ВОПРОС

§ 156 «Правил» требует, чтобы углеразмольные мельницы были оборудованы контрольно-измерительными приборами разрежения или давления. Просим дать разъяснение, какими приборами давления или разрежения должна быть оборудована шахтная мельница.

## ОТВЕТ

Каждая шахтная мельница должна иметь измерительную шайбу, установленную до мельницы, для контроля расхода воздуха или газа и давления его, а также указатели температуры воздуха (газа) перед мельницей и аэро-смеси за мельницей (см. книгу Б. И. Логинова «Эксплуатационные испытания котлоагрегатов», Госэнергоиздат, 1952 г.).



## В Техническом управлении по электростанциям

### О недопустимости отключения АРВ генераторов и синхронных компенсаторов

Проверкой установлено, что в некоторых энергосистемах необоснованно производится отключение устройств автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генераторов и синхронных компенсаторов при появлении замыкания в обмотке возбуждения, при витковых замыканиях и других повреждениях. Такое отключение понижает надежность работы, так как при отсутствии АРВ эта синхронная машина первая выпадет из синхронизма и тем самым окажется в худшем положении по сравнению с другими генераторами, вследствие протекания больших токов в статоре и роторе.

Кроме того, возможен отказ максимальной защиты генератора, работающего при неполном возбуждении, что вызовет длительную работу в режиме короткого замыкания.

Техническое управление по электростанциям предлагает (Противоаварийный циркуляр № 11/Э от сентября 1953 г.) всем главным инженерам районных управлений и энергокомбинатов разъяснить руководству электростанций и сетей о недопустимости отключения АРВ генераторов и синхронных компенсаторов и впредь обеспечить их непрерывную работу.

### О внедрении способа самосинхронизации синхронных генераторов

За последнее время в ряде энергетических систем вследствие ошибочных действий персонала при включении генераторов в сеть способом точной синхронизации имели место несинхронные включения, которые вызвали тяжелые повреждения генераторов и трансформаторов.

Между тем в настоящее время почти во всех энергосистемах уже накоплен опыт длительного успешного применения способа самосинхронизации для включения на параллельную работу синхронных машин.

На 1 января 1953 г. свыше 100 гидро- и турбогенераторов мощностью до 50 тыс. кВт включительно регулярно включаются на параллельную работу способом самосинхронизации.

На многих электростанциях способ самосинхронизации успешно применяется уже в течение 3—4 лет и число включений каждого генератора этим способом достигает нескольких сот, а некоторых генераторов — нескольких тысяч.

Учитывая, что применение способа самосинхронизации предотвращает тяжелые аварии основного оборудования электростанций из-за несинхронных включений, а также имея в виду и другие преимущества способа самосинхронизации, Техническое управление по электростанциям обязывает (Эксплуатационный циркуляр № 10/Э от сентября 1953 г.) главных инженеров энергосистем, электростанций и сетевых районов осуществить внедрение способа самосинхронизации в эксплуатацию в соответствии с ранее изданными директивными указаниями. При этом указано, что способ самосинхронизации должен применяться:

1. На всех турбогенераторах мощностью до 3 тыс. кВт включительно.
2. На всех гидрогенераторах.
3. На всех синхронных компенсаторах.
4. На всех турбогенераторах, работающих в блоке с трансформаторами.
5. На всех турбогенераторах мощностью более 3 тыс. кВт, работающих непосредственно на общие шины, если симметричная составляющая переходного тока при

включении генератора в сеть способом самосинхронизации не превосходит  $3,5 I_n$ .

При работе турбогенераторов непосредственно на общие шины и при значении симметричной составляющей переходного тока больше  $3,5 I_n$  генератор должен включаться в сеть способом точной автоматической синхронизации при нормальных режимах и способом самосинхронизации при аварийных режимах в системе.

При аварийных режимах включение генераторов, работающих на сборные шины генераторного напряжения способом самосинхронизации, может производиться персоналом вручную, путем установления необходимой скорости вращения агрегата (по тахометру) и последующего включения выключателя генератора, а затем автомата гашения поля ключами управления.

На действующих электростанциях для облегчения самосинхронизации в аварийных режимах рекомендуется осуществлять одну из схем контроля разности частот генератора и сети, приведенных в брошюре «Включение на параллельную работу синхронных генераторов и компенсаторов способом самосинхронизации» (Госэнергоиздат, 1952).

Всем проектным организациям при очередном просмотре типовых чертежей следует предусмотреть для самосинхронизации турбогенераторов, работающих на сборные шины, схему контроля разности частот с помощью стабилизатора остаточного напряжения.

### Конференция читателей журнала «Электрические станции» в Ростове-на-Дону

В сентябре 1953 г. в Ростове-на-Дону состоялась конференция читателей журнала «Электрические станции», организованная Ростовским отделением Всесоюзного научного инженерно-технического общества энергетиков и Ростовским филиалом государственной научно-технической библиотеки совместно с редакцией журнала.

Представители редакции доложили читателям о работе журнала за 1952 г. и за 9 мес. 1953 г. За этот период было опубликовано 680 статей, из которых 27% написано на теплотехнические темы, 20% посвящено строительству и монтажу и 49% статей рассматривает электротехнические вопросы. Подавляющее большинство авторов является работниками электростанций и сетей и строительно-монтажных организаций (60%); проектные и научные организации дали 22% авторов, аппарат Министерства 10% и заводы 8%.

В 1952—1953 гг. журнал освещал вопросы проектирования, монтажа и строительства электростанций и сетей; много внимания было уделено совершенствованию работы электростанций и электросетей, внедрению новых типов тепломеханического и электротехнического оборудования, внедрению тепловой и электрической автоматики и новых типов релейной защиты.

Основной задачей журнала являлась мобилизация инженерно-технической мысли на успешное выполнение директив XIX съезда партии. В своей работе редакция стремилась широко применять метод критического обсуждения наиболее важных проблем путем организации дискуссий. По теплотехнической части за отчетный период было проведено 5 и по электротехнической части — 6 дискуссий.

К недостаткам журнала следует отнести то, что ряд важных вопросов был освещен очень неполно, например вопросы работы энергосистем, вопросы организации работы персонала, снижение расходов топлива и электроэнергии на собственные нужды, снижение потерь в электросетях; не был освещен важный вопрос о работе металла в установках с высокими параметрами пара и т. д.

На конференции присутствовало 63 читателя, подтвердивших работу редакции журнала широкому обсуждению и критике. Часть критических выступлений была подготовлена заранее и отражала не только личное мнение выступавшего, но и мнение коллектива, в котором он работает.

А. А. Вознесенский (зав. кафедрой Ростовского инженерно-строительного института) поднял важный вопрос о всей системе энергетических журналов, указав на то, что теплотехника, в том числе и промышленная, отражается недостаточно, в то время как в освещении электротехнических вопросов имеется параллелизм между журналами. Редакция журнала «Электрические станции» должна подбивать связь с редакциями других журналов и добиваться четкого распределения материала по ясно выраженным профилям журналов.

Н. В. Шестаков (ЮВ Энергочермет), подчеркнув роль журнала «Электрические станции», выдвинул ряд предложений организационного характера, направленных к более полному отражению журналом вопросов промышленной энергетики, вплоть до объединения в «Электрических станциях» ведомственных журналов и сборников. Касаясь тематики журнала, он указал на отсутствие обзорных статей по ряду актуальных тем, перечислив важнейшие из них, и рекомендовал значительно расширить раздел хроник.

К. Ф. Милославский (Ростовэнерго) обратил внимание на недостаточное освещение в журнале вопросов химии, в частности — масляного хозяйства, и указал на некоторые недостатки помещенных статей. Он выразил пожелание, чтобы журнал полнее освещал результаты предложений и мероприятий, описанных в опубликованных статьях, и ввел отдел «Вопросов и ответов».

А. Ф. Гикис (доцент РИИЖТ) отметил как крупный недостаток отсутствие в журнале статей, освещающих перспективы энергетического хозяйства, а также недостаточное освещение вопросов телемеханики и техники безопасности. Он сделал ряд предложений по улучшению оформления журнала: давать ссылки на литературу, аннотировать статью, указывать на корешках номер и год, нумеровать сплошь все страницы, классифицировать статьи и т. д.

Э. М. Каждан (Тяжпромэлектропроект) выразил пожелание, чтобы журнал включил в свою тематику вопросы промышленной энергетики, обобщая проектный опыт, и давал материал по новому оборудованию. Он указал на необходимость ускорить прохождение статей в редакции.

Е. П. Миронов (Ростовэнерго) указал на нечеткость профилей существующих энергетических журналов, наличие в них параллелизма, в частности, в отношении ведомственных журналов; выразил пожелание, чтобы в журнале шире давалась информация об электроаппаратуре и ее эксплуатации, чтобы полнее освещались вопросы труда и организации управления; подтвердил потребность в обзорных статьях и указал на необходимость более активного участия в журнале ростовских инженеров.

