

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТАНЦИИ

1-6



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1953

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

1

ЯНВАРЬ

1953

Орган Министерства электростанций СССР

24-й ГОД ИЗДАНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

- Передовая—За новый подъем советской энергетики 3
- Е. А. Касьянов и Д. А. Савиновский—О периодической продувке нижних точек котлов 6
- Ю. М. Кострикин—Причины загрязнения пара котлов 7
- А. А. Кот—Об избирательном уносе кремниевой кислоты паром высокого давления 10
- Б. А. Сперанский—Саморазогревание подмосковного угля 13
- С. И. Папиков—Организация централизованного ремонта в энергосистеме 18
- Ф. Г. Логунов—Монтаж батарейных циклонов крупными блоками 20
- В. С. Соколов—Определение расслоений в материалах ультразвуком без обработки поверхности 24
- М. П. Федотов—Некоторые особенности выпрямительной схемы с вентилем, имеющим один заземленный полюс 28
- Ф. А. Лихачев—О выборе внешних искровых промежутков фибробакелитовых разрядников в сетях 35 и 110 кв 30
- С. С. Иосифов—Проверка воздушных линий электропередачи на срыв штыревых изоляторов и подъем подвесных гирлянд 34
- А. К. Манин—Акустический метод определения мест повреждений изоляции кабелей 36
- В. К. Спиридонов—Определение места повреждения при заплывающем пробое кабеля методом колебательного разряда 40
- А. М. Пружанский—Об аккумуляторных батареях на электростанциях малой и средней мощности 44

ДИСКУССИЯ

О схеме питания котлов при работе без водосмотров

- М. А. Дуэль и К. Я. Полферов 47
- Л. П. Коновалов 47
- А. М. Равинский 48
- В. Н. Карпинский 48

ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ

- Г. Ф. Логиннов—Монтаж металлоконструкций градирни одним блоком 49
- П. С. Семенов—Увеличение прочности раструба прессованных канализационных труб 50

- Л. Ф. Янкелев—Крепление термоизоляции из минеральной ваты 51
- Г. Е. Брук—Новый асфальтито-битумный лак для металлических конструкций 52

ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ

- С. А. Толчинский и А. К. Шапкин—Конденсаторные трубки из сплавов, устойчивых против коррозии 53
- П. Н. Шляхин и В. И. Большаков—Дуговая электросварка при отстройке лопаток турбин от опасной вибрации 53
- Ю. И. Азбукин—Балансировка тяжелого ротора на станке с качающимися подшипниками 55
- Е. Н. Неворов—О причинах плохого охлаждения турбогенераторов 57
- С. А. Городецкий—Применение метода абсорбции для контроля влажности изоляции 58
- Н. Е. Геворкян—Схема пофазного АПВ с использованием разряда конденсатора 59
- Н. В. Решетникова—Схема самоудерживания выходного реле защиты через ключ управления 59
- М. Е. Иерусалимов и И. К. Федченко—Контроль состояния высоковольтных вводов 60

ХРОНИКА

- В Техническом управлении Министерства
О контрольном нагреве и включении трансформаторов после монтажа и ремонта 61
- О реакторном пуске синхронных компенсаторов 61
- В производственно-техническом управлении по строительству и монтажу
О проектировании теплоснабжения, отопления и вентиляции гидростанций 61
- О нормалях на сортамент и детали трубопроводов 61

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- В. М. Горюштин—Рецензия на книгу М. Д. Каменского „Электрические системы“ 62
- О тематике журнала „Электрические станции“ за 1953 г. 64

ВОЛОГОДСКАЯ
ОБЛАСТНАЯ
БИБЛИОТЕКА



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

Главный редактор Д. Г. Чижов

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

ЗА НОВЫЙ ПОДЪЕМ СОВЕТСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

С чувством огромного удовлетворения и патриотической гордости встретили советские люди новый 1953 г. Минувший год ознаменовался дальнейшим ростом всех отраслей народного хозяйства. Наша советская Родина идет вперед по пути к коммунизму.

Гениальный труд товарища Сталина «Экономические проблемы социализма в СССР», его речь на XIX съезде партии, исторические решения съезда вдохновляют советских людей на новые героические дела во имя торжества коммунизма.

Производственная программа 1952 г., как и планы прошлых лет, перевыполнена. Тысячи предприятий рапортовали о досрочном выполнении годовой программы. Наша страна получила в прошлом году большое количество самой разнообразной продукции сверх установленного государственным планом. В 1952 г. в стране произведено промышленной продукции в 2,3 раза больше, чем в 1940 г. Урожай зерна в 1952 г. составил 8 млрд. пудов. В огромных масштабах развернулось промышленное, жилищное и культурно-бытовое строительство. Растут материальное благосостояние и культурный уровень народа.