Б. А. Поляков (Кавэлектромонтаж) отметил преобладающее освещение в журнале вопросов, интересующих лишь работников системы Министерства электростанций и электропромышленности, настаивая на расширении тематики журнала в сторону освещения вопросов заводской электротехники. Он рекомендовал больше внимания уделять хронике и освещению решений Министерства по технической политике и ввести раздел «Помощь молодым специалистам».

Ф. Н. Коваленко (Ростовэнерго) отметил желательность освещения организационных вопросов релейной защиты, организации труда работников релейных служб, нормирования труда, периодичности проверок и т. п. Необходимо, по его мнению, давать обзор эксплуатации новых схем соединений (четыреугольник, Н и др.), новых релейных защит, а также освещать вопросы вторичной коммутации.

В результате работы конференции редакция получила 55 конкретных предложений; по каждому из них были намечены мероприятия, к осуществлению которых уже приступлено.

П. Г.

□ □ □

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Н. И. Дунаевский, **Технико-экономические основы теплофикации**, Госэнергоиздат, 1952, 256 стр.

Книга проф. Н. И. Дунаевского «Технико-экономические основы теплофикации» предназначена, как указано в аннотации, для инженеров-энергетиков, работающих в промышленности, для научных работников в области энергетики и для студентов, специализирующихся в вопросах энергетики и теплоснабжения.

Естественно, что к книге с таким названием должно быть предъявлено требование правильного определения направлений развития социалистической энергетики и места теплофикации в этом развитии.

К сожалению, книга проф. Н. И. Дунаевского содержит такие коренные и принципиальные ошибки и так оторвана от практики развития социалистической энергетики, что она никак не может отвечать тем целям, которые указаны в аннотации и следуют из названия книги.

Основная принципиальная ошибка, которая проходит через всю книгу и особенно проявляется в разделе 5-5, носящем название «ТЭЦ или КЭС?» (стр. 239—248), заключается в том, что автор книги без всяких доказательств развивает тезис о якобы имеющихся в подавляющем большинстве районов Советского Союза столь больших и неиспользованных ресурсах теплоснабжения, что они могут обеспечить только на базе тэц и гидроэлектростанций покрытие всего прироста электрической нагрузки наших электроэнергетических систем (стр. 32, 89, 99, 106, 214, 228, 240 и др.). Исходя из этого ошибочного положения, автор приходит к утверждению о необходимости отказа от сооружения новых конденсационных электростанций за исключением только случаев наличия дешевого и нетранспортабельного топлива (стр. 248).

Такая концепция автора абсолютно не соответствует действительности и является ошибочной по следующим основным соображениям:

1. Всем, кто хотя бы косвенно сталкивался с проектированием развития конкретных электроэнергетических систем, хорошо известно, что за исключением некоторых отдельных районов реальные ресурсы теплоснабжения, не охваченные еще теплофикацией, не могут даже теоретически обеспечить такие электрические мощности тэц, которые бы соответствовали требуемому в настоящее время вводу новых мощностей на тепловых электростанциях. Вместе с тем, развитие электроэнергетических систем и объединение их межсистемными связями позволяют часто строить рациональный баланс электрических мощностей в межрайонном разрезе. В этих условиях тезис о наличии избыточного теплоснабжения делается еще более ошибочным. Для примера достаточно проанализировать перспективные электробалансы таких систем, как Южная, Уральская и ряд других.

2. Хорошо известно, что наше народное хозяйство развивается такими темпами и требует такого развития электроэнергетических систем, которое может быть обеспечено только путем быстрого наращивания электрических мощностей на мощных районных электростанциях, чему может соответствовать только ввод определенной части мощностей на современных конденсационных электростанциях с агрегатами в 50, 100 тыс. кВт и выше.

Например, по расчетам Энергетического института Академии наук СССР, в перспективе ближайшего десятилетия для создания рационального электропотребления необходимо примерно удвоить существующую мощность конденсационных электростанций.

Именно учитывая эти обстоятельства, отечественная теплоэнергетика развивается путем оптимального сочетания конденсационных электростанций и тэц, а не путем одностороннего развития тэц. Не понимать этого и отрицать такое направление развития означает искажать основы ленинско-сталинской теории электрификации страны.



Такую же оторванность от реальных условий советской энергетики проф. Дунаевский обнаруживает и в других своих высказываниях. Так, в разрез с существующей практикой он решительно заявляет (стр. 28), что при возможности получения даваемой тэц электроэнергии от гидроэлектростанций теплоснабжение должно, как правило, осуществляться от центральных котельных. Разбирая возможность понижения конденсационной выработки тэц, он исходит из суточного графика нагрузки, возможного разве только на сельскохозяйственных электростанциях.

Следует отметить, что если бы точка зрения о наличии «неограниченного и избыточного теплоснабжения» была правильной, то развитие социалистической теплоэнергетики в направлении повышения начальных параметров пара на электростанциях, применения на них новых бинарных циклов и т. д. являлось бы экономически необоснованным, приводя к увеличению доли децентрализованного теплоснабжения. Не имея, таким образом, возможности увязать свою исходную концепцию с основами развития передовой техники в теплоэнергетике, проф. Дунаевский, очевидно, не случайно в книге, посвященной технико-экономическим основам теплофикации, ни слова не говорит об эффекте повышения начальных параметров пара на тэц и об эффекте иных аналогичных мероприятий, широко разрабатываемых отечественной научной мыслью.

Необходимо подчеркнуть, что концепция проф. Дунаевского не нова и не оригинальна, — она воскрешает ошибку давно уже преодоленного «теплофикационного уклона» в энергетике, декларирующего отказ от сооружения конденсационных электростанций также в силу якобы имеющих возможностей только путем тэц обеспечить необходимый прирост мощности на тепловых электростанциях.

Указанная концепция проф. Дунаевского не просто декларируется в его книге, но и большинство основных конкретных технических положений, разбираемых в книге, решается именно с позиций этой концепции. Например, большое место уделено выбору так называемой «расчетной температуры тэц», т. е. соотношения электрических и тепловых мощностей тэц (стр. 31—95). Все математические и аналитические построения автора («синтетическая диаграмма теплофикации», предлагаемый им метод «предельной окупаемости» и др.) исходят из предположения наличия «избыточного теплоснабжения» и, как следствие этого, из переменной величины теплоснабжения при неизменной электрической мощности тэц.

В своей книге проф. Дунаевский идет еще дальше и в специальном параграфе (стр. 88—95) критикует «ошибочные трактовки» других авторов (не называя их по имени) о «расчетной температуре», не разделяющих его общей концепции о возможности только одними тэц обеспечить требуемую электрическую мощность тепловых электростанций.

Аналогично в главе, посвященной рациональной структуре тэц (стр. 95—138), отдельные вопросы рассматриваются и решаются автором с позиций все той же его принципиально ошибочной концепции. Проф. Дунаевский на стр. 27 своей книги правильно указывает, что «при оценке каждого варианта приходится учитывать целую совокупность разнообразных технико-экономических показателей...», однако это осталось простой декларацией известного положения, но не нашло отражения в содержании книги. Этим в значительной степени объясняются и многие другие принципиальные методические ошибки его выводов.

Например, в гл. 5 проф. Дунаевский рассматривает имеющий большое принципиальное значение вопрос об относительной эффективности промышленной и «бытовой» теплофикации (стр. 214—228), но решает эти вопросы узко, только с позиций технико-экономических показателей собственно теплофикации, в полном отрыве от всей совокупности социально-экономических факторов, определяющих то или иное направление развития теплофикации.

В результате проф. Дунаевский (на стр. 223) приходит к выводу о большей эффективности промышленной теплофикации, допуская при этом по крайней мере три серьезные ошибки.

Первая ошибка состоит в том, что им совершенно игнорируется важнейшая политическая задача социалистической энергетики — всемерное повышение уровня обслуживания населения, а именно эту цель и преследует перевод на теплофикацию жилых зданий, чем население

наших городов освобождается от дровяного отопления и получает горячую воду для бытовых нужд.

Вторая ошибка проф. Дунаевского заключается в недооценке важнейшего для многих районов страны вопроса — сокращения расхода древесного топлива с заменой его минеральным, также решаемого «бытовой» теплофикацией.

Третья ошибка — противопоставление «бытовой» и промышленной теплофикации взамен рассмотрения (теперь хорошо уже известных) путей их оптимального сочетания.

В книге проф. Дунаевского поражает еще одно обстоятельство. Рассматривая в своем большинстве по существу прикладные вопросы теплофикации (рациональная структура тэц, теплоснабжающие системы, вопросы планового развития теплофикации и др.), автор, во-первых, или излишне их теоретизирует и математизирует (гл. 2, 5 и др.) или ограничивается общими рассуждениями (когда иллюстрируемые элементарными примерами), оторванными в большинстве случаев от реальных условий, даже от таких, как действующие стандарты на котлы и турбины, что никак не способствует пониманию технико-экономических основ теплофикации.

При чтении книги складывается определенное впечатление, что ее автор, создавая в отрыве от жизни свою теоретическую концепцию и выражая ее затем в сложных аналитических зависимостях, не считает нужным проверить эти свои положения на реальных фактах, на системе практических укрупненных показателей и довести, таким образом, свои построения до стадии конкретных рекомендаций для плановых и проектных организаций.

Одновременно многие действительно новые и важные вопросы теплофикации не нашли в книге никакого освещения. Так, в книге не анализируются: вопросы рациональных схем районных и промышленных тэц, конкретное влияние особенностей развития электроэнергетических систем на выбор параметров тэц, выбор расчетных параметров теплоносителя и др. Ряд вопросов изложен в книге или примитивно — например, вопросы сочетания теплофикации и газификации, или по материалам исследования более чем 10-летней давности — например, схемы и режимы работы тэц и котельных, в то время как исследование этих вопросов и практика их решения за последние годы продвинуты далеко вперед.

Все указанные органические недостатки и ошибки книги отнесают, к сожалению, на задний план ряд излагаемых в книге несомненно интересных и правильных соображений, например, касающихся вопросов о конденсационных мощностях тэц, о выборе давлений отборов пара теплофикационных турбин, об использовании пиковых котельных, а также ряда других.

Одновременно приходится отметить во многом небрежную и неточную терминологию, применяемую автором, например, «Урезка силового цикла», «возможный поток через электрические генераторы», «возможный тепловой поток конденсационных хвостов тэц» и другие аналогичные «термины», широко применяемые в книге.

Наконец, надо считать, что и название книги не соответствует ее содержанию, так как в общепринятое понятие теплофикации входят не только тэц, но и тепловые сети и приемники тепла, технико-экономические основы развития, которые никак не отражены в книге.

Нельзя не высказать удивления относительно выбора рецензентов книги проф. Дунаевского. Как известно, проф. Е. Я. Соколов и канд. техн. наук Н. К. Громов являются специалистами в области тепловых сетей, т. е. двое из трех рецензентов являются специалистами именно по тем вопросам теплофикации, которые никак не освещены в книге проф. Дунаевского.

Госэнергоиздат допустил ошибку, опубликовав книгу проф. Дунаевского, создающую у читателя неправильные представления о направлениях и методах развития теплофикации в общей системе развития социалистической энергетики, не раскрывающую действительных технико-экономических основ теплофикации, и как книгу, содержащую технические ошибки, оторванную от действительной практики энергетики. Поэтому книга проф. Дунаевского не может быть рекомендована ни для инженеров-энергетиков, ни для научных работников, а тем более как учебное пособие для студентов вузов.

Доктор техн. наук В. В. Болотов, доктор эконом. наук Л. А. Мелентьев, канд. эконом. наук Р. Ф. Бриль, канд. техн. наук Г. Б. Левенталь и канд. техн. наук К. И. Мицурина.

# Содержание журнала „Электрические станции“ за 1953 г.<sup>1</sup>

## I. Общие вопросы

От Центрального Комитета Коммунистической партии Советского Союза, Совета Министров Союза ССР и Президиума Верховного Совета СССР	III	3
Передовая — За новый подъем советской энергетики	I	3
Передовая — Успешно провести капитальный ремонт оборудования	IV	3
Передовая — За высокую культуру эксплуатации электростанций и сетей	V	3
Передовая — Усиление энергонадзора — важная задача энергосистем	VI	3
Передовая — Выполнение плана капитального строительства — важная задача строителей-энергетиков	VII	3
Передовая — Повысить качество контроля за работой энергетических предприятий	IX	3
Передовая — За дальнейшее повышение экономичности электростанций	X	3
Передовая — За дальнейшее снижение себестоимости электрической и тепловой энергии	XI	3

## II. Вопросы работы электростанций и энергосистем

Васильев А. А. — Об улучшении противоаварийной работы с линейным ремонтным персоналом	IX	46
Дунаевский Н. И. и Шубин В. П. — О режимах тэц в энергосистемах с мощными гидроэлектростанциями	XI	23
	XII	64
Маломуж А. С. — Об упорядочении нормирования запасных частей на электростанциях	VI	10
Об инструкциях для оперативного и обслуживающего персонала энергосистем, электростанций и электросетей (Хроника Техуправления по электростанциям)	VII	58
О количестве трансформаторов на понизительных подстанциях с напряжением 110 кВ и ниже (Хроника Техуправления по электростанциям)	IX	60
О «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей» (Хроника Техуправления по электростанциям)	IX	60
О схеме электрических соединений в виде «четырёхугольника» (Дискуссия)	XI	43
Папиков С. И. — Организация централизованного ремонта в энергосистеме	I	18
Хлебников Я. М. — Повышение производительности труда в электролабораториях	IV	38
Якуб Ю. А. — Продольная ёмкостная компенсация линий электропередачи 220 кВ (Энергохозяйство за рубежом)	VII	59
Якуша Г. Б. — О рациональном объёме инструкций и оперативной документации для электроподстанций	X	30

## III. Общие вопросы проектирования, строительства и монтажа электростанций и сетей

Аникин А. А. — Применение сварных конструкций для установки силовых трансформаторов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	V	47
Бабенко А. С. и Романов А. Н. — Из опыта применения крупнопанельных блоков (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VII	46

Бартосевич С. С. — Комплексный подъем котла (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	50
Беренштейн С. А. — Опыт строительства противопопозневых сооружений	IX	25
Бобович Л. И. — О строительстве глубоких вводов 35 кВ в городские электросети (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	53
Божко Л. Ф. — Опыт применения башенных кранов БК-25-48 (Обмен строит.-монтажн. опытом)	V	45
Брук Г. Е. — Новый асфальтисто-битумный лак для металлических конструкций (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	52
В. З. — Гнутье труб в холодном состоянии с набивкой песком (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII	46
Гончаров А. Н. — Электросварные трубы со спиральным швом (Обмен строит.-монтажн. опытом)	X	50
Динер Е. С. — Применение портала при монтаже турбин (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VII	47
Драгунов Е. Я. — Новые методы работ при заполнении каркасов главных корпусов тепловых электростанций	XII	30
Завадский Б. И. и Ильин В. А. — Установка каркаса котла на заранее подлитые подколоники (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IX	51
Карпинский В. Н. — Использование водорода при газовой резке металлов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VIII	51
Карташев К. Б. — Производство струнотонных изделий на узких стендах	IV	25
Коклик В. С. — Комбинированная трубная вышка (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	51
Котельников Д. А. — Крупнопанельное кровельное покрытие по металлическим фермам	VIII	24
Логинов Г. Ф. — Монтаж металлоконструкций градирни одним блоком (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	49
Лубинский А. С. — Об электроснабжении крупного строительства (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VIII	52
Меджибер А. М. — Энергопоезда на стройке коммунизма (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	49
Никольский С. Ф. — Лабораторный 200-т гидравлический пресс БКК-200 (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XI	50
Об инструкции по составлению технологических карт на монтаж электротехнического оборудования (Хроника Техуправления по электростанциям)	VII	58
Об инструкции по эксплуатации бетононасосов Б-15М (Хроника Управления капстроительства)	VIII	63
Об основных положениях по проектированию жилых поселков при электростанциях (Хроника Произв.-техн. управления по строительству)	II	62
О нормальях на сортамент и детали трубопроводов (Хроника Произв.-техн. управления по строительству)	I	61
О нормах расхода материалов на изготовление нестандартного оборудования и на монтаж тепломеханической части электростанции (Хроника Управления капстроительства)	X	50
О правилах безопасности при строительстве и монтаже линий электропередачи, сооружаемых вблизи действующих высоковольтных линий (Хроника Управления капстроительства)	IV	63
О правилах и нормах электрического освещения строительных площадок (Хроника Управления капстроительства)	IX	61
О проектировании теплоснабжения, отопления и вентиляции гидростанций (Хроника Произв.-техн. управления по строительству)	I	61

<sup>1</sup> Римскими цифрами показаны номера журнала, арабскими цифрами — номера страниц.