Вместе со всем народом самоотверженно борются за претворение в жизнь сталинской программы коммунистического строительства советские энергетики. В 1952 г. в стране выработано 117 млрд. *квтч* электроэнергии. По сравнению с 1950 г. выработка увеличилась на 28,9%, а по сравнению с довоенным 1940 г. она возросла в 2,4 раза.

Предприятия Министерства электростанций выполнили план валовой продукции в 1952 г. на 100,9%.

Благодаря развитию социалистического соревнования в честь XIX съезда партии и 35-й годовщины Великой Октябрьской социалистической революции электростанции перевыполнили план IV квартала, что обеспечило ликвидацию задолженности за первую половину года и позволило полностью выполнить годовую программу производства электроэнергии.

Досрочно выполнили годовой план производства электроэнергии Уральская, Азербайджанская, Кузбасская, Армянская, Кольская, Ташкентская и другие энергосистемы.

Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану предусматривают большое повышение выработки гидроэлектроэнергии. Это задание выполняется успешно. Выработка энергии гидроэлектростанциями в 1952 г. увеличилась по сравнению с довоенным 1940 г. в 2,9 раза. За счет повышения производства гидроэнергии страна сэкономила сотни тысяч тонн топлива. Рост

производства гидроэнергии позволил также значительно снизить себестоимость электроэнергии.

Машиностроительные заводы Министерства электростанций перевыполнили план 1952 г. и дали сверх плана много запасных частей, новых высокопроизводительных машин, механизмов и приборов.

В 1952 г. были продолжены работы по дальнейшей теплофикации городов и промышленных предприятий. На многих электростанциях установлены новые теплофикационные турбины.

План отпуска теплоэнергии потребителям выполнен в 1952 г. на 107,3%; отпуск теплоэнергии увеличился по сравнению с 1950 г. на 36,1%, а по сравнению с 1940 г. — почти в 3 раза. Следует отметить, что производственная мощность теплоэлектростанций позволяет еще больше увеличить отпуск теплоэнергии, но этому препятствуют медленные темпы сооружения городских теплофикационных сетей.

Крупных успехов достигли коллективы электростанций в деле дальнейшего улучшения технико-экономических показателей, особенно в топливоиспользовании. Удельный расход условного топлива на один выработанный киловаттчас в 1940 г. составлял по Министерству электростанций 596 г, а в 1952 г. он снизился до 519 г. Сверхплановая экономия в 1952 г. выразилась в 500 тыс. т условного топлива, что свидетельствует о большой работе, проделанной на электростанциях в истекшем году.

На электростанциях успешно внедряются установки высокого давления, которые уже составляют около $\frac{1}{3}$ от всей мощности тепловых электростанций.

В 1952 г. на ряде электростанций была произведена реконструкция топок котельных агрегатов с дополнительным экранированием; были реконструированы хвостовые поверхности котельных агрегатов с установкой дополнительных поверхностей, проведена работа по дальнейшему повышению использования регенеративных схем турбинных агрегатов. Продолжалось дальнейшее широкое внедрение автоматизации технологических процессов. В 1952 г. закончен перевод на автоматическое управление всех агрегатов гидроэлектростанций, находящихся в эксплуатации. Переведены на телемеханическое управление гидроэлектростанции, имеющие более 50% общей мощности гидроэлектростанций.

Электростанции добились серьезных успехов в мобилизации резервов экономии топлива. Каширская грэс, располагающая сравнительно старым оборудованием среднего давления, снизила удельный расход топлива с 523 г/*квтч* в 1940 г. до 494 г/*квтч* в 1951 г. и 483 г/*квтч* в 1952 г. Коллектив электростанции провел ряд мероприя-

тий по комплексному усовершенствованию оборудования (установка водяных экономайзеров, замена пылевых циклонов на сушильных агрегатах более совершенными, замена тепловой изоляции более эффективной и т. д.).

На этой электростанции устанавливаются котлы-утилизаторы с использованием тепла отходящих газов. Установка утилизатора на котле 160 т/час позволила снизить температуру отходящих газов до 135—140° С и повысить к. п. д. котла brutto до 93%.

Однако при выполнении плана по технико-экономическим показателям в целом по Министрству ряд энергосистем перерасходовал электроэнергию на собственные нужды и не все электрические станции работали экономично.