О технических условиях на изготовление сварных стальных конструкций опор линий электропередачи (Хроника Управления капстроительства)	IX	61
О технических условиях на производство подводных бетонных работ (Хроника Техуправления по строительству)	III	62
Подымский Д. С. — Фасонная вальцовка (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	53
Раков К. А. — Применение надстроек при расширении существующих электростанций	IX	13
Рубайло В. П. — Прогрев перекрытий паром без устройства паровой рубашки (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	49
Он же — Крепление кирпичных стен, возведенных способом замораживания (Обмен строит.-монтажн. опытом)	V	46
Семенов П. С. — Увеличение прочности раструба прессованных канализационных труб (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	50
Он же — О внедрении сборного железобетона в строительстве электростанций	VIII	27
Соколов В. С. — Определение расщелений в материалах ультразвуком без обработки поверхности	I	24
Солодовник Я. В. — Подвижное металлическое крепление траншей к многоковшовому канавокопателью (Обмен строит.-монтажн. опытом)	X	53
Он же — Передвижная опалубка для бетонирования каналов и туннелей большого сечения (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XI	48
Тихонов И. А. — Выбор грузоподъемности кранов для подъема трансформаторов в башнях на подстанциях (Обмен строит.-монтажн. опытом)	X	52
Турчин Н. Я. — Воздуходувки для сушки зданий при производстве отделочных работ (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	49
Он же — Из опыта строительства кабельных и трубопроводных туннелей и каналов из сборного бетона (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII	44
Фидельман И. О. — Скоростной монтаж трансформатора большой мощности (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II	48
Шохат С. А. — О температуре питательной воды	VIII	13
Янкелев Л. Ф. — Крепление термоизоляции из минеральной ваты (Обмен строит.-монтажн. опытом)	I	51
Он же — Формованные изделия из минеральной ваты на диатомо-известковом вяжущем (Обмен строит.-монтажн. опытом)	III	52

#### IV. Топливо, его хранение, транспорт, приготовление и сжигание

Алексеев В. А. и Крюков А. И. — Испытание двухступенчатой схемы пылесжигания	X	6
Бейгман Л. Б. — О скидках и надбавках по влажности торфа	IX	21
Блинов Е. И. и Потехин Б. Н. — Устранение шлакования топок паровых котлов	V	6
	VII	64
Вайзель Л. Е., Вайницкий С. Р., Гачегов А. И. и Сладников И. В. — Реконструкция сепаратора пыли системы ЦККБ	VI	8
Герман М. Я. и Карасик И. И. — Опытное сжигание отходов углеобогащения	IV	9
Горев Н. П. — Об ошибках при взвешивании угля автоматическими весами типа ВЛТ (Обмен эксл. опытом)	V	50
Горленко И. И. — Улучшение работы шнековых питателей пыли	IV	7
Запругаев Л. В. — О системе расчетов электростанций с торфопредприятиями и двойном анализе торфа	IX	23
Иванов А. Г. и Кривомонт В. Д. — Снижение шаровой загрузки барабанных мельниц (Обмен эксл. опытом)	V	49
Кантор Ш. Ш. и Чехунов П. Х. — Перевод на жидкое шлакоудаление котлов, работающих на АШ (Обмен эксл. опытом)	XII	48

Киселев П. И. и Киселев А. М. — Некоторые вопросы усовершенствования шаровых барабанных мельниц	XI	6
Ковалев А. П. и Каган Я. А. — К определению коэффициента размоловости топлива	VIII	9
Козлов Б. Н. — Паровой вулканизатор для склейки транспортных лент (Обмен эксл. опытом)	II	51
Кригер М. Я. — Наладка мазутной топki котлов энергопоезда (Обмен эксл. опытом)	III	57
Кривомонт В. Д., Сизин П. Р. и Сухов А. И. — Улучшение сжигания антрацитового штыба	III	7
Куваев Ю. Ф. и Маршак Ю. Л. — Гарнитура в топках, работающих с давлением выше атмосферного	III	16
Лавров Н. А. и Шейнин Б. И. — Рациональная схема подачи пыли от аэробильных мельниц к горелкам	II	11
Макарин С. Н. — Улучшение работы шлаковых подпоров (Обмен эксл. опытом)	VII	49
Маршак Ю. Л. и Ромадин В. П. — Перспективы топок с жидким шлакоудалением	XII	3
Маршак Ю. Л. и Шапоров Д. В. — Пуск и эксплуатация топki ВТИ с максимальным шлакоудалением	XII	9
Розенблат Б. Э. и Чукин В. В. — Сжигание пыли бурых углей угрубленного помола в топке со встречным расположением горелок	IX	10
Рысаков Н. Ф. — Работа муфельных горелок на кизеловском угле (Обмен эксл. опытом)	VI	53
Совещание по применению разомкнутого цикла сушки и пылеприготовления влажных топлив (Хроника)	X	60
Сперанский Б. А. — Саморазогревание подмосковного угля	I	13
Шустов Н. И. — Надежная работа охлаждающих панелей цепных решеток (Обмен эксл. опытом)	X	54

#### V. Котлы и котельное оборудование

Астапович Г. Х. и Меренков А. Т. — Из опыта эксплуатации котлов энергопоездов М-2,5 (Обмен эксл. опытом)	III	56
Барков Н. С. и Васильев В. П. — Автомат для приварки шипов к экранным трубам	V	22
Белов В. П. — Применение мостового крана в котельной	VI	15
Брайловский П. М. — Выбор шипов для шипового экрана котла (Обмен эксл. опытом)	III	55
Вайнер М. А. и Хижняк С. П. — Повышение экономичности котлоагрегатов, работающих на антрацитовом штыбе (Обмен эксл. опытом)	IV	53
Вараицкий И. Б., Кроль Л. Б. и Локшин В. А. — Работа впрыскивающих регуляторов перегрева пара высокого давления	VIII	3
Васильев А. В. и Яковлев В. Н. — Реконструкция наклонного свода котла типа ТП-230-2	IV	5
Готтельф И. М. и Ивянский С. И. — Новая серия тягодутьевых машин для энергетики	XII	21
Залогин Н. Г. — О проектировании батарейных циклонов	VII	15
Он же — Эксплуатация батарейных циклонов	IX	6
Зверев Н. И. — Мигалка конструкции ВТИ	II	7
Зубарев В. Л. — О периодической продувке нижних точек котлов (Обмен эксл. опытом)	VI	54
Каплан М. Б. — Типизация устройств отбора проб пара и воды	III	13
Качкин В. Г. — Наладка эксплуатации прямоточного котла с вертикальными экранами	VII	6
Касьянов Е. А. и Савиновский Д. А. — О периодической продувке нижних точек котлов	I	6
Коновалов С. А., Кот А. А. и Розенгауз И. Н. — О производительности соленых отсеков котлов со ступенчатым испарением	II	20
Кострикин Ю. М. — Причины загрязнения пара котлов	I	7
Кот А. А. — Об избирательном уносе кремниевой кислоты паром высокого давления	I	10
Куваев Ю. Ф. и Маршак Ю. Л. — Из опыта изготовления шиповых экранов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VII	44
	XI	64
Логунов Ф. Г. — Монтаж батарейных циклонов крупными блоками	I	20

Логунов Ф. Г. — Из опыта монтажа котлов башенными кранами (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VIII 48	Небрат Л. Е. — Повреждение переднего парового уплотнения турбины ВК-50-1 (Обмен эксл. опытом)	II 53
Локшин В. А. и Талдыкин К. М. — Эксплуатационная проверка пароводяной продувки топочных поверхностей нагрева	XII 16	О применении тепловых насосов для использования тепла охлаждения гидрогенераторов (Обсуждение статей К. Д. Смирнова, «Электрические станции», 1950, № 7; П. М. Матко, 1951, № 6 и Г. И. Фукса, там же)	VI 38
Мельников В. В. — Монтаж барабана котла весом 43,3 т мостовым краном грузоподъемностью 30 т (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IX 50	Прокопенко А. Г. и Травин Н. Н. — Исследование режима пуска предвключенной турбины высокого давления	X 15
Михайленко П. С. — Аммиачный метод очистки дымовых газов от сернистых соединений	VII 20	Розин Д. С. и Терновой М. П. — Ремонт облопачивания радиальной турбины (Обмен эксл. опытом)	XI 51
Нахалов В. А. — Особенности эксплуатации золуловителей типа «Центробежный скруббер ВТИ» (Обмен эксл. опытом)	VII 48	Рудаков Я. Д. — Соединение конденсаторов по паровой стороне для их чистки на ходу (Обмен эксл. опытом)	IV 56
О схеме питания котлов при работе без водосмотров (Обсуждение статьи Е. Ю. Масловского и К. В. Солищева, 1952, № 6)	I 47	Рысс А. Г. — Поломка кулачковой муфты турбины (Обмен эксл. опытом)	V 50
Паничева А. С. — Повреждение чугунного жалюзийного золуловителя (Обмен эксл. опытом)	II 50	Он же — Устранение обводнения масла в масляной системе турбины (Обмен эксл. опытом)	VI 55
Перельман И. Л. — Обдувка топочных поверхностей нагрева потоком пароводяной смеси	II 15	Селькин Н. Е. — Устранение неравномерной выработки шеек валов роторов турбин и генераторов (Обмен эксл. опытом)	VII 51
Рябуха П. В. — Подача обмуровочных материалов на котел (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IV 51	Толчинский С. А. и Шапкин А. К. — Конденсаторные трубки из сплавов, устойчивых против коррозии (Обмен эксл. опытом)	I 53
Он же — Гидравлическое испытание котлов пневматическим гидропрессом (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II 44	Трубилов М. А. — О влиянии температуры пара на осевое давление в турбине	VIII 20 IX 64
Сарбаев А. Н. — Уплотняющие крышки регулирующих клапанов котлов высокого давления (Обмен эксл. опытом)	V 48	Цыркин И. З. — Определение вибрационных характеристик лопаток паровых турбин по таблицам	IV 23
Сулима Г. Т. — Штамп для изготовления шипов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VI 50	Ширяев Н. П. — Повышение плотности конденсатора, работающего на морской воде (Обмен эксл. опытом)	VIII 53
Табориский М. Л. — О включении отборов проб насыщенного пара (Обмен эксл. опытом)	VI 55 IX 64		
Он же — Работа котла типа 75-39-Ф без водосмотра (Обмен эксл. опытом)	XII 49		
Чулков Е. И. — Новый способ изготовления шиповых экранов (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XI 47		
<b>VI. Турбоустановки, насосы, трубопроводы и арматура, градирни</b>		<b>VII. Теплофикация</b>	
Андрианов В. Е. и Громцев Е. К. — Сопrotивление, оросительных устройств градирен	X 21	Генкин Б. И. — Определение тепловой производительности сетевых подогревателей	II 23
Берман Л. Д. — О разрежении в конденсаторе как показателе работы конденсационной установки	IV 17	Дюскин В. К. — Гидравлический режим тепловых сетей с автоматизированным присоединением абонентов	V 18
Он же — Выбор проходных сечений для пара при проектировании или реконструкции конденсатора	XI 16	Кронгауз С. Д. — Экономия тепловой и электрической энергии в системах отопления и теплоснабжения промышленных зданий	VII 9
Берман С. С. — Циркуляционное водоснабжение с воздушными поверхностными охладителями	VII 25	Нестерович Н. Ф. — О технико-экономических показателях проектируемых тепловых сетей	VIII 18
Большаков В. И. и Шляхин П. Н. — Дуговая электросварка при отстройке лопаток турбин от опасной вибрации (Обмен эксл. опытом)	I 53	Соколов Е. Я. — Очередные задачи советской теплофикации	II 3
Гришук И. К. — Вибрация конденсаторных трубок	XII 25	Спирин А. А. и Цекун Н. А. — Защита тепловых сетей от наружной коррозии	V 14
Деев И. Т. и Морозов К. М. — Результаты многократных кислотных промывок опытного конденсатора	XI 13	Цекун Н. А. — Блуждающие токи в теплопроводах (Обмен эксл. опытом)	II 54 IV 64
Кислый В. И. и Розин Д. С. — Причины поломок бандажей лопаток турбин высокого давления и их устранение	V 8	Чувилкин М. П. — Выбор сетевых насосов для крупных теплофикационных установок	III 25
Ковалев Н. М. и Черепакин М. И. — Брызгальная установка над прудом-охладителем на пловучем основании (Обмен эксл. опытом)	IX 53		
Колендовский П. С. и Цейтлин М. А. — Новая диаграмма для определения вибрационных характеристик лопаток паровых турбин	IV 20	<b>VIII. Водоснабжение, водоподготовка, работа химцехов</b>	
Левин И. И. — Индивидуальное регулирование температуры пара у турбины (Обмен эксл. опытом)	X 54	Бутин В. И. и Музальков С. С. — Новая конструкция индукционного маслоподогревателя (Обмен эксл. опытом)	X 57
Лозников В. К. — Облицовка камер рабочих колес гидротурбин антикоррозийным материалом «арктилит» (Обмен эксл. опытом)	VI 55	Варнелло В. А. — Работа катионитовых фильтров на частично осветленной воде	VI 13
Лозовский А. Т., Сенченко Е. Ф. и Янченко В. Ф. — Устранение переохлаждения конденсата (Обмен эксл. опытом)	II 50	Веснина Т. П. — Удаление карбонатных отложений в катионитовых фильтрах углекислотой (Обмен эксл. опытом)	IV 57
Малишевский Н. А. — Ущерб от зарастания трубопроводов приморских электростанций	VI 12	Виноградов Н. А. — Расчет и наладка шайбовых дозаторов	XI 20
Мурин Г. А. — Эксплуатационный контроль воздушной плотности турбоагрегатов	V 10	Голубов В. А. и Маргулова Т. Х. — Солемер для текущего контроля чистоты насыщенного пара высокого давления	X 10
		Гришина Е. А. — Замена поваренной соли морской водой при регенерации катионитовых фильтров (Обмен эксл. опытом)	II 53
		Гришук И. К. и Кроткова М. А. — Барботаж питательной воды в баке-аккумуляторе	IV 12 VI 61
		Гурвич С. М. — Улучшение работы механических фильтров на электростанциях	III 18
		Костриков Ю. М. — Об измерении избытка фосфата в котловой воде в новых единицах (Обмен эксл. опытом)	II 52



Пичугин И. К. — Рекарбонизационная установка малой производительности (Обмен эксл. опытом)	VII 50	Городецкий С. А. — Применение метода абсорбции для контроля влажности изоляции (Обмен эксл. опытом)	I 58
Рысс А. Г. — Регенерация глубоко окисленного трансформаторного масла силикагелем (Обмен эксл. опытом)	IV 57	Он же — Определение увлажненности изоляции трансформаторов	X 42
Он же — Механизация загрузки складов мокрого хранения соли (Обмен эксл. опытом)	XI 54	Данилов В. И. и Мусаэлян Э. С. — Безреакторный пуск синхронного генератора для работы в режиме компенсатора (Обмен эксл. опытом)	IX 55
Савиновский Д. А., Стюнкель Т. Б. и Якимец Е. М. — О комплексометрическом методе определения жесткости воды (Обмен эксл. опытом)	VII 50 XI 64	Дополнение к противоаварийному циркуляру № 13/Э 1952 г. (Хроника Техуправления по электростанциям)	IV 63
Савиновский Д. А. и Сутоцкий Г. П. — Об определении присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин	X 24 XII 64	Заславская Т. Б. — Упрощение схемы автоматического пуска синхронных компенсаторов (Обмен эксл. опытом)	V 58
Спирин И. С. — Регенерация трансформаторного масла силикагелем с присадкой щелочи	VIII 45	Звездкин В. Н. и Надельсон Р. Г. — Влияние свойств масла на характеристики изоляции трансформаторов	III 45
<b>IX. Тепловая автоматика и контрольно-измерительные устройства</b>		Зилес Д. Т. — Определение места замыкания на корпус обмотки ротора генератора (Обмен эксл. опытом)	IV 60
Веллер В. Н., Киракосянц Г. А. и Левин Д. М. — Реконструкция гидродинамической системы регулирования турбины АК-25-1	XI 9	Зозовский Я. И. и Рывкин А. М. — Непрерывное измерение температуры обмотки ротора генератора	IV 41
Горбунов Н. А. и Дзалаев М. И. — Улучшение работы электромеханических авторегуляторов системы ЦКТИ (Обмен эксл. опытом)	IV 55	Иванов М. А. и Файнштейн Э. Г. — Работа синхронного гидрогенератора в качестве компенсатора	IV 34
Дуэль М. А. и Литвак Н. Р. — Некоторые требования, предъявляемые автоматическим регулированием к котельным агрегатам	VI 6	Израелит Г. Б. и <b>Калантаров А. В.</b> — Профилектические испытания изоляции электрических машин повышенным напряжением	III 34
Дьяков Ф. М. — О правильном использовании электрических газоанализаторов	II 22	Калита В. М. — Быстрая замена мощных трансформаторов (Обмен эксл. опытом)	XI 57
Зайцев Л. Ф. — Автоматизация загрузки шахтных мельниц (Обмен эксл. опытом)	VI 54	Козырев Н. А. — О выборе величин испытательных напряжений изоляции электрических машин	III 31
Кельник Ю. П. — Упрощенная схема автоматического управления и сигнализации давления компрессора (Обмен эксл. опытом)	VIII 56	Колин Я. С. — Применение выпрямленного напряжения при испытаниях изоляции генераторов	III 38
Корниенко А. М. — Настройка регулирования с частотным клапаном паровых турбин	III 22	Красильников Л. В. — Работа возбудителей синхронных генераторов по схеме самовозбуждения	II 30
Милославский П. З. — Переделка регулятора питания системы Трубкина (Обмен эксл. опытом)	VIII 53	Он же — Выбор нелинейного сопротивления для повышения устойчивости работы возбудителя синхронных генераторов	XI 26
Нахалов В. А. — Дистанционный указатель уровня угольной пыли в бункере (Обмен эксл. опытом)	III 55	Кулаковский В. Б. — Использование силовых и измерительных трансформаторов в качестве испытательных	VII 30
Сертаков В. Б. и Смидович В. А. — Улучшенная схема включения электролитических конденсаторов в колонках автоматического регулирования электромеханической системы ЦКТИ (Обмен эксл. опытом)	VII 53	Лужнов М. И. — Устранение попадания масла в возбудитель путем реконструкции уплотнения (Обмен эксл. опытом)	XII 50
<b>X. Генераторы, трансформаторы, электродвигатели</b>		Люляев В. К. и Цигер Р. М. — Перевод синхронных компенсаторов в асинхронный режим при АПВ (Обмен эксл. опытом)	II 56
Азбукин Ю. И. — Балансировка тяжелого ротора на станке с качающимися подшипниками (Обмен эксл. опытом)	I 55	Малхасьян И. В. — Вибрация активной стали статора гидрогенератора (Обмен эксл. опытом)	VI 56
Он же — Вибрация турбогенераторов при неустойчивой масляной пленке	V 25	Он же — О водяном пожаротушении гидрогенераторов (Обмен эксл. опытом)	XI 56
Он же — Динамическая балансировка роторов по измерениям фазы небаланса	VII 27	Михалков А. В. — Выявление витковых замыканий в роторах синхронных компенсаторов (Обмен эксл. опытом)	V 54
Азбукин Ю. И. и Овчаров Ф. Ф. — О повреждениях посадочных поверхностей и бандажей роторов турбогенераторов	IV 31	Он же — Из опыта реакторного пуска синхронных компенсаторов (Обмен эксл. опытом)	X 55
Александров И. Н. и Фридлянд А. Ш. — Применение самосинхронизации синхронных генераторов в энергосистеме средней мощности	IX 36	Неворов Е. Н. — О причинах плохого охлаждения турбогенераторов (Обмен эксл. опытом)	I 57
Антропов Н. П. — Продолжительная работа генератора с заземленной фазой (Обмен эксл. опытом)	VIII 54	Об изменении п. 1 раздела 1 эксплуатационного циркуляра № 3/Э от апреля 1951 г. (Хроника Техуправления по электростанциям)	XI 59
Батурин А. Ф. — Опыт сушки трансформатора током нулевой последовательности (Обмен эксл. опытом)	VIII 55	О включении синхронных генераторов и компенсаторов без сушки или с сушкой под нагрузкой (Хроника Техуправления по электростанциям)	X 59
Бугаенко И. В. и Турчин Н. Я. — Подъем статора генератора весом 185 т мостовым краном 75 т (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VI 49	О дальнейшем внедрении в промышленность синхронных электродвигателей и применение более простых схем их пуска (Хроника Техуправления по электростанциям)	XI 59
Васильев А. Ф. — Применение самосинхронизации турбогенераторов (Обмен эксл. опытом)	IV 58	О мерах предотвращения возгорания изоляции обмотки генераторов от действия емкостных токов (Хроника Техуправления по электростанциям)	X 59
Гловацкий Г. Г. и Сахновский Н. Л. — Проверка цепей возбуждения от постороннего источника тока (Обмен эксл. опытом)	VIII 55	О внедрении способа самосинхронизации синхронных генераторов (Хроника Техуправления по электростанциям)	XII 55
Горенштейн М. Д. — Повреждение стали мощного трансформатора (Обмен эксл. опытом)	XI 57		