За благополучием средних цифр руководители эксплуатационных главков и энергосистем, а также Техническое управление Министерства не замечают недостатков на отдельных электростанциях и не принимают действенных мер к их устранению.

Этим объясняется такой, например, факт, что при хороших средних показателях топливоиспользования в 1952 г. 9 энергосистем перерасходовали топливо. В 1952 г. систематически пережигали топливо и имели низкие технико-экономические показатели: Кировская тэц № 1, Ткварчельская грэс, Иркутская тэц и др.

Совершенно недостаточное распространение на электростанциях получил метод соревнования персонала за комплексную экономию электроэнергии и топлива, разработанный по инициативе работников тэц № 9 Мосэнерго. Этот метод на тэц № 9 позволил вовлечь в соревнование за экономию всю массу рабочих. В результате тэц, ранее имевшая неудовлетворительные показатели, достигла отличных результатов.

Государственным планом на 1953 г. предусмотрены дальнейшее снижение удельных расходов топлива и расхода электроэнергии на собственные нужды, а также уменьшение потерь энергии в сетях. Выполнение этих задач требует более быстрого освоения нового оборудования, повышения использования действующих устройств автоматизации, проведения намеченных реконструкций котлов, включения и поддержания в постоянной работе всех регенеративных подогревателей; снижения потерь тепла и осуществления малозатратных мероприятий, дающих в целом значительную экономию топлива.

По каждой энергосистеме и каждой электростанции должны быть разработаны технические и организационные мероприятия по снижению расхода электроэнергии на собственные нужды и потерь в сетях. Особое внимание должно быть уделено снижению расхода электроэнергии на размот топлива, повышению к. п. д. тягодутьевых устройств и для снижения потерь в сетях — режимным мероприятиям в энергосистемах и борьбе с так называемыми «коммерческими» потерями. Должна быть продолжена работа по разработке и внедрению прогрессивных технических норм для каждого вида оборудования.

Для улучшения электроснабжения народного хозяйства особое значение имеют повышение на-

дежности работы электростанций и электросетей, снижение аварийности. В 1952 г. количество аварий несколько снизилось по сравнению с предыдущим годом, однако абсолютное количество их было высоким. В то время как Мосэнерго, Ивэнерго, Молотовэнерго, Дальэнерго, Днепрэнерго снизили аварийность, в Горэнерго, Колэнерго, Новосибирскэнерго, Литовэнерго, Карагандаэнерго и Воронежском энергокомбинате число аварий увеличилось.

Свыше половины всех аварий происходит из-за неправильных действий персонала, что свидетельствует о низкой производственной дисциплине, плохом выполнении «Правил технической эксплуатации», неудовлетворительной постановке работы с персоналом и слабой проверке его знаний.

Многие электростанции, например, Шатурская грэс, тэц № 11 Мосэнерго, грэс № 5 Ленэнерго, Ивановская грэс, Егоршинская грэс, Храмская грэс, Куйбышевская грэс, Новосибирская тэц № 2, Брянская грэс и др., работали в 1952 г. без аварий весь год. Руководители энергосистем и главных управлений должны тщательно изучить опыт безаварийно работающих предприятий и широко его распространить.

Необходимо обеспечить строгое выполнение всеми электростанциями и сетевыми районами эксплуатационного циркуляра МЭС «О постановке работы с дежурным персоналом электростанций и сетей».

В деле обеспечения безаварийной работы огромное значение имеет высококачественное проведение текущих и особенно капитальных ремонтов. Нужно добиться проведения ремонтов всего оборудования с оценкой только «отлично» и «хорошо», не допуская сокращения сроков ремонта в ущерб его качеству. В 1953 г. дальнейшее внедрение должны получить скоростные методы ремонта теплового и электрического оборудования. Главная инспекция МЭС по эксплуатации и ее районные инспекторы, призванные осуществлять контроль и проверку выполнения «Правил технической эксплуатации» и директивных указаний Министерства, должны в 1953 г. коренным образом улучшить свою работу.

Руководители главных управлений энергосистем, электростанций и сетевых районов в основу своей работы должны положить неуклонное выполнение приказа Министра электростанций, определяющего пути улучшения эксплуатации энергосистем и повышения надежности энергоснабжения потребителей.

Производительность труда на электростанциях выросла по сравнению с 1940 г. больше, чем в 1,5 раза. За 1952 г. она увеличилась на 8,3%. Это является результатом дальнейшей механизации и автоматизации производства, роста квалификации рабочих, развития социалистического соревнования. Однако на ряде предприятий не проводится сокращения персонала даже после проведения автоматизации.