О контрольном нагреве и включении трансформаторов после монтажа и ремонта (Хроника Техуправления Министерства)	I 61	Иерусалимов М. Е. и Федченко И. К. — Контроль состояния высоковольтных вводов (Обмен эксл. опытом)	I 60
О работе синхронных генераторов и компенсаторов при металлическом замыкании на корпус обмотки ротора в одной точке и об установке защиты от замыканий на корпус во второй точке (Хроника Техуправления по электростанциям)	IX 60	Иохвидов Э. С. и Сербиновский Г. В. — Опыт применения комплектных трансформаторных подстанций Московского трансформаторного завода	VIII 35
О реакторном пуске синхронных компенсаторов (Хроника Техуправления Министерства)	I 61	Караман В. А. — О сварных соединениях алюминия с медью на открытом воздухе (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IX 52
О тушении пожара в генераторах водой (Хроника Техуправления по электростанциям)	IV 63	Клапчук Л. Д., Николаев М. С., Семягин Ф. Г. и Брилев А. С. — О комплектных распределительных устройствах завода «Электроцит» (Обмен эксл. опытом)	V 56
Порозов Н. В. — Определение места «металлических» витковых замыканий в обмотках трансформаторов	X 38	Ковалев С. И., Мамошин Р. Р. и Орлов К. А. — Новые принципы конструирования и компоновки подстанций	VIII 30
Пригниц Г. В. — Дистанционное измерение температуры обмотки ротора генератора	IV 43	Козьма А. А. и Филатов С. М. — Повышение надежности работы выключателей МКП-35	XI 29
Раузин Л. М. — Нагрев стержней обмоток статоров при ремонте генераторов (Обмен эксл. опытом)	V 53	Комбай-Заде А. К. — Номограмма для проверки электродинамической устойчивости ошиновки (Обмен эксл. опытом)	VI 59
Он же — Определение места замыкания на корпус обмотки ротора турбогенератора (Обмен эксл. опытом)	XI 54	Магидсон Э. М. — Некоторые замечания по проекту закрытой подстанции 110 кв Мосэнерго-проекта	VI 30
Росман Л. В. — Об определении увлажненности изоляции обмоток трансформаторов (Обмен эксл. опытом)	III 59	Меньшиков С. В. и Харитонова И. Н. — Авария воздушного выключателя типа СР-1509 (Обмен эксл. опытом)	II 57
Рубо Л. Г. — Способ ускоренного ремонта турбодвигателя (Обмен эксл. опытом)	IV 61	Моськин В. С. — О внедрении разъединителей с заземляющими ножами (Обмен эксл. опытом)	VIII 58
Тер-Акопов Г. Д. — Длительная работа генератора в несимметричном режиме (Обмен эксл. опытом)	V 51	Об улучшении эксплуатации воздушных выключателей (Хроника Техуправления по электростанциям)	VII 58
Тер-Газарян Г. Н. — О креплении активной стали гидрогенераторов	VI 20	О наложении заземления при производстве ремонтных работ в распределительных устройствах, оборудованных заземляющими ножами (Хроника Техуправления Министерства)	II 62
Файнштейн Э. Г. — Профилактические испытания изоляции статорных обмоток генераторов	III 36	О порядке осмотра взрывных камер выключателей (Хроника Техуправления по электростанциям)	IX 61
Он же — Повреждения сварных швов креплений активной стали гидрогенераторов	VI 23	О типовых трансформаторных подстанциях 3—6—10 кв без масляных выключателей (Хроника Техуправления Министерства)	II 62
Хомутов Б. А. — Обнаружение витковых замыканий в роторах турбогенераторов	VI 19	Прибылов И. И. — Распределительное устройство с реакторами на бабелях	XI 39
Худабашев К. А. — Прибор для непосредственного определения группы соединения трансформаторов (Обмен эксл. опытом)	VI 57	Пухов Г. А. — Дуговая сварка алюминиевых шин (Обмен строит.-монтажн. опытом)	IV 51
Он же — Повышение вибрации турбогенератора из-за дефекта соединительной муфты (Обмен эксл. опытом)	VII 52	Салеев Д. П. и Терников П. В. — Разрушение фарфоровых тяг при испытании напряжением (Обмен эксл. опытом)	V 60
Он же — Стробоскопический метод измерения фазы вибрации осциллографом с приставкой	XII 35	Смирнов М. А. — Переделка приводов типа РБА (Обмен эксл. опытом)	VII 55
Чернев К. К. — Работа линии электропередачи в несимметричном режиме (Обмен эксл. опытом)	VI 60	Он же — Усиление приводов выключателей МКП-274	XI 37
Чернышев В. И. — Статические разряды в силовом трансформаторе из-за отсутствия заземления магнитопровода (Обмен эксл. опытом)	III 59	Тихонов И. А. — Модернизированное сборное распределительное устройство 6—10 кв с реакторами на линиях	VI 32
Шницер Л. М. — Повреждение трансформатора с принудительной циркуляцией масла (Обмен эксл. опытом)	VI 56	Чернышев В. И. — Разгрузочный клапан для установок сжатого воздуха, обслуживающих воздушные выключатели (Обмен эксл. опытом)	II 59
Штукатер Б. Л. — Работа генератора через две фазы трансформаторной группы	V 27	Якуб Ю. А. (рефер.) — Испытание выключателей 230 кв с номинальной отключающей мощностью 10 млн. кв.а в действующей энергосистеме	X 62
<b>XI. Распределительные устройства и высоковольтная аппаратура</b>		<b>XII. Воздушные и кабельные сети</b>	
Адрианов Л. И. и Орловский Г. М. — Соединение алюминиевых шин давлением	II 26	Авербух Б. И. и Федоров А. И. — Определение места повреждения кабеля с заплывающим пробоем (Обмен эксл. опытом)	VI 50
Белюсов А. Г. и Прихно Л. А. — Схема управления воздушным выключателем	IV 64	Бодров Г. Д. и Новицкий В. П. — Железобетонные пасынки для линий электропередачи	XII 33
Берлин В. Я. — Компоновка открытого распределительного устройства 110 кв горной гидростанции	V 29	Борисоглебский П. В. и Сви П. В. — Обнаружение поврежденных изоляторов дефектоскопами	IX 41
Бугринов Е. А. и Ягодин Г. М. — Городские закрытые электроподстанции 110 кв глубокого ввода	III 28	Бургсдорф В. В. и Быховский Я. Л. — Дистанционный контроль гололедных нагрузок на линиях электропередачи	XI 35
Дополнение к разделу «Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 000 в» «Правил устройства электротехнических установок» (Хроника Техуправления по электростанциям)	VI 26	Гвелесиани Л. Г. и Михельсон Е. Э. — Сборные опоры линий электропередачи из центрифугированного железобетона	X 26
Евсеев В. И. — О приводном механизме выключателя МКП-35 (Обмен эксл. опытом)	IX 60		
	II 58		