В результате многие электростанции одинаковой мощности и с однотипным оборудованием значительно отличаются друг от друга по численности персонала. Необходимо в 1953 г. приступить к разработке типовых штатов производственных цехов, что поможет высвободить значи-

тельное количество квалифицированных рабочих и инженерно-технических работников для укомплектования новых электростанций, остро нуждающихся в кадрах.

Себестоимость энергии в 1952 г. снижена по сравнению с предыдущим годом примерно на 10% и по Министерству достигнута сверхплановая экономия в размере 80 млн. руб. Однако при общих благоприятных результатах имеется много предприятий, допустивших перерасход. Достаточно сказать, что такая крупная энергосистема, как Донбассэнерго, не выполнила своих обязательств по себестоимости и допустила убытки.

Экономия и бережливость должны стать законом в работе каждой энергосистемы и электростанции, каждого цеха и сетевого района.

Крупнейшие задачи стоят перед организациями Министерства электростанций в деле строительства гидравлических и тепловых электростанций, а также развития электрических и теплофикационных сетей.

В 1952 г. объем строительно-монтажных работ превысил объем предыдущего года на 24,5%. За истекший год введен ряд новых районных электростанций (гидравлических и тепловых).

Большое количество мощных агрегатов установлено на расширяемых электростанциях во многих промышленных центрах и городах страны. Построен и введен в действие ряд крупных магистральных линий электропередачи и понизительных подстанций.

Широко развернулось строительство крупнейших гидроэлектростанций, а также новых мощных тепловых электростанций на Юге, Урале, в Сибири и других районах. Сооружается уникальная линия электропередачи Куйбышевская гЭС — Москва.

Ввод мощности на электростанциях в 1952 г. значительно превысил уровень 1951 г. и резко превысил ввод за все предыдущие годы.

Однако в строительстве электростанций в 1952 г. имелся ряд крупных недостатков, не дающих никаких оснований удовлетвориться имеющимися результатами.

Сроки ввода новых мощностей на многих стройках не выполнялись, что привело к временным затруднениям с покрытием максимума нагрузки в некоторых районах.

Хорошо справились с планом работ в 1952 г. строительства Каховской гЭС, Мингечаурской гЭС и некоторые другие, но, к сожалению, большая часть строек плана строительно-монтажных работ не выполняла.

Основными причинами невыполнения плана по строительству в 1952 г. явились: недостаток рабо-

чей силы, неорганизованность работы на стройплощадках, необеспеченность проектной документацией, недочеты материально-технического снабжения.

На протяжении всего года на стройках ощущался серьезный недостаток в квалифицированных рабочих. Это привело к затягиванию строительных работ, соответственно отодвигало начало монтажа и приводило к срыву установленных сроков пуска. Недостаток строительных рабочих явился прямым результатом большой текучести. Работа по закреплению кадров велась неудовлетворительно. Многие рабочие уходили только из-за того, что руководители не смогли создать нормальных жилищно-бытовых условий, не справились с жилищным строительством.

В прошлом году значительно увеличился парк строительных машин и план механизации по основным видам работ выполнен. Это позволило увеличить производительность труда по сравнению с 1951 г. на 13,3%.

Строительство электростанций в настоящее время оснащено высокопроизводительными экскаваторами, скреперами, бульдозерами, автосамосвалами, мощными кранами различных типов.

Наличие мощной техники и ее максимальное использование позволят значительно сократить сроки сооружения электростанций и снизить себестоимость строительства.

В соответствии с директивами XIX съезда партии перед энергетиками на 1953 г. поставлены большие задачи. Резко увеличиваются объем капитальных работ и план ввода турбин, котлов, электрических сетей. В текущем году должно быть введено в эксплуатацию большое число крупных электростанций, должна быть пущена и освоена первая электростанция с давлением пара 170 атм и температурой перегрева 550°С.

Задачей руководителей главных строительных управлений, трестов и стройплощадок являются подготовка и организация работ на стройках, обеспечивающая ввод новых мощностей в кратчайшие сроки. Проектные организации обязаны своевременно обеспечить строителей проектно-технической документацией.

Необходимо уже с начала нового года принять все меры к выполнению плана по всем показателям, не допуская отставания в январе и феврале, как это было в прошлые годы, особенно в строительных организациях.