Гребенщиков Л. Н. и Комиссаров А. И. — Из опыта монтажа проводов линий 400 кВ	IX 32	Волькенау В. А. и Шеренцис А. Н. — Уровни изоляции высоковольтных линий электропередачи 110—220 кВ на металлических опорах	II 32
Даниэлян Г. Е. — Отключение разъединителями зарядных токов и токов нагрузки (Обмен эксл. опытом)	VII 53	Воронов Л. Н. — Устройство для отбора напряжения от конденсатора связи (Обмен эксл. опытом)	VII 56
Иосифов С. С. — Проверка воздушных линий электропередачи на срыв штыревых изоляторов и подъем подвесных гирлянд	I 34	Воскресенский А. А. и Корелов Т. И. — Конструктивный недостаток защиты с трансформатором ВТИ-561 (Обмен эксл. опытом)	IX 55
Калита В. Т. — Осушивание силовых кабелей и способ их восстановления	IX 41	Геворкян Н. Е. — Схема пофазного АПВ с использованием разряда конденсатора (Обмен эксл. опытом)	I 59
Мани А. К. — Акустический метод определения мест повреждений изоляции кабелей	I 36	Он же — Улучшение действия АПВ на линиях с двусторонним питанием (Обмен эксл. опытом)	II 60
Об изменении § 19 раздела «Правил устройства электротехнических установок» — «Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1000 кВ» (Хроника Техуправления Министерства)	II 62	Гершман Л. Х. — Измерение частоты при наладке телеизмерительной аппаратуры системы Орграс «Электропульт» (Обмен эксл. опытом)	III 61
Об экономии древесины в сетях 3—10 кВ (Обсуждение статьи Б. И. Комиссарова, «Электрические станции», 1952, № 9)	IV 48	Дерюгин Ф. Ф. — Универсальные измерительные клещи для вторичных цепей (Обмен эксл. опытом)	VII 54
О внесении изменения в п. 98 ч. II «Правил безопасности при эксплуатации воздушных линий высокого напряжения» (Хроника Техуправления по электростанциям)	VI 62	Запорожец Б. И. и Мусатов Т. П. — Устройство блокировки переносных заземлений	IX 39
О количестве изоляторов в подвесной гирлянде 154 кВ (Хроника Техуправления Министерства)	III 62	Иогансон Н. Е. и Кузичкин И. Г. — Дистанционное управление на электростанциях без применения мощных аккумуляторных батарей	VII 33
О конференции по вопросам сверхдальних электропередач (Хроника)	V 62	Кедрин В. М. — О телеуправлении подстанцией	VIII 44
О руководящих указаниях по применению силовых и контрольных кабелей (Хроника Техуправления по электростанциям)	VIII 60	Кельник Ю. П. — Усовершенствование управления автоматом гашения поля (Обмен эксл. опытом)	II 56
О технических условиях на детали деревянных опор и столбов (Хроника Произв.-техн. управления по строительству)	IX 61	Клаверов М. И. — О некоторых недостатках газового реле ПГ-22 (Обмен эксл. опытом)	VIII 56
Отключение разъединителями зарядных токов и токов нагрузки (Дискуссия)	II 62	Корякин М. А. — Проверка схем учета электроэнергии с помощью счетчиков (Обмен эксл. опытом)	IX 56
Погарский В. И. — Методы профилактических испытаний высоковольтных кабельных линий	II 40	Красильников Г. С. — Универсальный грузовой привод типа УГП для АПВ и АВР к выключателям 3—35 кВ	VI 34
Он же — Анализ повреждаемости и профилактики кабельных линий и прокладок	V 39	Малков А. Г. — Эксплуатация защиты от замыкания на землю обмотки статора генератора (Обмен эксл. опытом)	II 55
Он же — Анализ повреждаемости и профилактики кабельных линий и прокладок	VII 38	Макаров Н. А. — Наладка автоматического синхронизатора АСУ-11 (Обмен эксл. опытом)	VIII 57
Рапутов И. И. — Легкие железобетонные подожники (Обмен строит.-монтажн. опытом)	VI 51	Мещанинов П. А. — Фазовая схема компаундирования с электромагнитным корректором	IV 36
Салеев Д. П. и Терников П. В. — Усовершенствованная мачтовая муфта для кабельных сетей (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II 44	Могильницкий В. М. — Схема испытателя ламп постов высокочастотной защиты (Обмен эксл. опытом)	IV 62
Спиридонов В. К. — Определение места повреждения при заплывающем пробое кабеля методом колебательного разряда	I 40	Об области применения механической и электромагнитной блокировки разъединителей с выключателями (Хроника Техуправления по электростанциям)	VI 62
Степанов Н. Г. — Прокладка и монтаж кабелей под водой (Обмен строит.-монтажн. опытом)	II 46	О защите от замыканий на землю в сетях 2—35 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью (Хроника Техуправления по электростанциям)	VIII 62
Фишкин А. И. — Размыкание разъединителем одной из двух параллельных линий 110 кВ (Обмен эксл. опытом)	V 55	О недопустимости отключения АРВ генераторов и синхронных компенсаторов (Хроника Техуправления по электростанциям)	XII 55
Юренков В. Д. — Механизированное антисептирование древесины опор линий электропередачи	VIII 39	О повторном включении линий электропередачи (Хроника Техуправления по электростанциям)	VII 58
Он же — Энергоснабжение и освещение ремонтных работ на линиях электропередачи	X 33	О применении автоматической разгрузки трансформаторов с защитой от перегрузки, действующей на отключение (Хроника Техуправления по электростанциям)	IX 61
<b>XII. Релейная защита, электроавтоматика и вторичные цепи</b>		О расчетной длительности аварийного разряда аккумуляторных батарей на гидроэлектростанциях (Хроника Техуправления Министерства)	V 62
Барзам А. Б. — Устройство для предотвращения неправильного действия защиты от токов нагрузки	II 35	О хранении, формовке и проверке исправности селеновых выпрямителей в устройствах компаундирования в электромагнитных корректорах напряжения (Хроника Техуправления по электростанциям)	VIII 62
Беленький А. Д. и Дубов Л. Я. — Новая конструкция промежуточного реле	IV 44	Петров С. М. и Петров В. М. — Простые каналы связи и телемеханики для сетей с малым током замыкания на землю	XII 40
Березовский А. Ф. — О небалансах в фильтре напряжения отрицательной последовательности (Обмен эксл. опытом)	VII 57	Подковыров Р. В. — О продольной дифференциальной защите генераторов	XI 32
Березовский А. Ф. и Новиков Г. Е. — Схема для имитации двухфазных коротких замыканий при испытаниях высокочастотной фильтровой защиты (Обмен эксл. опытом)	II 60	Подковыров Г. В. и Файнштейн Э. Г. — О релейной защите гидрогенераторов на телеуправляемых гидроэлектростанциях	XII 38
Васильев А. Ф. — Улучшение работы газовой защиты трансформаторов (Обмен эксл. опытом)	XI 64		
Вечайзер Г. В. и Джуварлы Ч. М. — О параллельном включении двух конденсаторных батарей	VI 57		
	VII 42		

Пружанский А. М. — Об аккумуляторных батареях на электростанциях малой и средней мощности	I 44
Расширение области применения переменного оперативного тока (Обсуждение статьи А. М. Пружанского)	X 44
Решетникова Н. А. — Схема самоудерживания выходного реле защиты через ключ управления (Обмен эксл. опытом)	I 59
Росман Л. В. — Проверка и регулировка характеристик электромагнитного корректора напряжения	V 35
Суслов О. В. — Схема синхронизации на линейных выключателях	VII 35
Федотов М. П. — Некоторые особенности выпрямительной схемы с вентилем, имеющим один заземленный полюс	I 28
Ходжамирзан Ю. Е. и Хуршудян Л. М. — Электромеханическое реле оборотов для гидрогенераторов (Обмен эксл. опытом)	XII 50
Чернышев А. В. — Аппарат для испытания изоляции вторичных цепей (Обмен эксл. опытом)	VI 58
Шакариков А. С. — Улучшение схемы автоматического включения резерва (Обмен эксл. опытом)	XI 58
Элкин С. Р. — Автоматизация гидроагрегатов с исключением регуляторов скорости (Обмен эксл. опытом)	V 53
Яковлев А. Ф. — Усовершенствование автоматического управления агрегатами гидростанции	III 41

#### XIV. Грозозащита и перенапряжение

Глейзер М. Д. — Грозы в средней Азии	V 42
Лихачев Ф. А. — О выборе внешних искровых промежутков фибробакелитовых разрядников в сетях 35 и 110 кв	IX 64
Мусатов Т. П. — Об анализе грозовых повреждений на линиях электропередачи	I 30
Некрасов М. М. — О координации линейной изоляции	IV 46
Юриков П. А. — О внешних искровых промежутках трубчатых разрядников	XII 36
Яцевич В. Б. — Увеличение грозоупорности воздушных линий электропередачи на деревянных опорах (Обмен эксл. опытом)	II 38
	IX 58

#### XV. Разное

Н. Н. Амосов — некролог (Хроника)	VI 63
Данилович Б. И. и Файншммер Р. З. — Устранение примерзаний сыпучих и других грунтов к металлическим стенкам кузовов автомашин (Обмен строит.-монтажн. опытом)	XII 47
Зецерев Б. М. — О типовой схеме щита постоянного тока (Обмен эксл. опытом)	XII 51
Иванов М. А. и Файнштейн Э. Г. — Электрообогрев сороудерживающих решеток гидроэлектростанций	V 32
Консультация по «Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей»	VIII 59
	IX 59
	X 58
	XII 54
Конференция читателей журнала «Электрические станции» в Баку (Хроника)	II 63
То же в Ростове-на-Дону	XII 55

Корж Н. А. — Вибрация панелей главного щита управления (Обмен эксл. опытом)	III 61
Манойлов В. Е. и Палладиева Н. М. — Рентгеновское излучение высоковольтных кенотронных установок и меры защиты от него	III 47
О включении амперметров непосредственно в расщелку шин высокого напряжения (Хроника Техуправления Министерства)	V 62
Об инструкции по хранению, сокращению и ликвидации материалов в инженерно-геологической документации при изысканиях (Хроника Управления капитрострительства)	VI 62
О приеме в аспирантуру ВТИ (Хроника)	VI 62
О руководящих указаниях по наблюдениям за режимом подземных вод (Хроника Управления капитрострительства)	VI 62
О справочнике по инженерно-геологическим расчетам при изысканиях (Хроника Управления капитрострительства)	IX 61
О таблицах площадей сфероидических трапеций (Хроника Управления капитрострительства)	VI 62
Петров В. М. — Электрическая тяга на однофазном переменном токе (Обмен эксл. опытом)	X 56
М. В. Сафро — некролог (Хроника)	XI 59
Сенянин М. М. — Научно-техническая сессия по ионному обмену (Хроника)	III 62
Фирсов В. К. — Об испытании резиновых ковров и дорожек (Обмен эксл. опытом)	VI 61

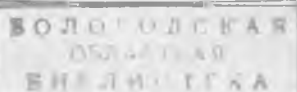
#### XVI. Критика и библиография

Баженов И. Г. и Шейнин Б. И. — Рецензия на книгу В. Н. Юренина «Промышленные паротурбинные электрические станции»	VII 63
Болотов В. В., Мелентьев Л. А., Бриль Р. Ф., Левенталь Г. Б. и Мичурина К. И. — Рецензия на книгу Н. И. Дунаевского «Технико-экономические основы теплофикации»	XII 56
Гончаров А. Н. — Рецензия на книгу Я. Ф. Фиттермана «Монтаж и ремонт гидротурбин»	XI 61
Казанский В. Е. — Рецензия на книгу И. Я. Гумина «Вторичные схемы электрических станций»	XI 62
Красивский С. П. — Рецензия на книгу С. Я. Вартазарова и И. М. Соколова «Организация и методы эксплуатации гидроэлектростанций»	VIII 63
Линдорф Л. С. — Рецензия на книгу Б. П. Бурьянова «Магнитоэлектрический осциллограф»	II 63
Маркович И. М. — Рецензия на книгу Н. А. Мельникова «Расчеты режимов работы сетей электрических систем»	V 63
Матюшин М. В. — Рецензия на сборник «Эксплуатация воздушных линий электропередачи»	IV 63
Мусатов Т. П. — Рецензия на книгу Е. Я. Гуревича «Эксплуатация синхронных компенсаторов»	III 64
Рецензии на книгу М. Д. Каменского «Электрические системы»	I 62
Горнштейн В. М.	IX 62
Константинов Б. А. и Никогосов С. Н.	IX 62
Холмский В. Г.	IX 62
Айзенберг Б. Л. и Быков Н. Г.	IX 63
О тематике журнала «Электрические станции» на 1953 г.	I 64
Содержание журнала за 1953 г.	XII 58



#### ПОПРАВКИ

В № 10 журнала «Электрические станции» в статье Д. А. Савиновского и Г. П. Сутоцкого «Об определении присосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин» (стр. 24 и 25) обозначения жесткости конденсата должны быть не в мг-эка/л, а в мг-эка/л.  
В № 11, в статье Н. И. Дунаевского и Е. П. Шубина, на стр. 24 ссылка в сноске 2 относится не к сборнику, а к книге проф. Н. И. Дунаевского под тем же названием.





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая наб., 10

**ОТКРЫТА ПОДПИСКА  
на 1954 г.  
НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЖУРНАЛЫ**

**„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“**

Орган Академии наук СССР, Министерства электростанций и электропромышленности СССР  
Основан в 1880 г. 12 номеров в год

Подписная цена на год 96 руб.  
на 6 мес. 48  
на 3 24

Журнал рассчитан на широкие круги инженеров и научных работников, ведущих работу в различных областях электротехники.

**„ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ“**

Орган Министерства электростанций и электропромышленности СССР

Год издания 25-й 12 номеров в год

Подписная цена на год 96 руб.  
на 6 мес. 48

Журнал рассчитан на инженерно-технических работников электростанций и сетей, проектных и строительных организаций Министерства электростанций и электропромышленности, а также на энергетиков предприятий других министерств и ведомств.

**„ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВО“**

Производственно-технический и экономический журнал Министерства электростанций и электропромышленности СССР

Год издания 25-й 8 номеров в год

Подписная цена на год 32 руб.  
на 6 мес. 16

Журнал рассчитан на инженерно-технический персонал, работающий на строительстве и эксплуатации гидроэлектростанций и гидротехнических сооружений, в проектно-исследовательских организациях и научно-исследовательских институтах, и на студентов вузов.

**„ТОРФЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ“**

Орган Министерства электростанций и электропромышленности СССР

Год издания 31-й 8 номеров в год

Подписная цена на год 32 руб.  
на 6 мес. 16

Журнал рассчитан на руководителей работников, инженеров, техников, мастеров и бригадиров торфопредприятий, строительства торфопредприятий, заводов торфяного машиностроения, преподавателей, научных сотрудников, студентов торфяных институтов и техникумов.

**„ЭНЕРГЕТИК“**

Ежемесячный массовый производственно-технический журнал Министерства электростанций и электропромышленности СССР

Год издания 2-й 12 номеров в год

Подписная цена на год 24 руб.  
на 6 мес. 12

Журнал рассчитан на широкие круги энергетиков: кочегаров, машинистов, механиков, электромонтеров, мастеров и техников, работающих на электростанциях, электрических и тепловых сетях, а также на энергетиков, работающих в отделах главного энергетика и главного механика промышленных предприятий.

**ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ**

ГОРОДСКИМИ И РАЙОННЫМИ ОТДЕЛАМИ СОЮЗПЕЧАТИ, ВО ВСЕХ КОНТОРАХ, ОТДЕЛЕНИЯХ И АГЕНТСТВАХ СВЯЗИ И ОБЩЕСТВЕННЫМИ УПОЛНОМОЧЕННЫМИ ПО ПОДПИСКЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, В ОРГАНИЗАЦИЯХ, УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ И УЧРЕЖДЕНИЯХ.