Начался третий год пятой сталинской пятилетки. Патриотический долг энергетиков — с честью выполнить ответственные задачи, поставленные партией и правительством, внести новый вклад в великое дело строительства коммунизма.



О периодической продувке нижних точек котлов

Инж. Е. А. Насьянов и инж. Д. А. Савиновский

На всех тепловых электростанциях Советского Союза, как правило, производится периодическая продувка нижних точек котлов с естественной циркуляцией из нижних коллекторов поверхностей нагрева и нижних барабанов, если таковые имеются. При этом предполагается, что с удаляемой водой, имеющей несколько более низкое содержание, нежели вода верхней («непрерывной») продувки, удаляется шлам.

Шламовая продувка нижних точек котлов введена еще несколько десятков лет назад. В свое время она была необходима, так как техника водоподготовки находилась на крайне низком уровне; в котлы подавалась жесткая вода и в них образовывалось много шлама.

Техника умягчения воды постепенно совершенствовалась; благодаря улучшенной и во многих случаях двусторонней развальцовке трубок повысилась плотность конденсаторов турбин; введена внутрикотловая обработка воды фосфатами; разработаны и внедрены точные и надежные методы определения солей жесткости в воде.

Большинство электростанций может работать и работает на питательной воде с жесткостью 3—7 $\mu\text{гэкв/л}$ (менее 0,01°) и во многих котельных котловые воды совершенно прозрачны, т. е. не содержат сколько-либо заметного количества взвешенных веществ.

Если питательная вода содержит небольшое количество солей жесткости, то Ca^{+2} и Mg^{+2} , реагируя с фосфатами и кремнекислотой, выпадают в толще воды в виде мельчайших частиц, проходящих даже через лабораторные бумажные фильтры. При нормальной работе поверхностей нагрева котла эти частицы никогда не укрупняются до размеров, препятствующих их движению по подъемным трубам котлов.

Поэтому взвешенный шлам вполне может удаляться верхней («непрерывной») продувкой и продувки нижних точек котлов совершенно не требуется.

При недостаточно удовлетворительном качестве питательной воды в котлах с вялой циркуляцией, например в котлах ЛМЗ 160/200, а также при нарушениях циркуляции в котлах любой конструкции может иметь место прикипание шлама к стенкам труб.

Прикипевший шлам отваливается в виде пластинок, похожих на яичную скорлупу. Эти пластинки могут скапливаться в коллекторах экранов и в барабанах котлов. Но даже в упомянутых секционных котлах ЛМЗ 160/200 основное количество пластинок накипи скапливается в карманах задних секций и в кипательных трубах, а не в коллекторах экранов.

Если эти тонкие, но значительные по площади пластинки накипи попадают в коллекторы и не выносятся из них подъемным движением воды, то периодической продувкой нижних точек котла их удалить нельзя, т. е. и для удаления их продувка нижних точек бесполезна.

В системе Свердловэнерго по мере улучшения качества питательной воды ряда электростанций удлинялись периоды между продувками нижних точек. Если первоначально каждая нижняя точка продувалась ежедневно (10—12 точек у котла), то в последние годы их стали продувать один раз в 2—6—8 дней.

В качестве опыта была прекращена продувка котла типа ТКП-3/200 т/час , давлением 35 атм , оборудованного односторонним ступенчатым испарением. Котел проработал без продувки межремонтную кампанию продолжительностью 2 593 часа (свыше 3 мес.). Водный режим котла характеризуется данными, приведенными в таблице.

Месяц	Питательная вода		Котловая вода					
	Жесткость, $\mu\text{гэкв/л}$	Содержание, мг/л	Щелочность, мгэкв/л		Содержание, мг/л		P_2O_5 , мг/л	Величина продувки (верхней), %
			Щ-стый отсек	Щ-ный отсек	Щ-стый отсек	Щ-ный отсек		
Май	1,8	13,3	3,15	23,5	344	3 292	26,8	0,4
Июнь	3,5	10,6	3,1	21,5	285	2 586	19,1	0,4
Июль	2,8	11,1	3,15	19,9	282	2 442	19,3	0,5

Осмотр котла показал, что в трубах и коллекторах никаких отложений не было. Они были покрыты, как и обычно, лишь тончайшим налетом фосфатного шлама, легко смываемого водой.

Учитывая отличное состояние внутренних поверхностей нагрева, было решено прекратить периодическую продувку нижних точек на всех котлах типа ТКП-3 и ТП-9 этой же электростанции и на одном секционном котле ЛМЗ 160/200. Имеются все основания полагать, что и этот широко поставленный эксперимент даст благоприятные результаты, и это позволит в ближайшем будущем прекратить продувку нижних точек котлов всех электростанций энергосистемы.

Выводы

1. При хорошем качестве питательной воды (жесткость менее 3—5 $\mu\text{гэкв/л}$) продувку нижних точек котлов можно производить лишь в течение одного-двух дней после пуска котла или выхода

его из ремонта или холодного резерва. При этой продувке будут удаляться крупные частицы накипи и окислов железа.

Продувать каждую точку нужно по несколько секунд (полное открытие, а затем немедленное закрытие вентилей), по 1—2 раза в смену.

Когда котловая вода полностью осветлится, что обычно наступает через 1—2 дня после пуска котла по выходе его из ремонта, периодическую продувку можно прекратить и на протяжении всей межремонтной кампании котла (2 500—3 500 час.) нижние точки не продувать.

ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция просит работников электростанций, энергосистем и других организаций поделиться своим опытом и соображениями по поднятому в статье вопросу.



Причины загрязнения пара котлов

Канд. техн. наук Ю. М. Кострикин

О причинах загрязнения пара различными веществами, содержащимися в котловой или питательной воде, известен ряд фактов, суммируя которые можно прийти к следующим положениям:

1. Для котлов с естественной циркуляцией характер зависимости качества насыщенного пара от солевого содержания котловой воды (рис. 1) дает основания считать, что существует по край-

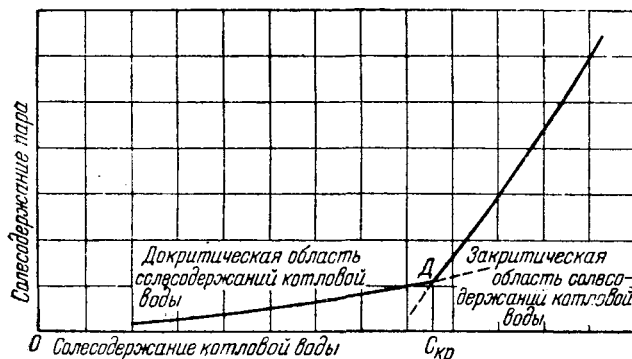


Рис. 1. Зависимость солевого содержания насыщенного пара от концентрации котловой воды.

ней мере два различных механизма загрязнения пара: один действует в так называемой докритической области (участок кривой ОД), а другой определяет протекание процесса в закритической области (выше критического солевого содержания, т. е. точки $C_{кр}$).

2. Пар, получающийся от котлов с естественной циркуляцией при докритическом солево-м содержании котловой воды, не только по степени загрязнения, т. е. количественно, но и качественно отличен от пара, получающегося в закритической области. «Закритический» пар содержит вещества примерно в той же пропорции, что и котловая вода, в то время как состав «докритического» пара существенно отличается от состава котловой воды; в этом паре преобладают вещества, присутствующие в котловой воде в виде взвешен-

ных нерастворенных частиц (окислы железа, фосфат кальция), а также кремниевая кислота.

3. Для перегретого пара, получаемого из пароперегревателей или из прямоточных котлов, характерна зависимость, показанная на рис. 2 и 3. Качество пара прямоточных котлов лишь до неко-

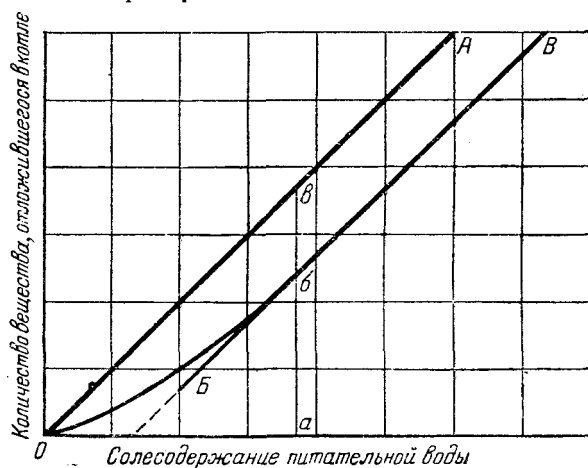


Рис. 2. Отложение солей в прямоточных котлах при различном солево-м содержании питающей их воды.

ОА — линия полного отложения всех солей; ВВ — линия реального отложения солей; аа — количество осевших в котле солей; бб — количество солей, оставшихся в паре при данном солево-м содержании питающей воды; кривая линия Об — предполагаемая зависимость соле-м отложения от солевого содержания питательной воды при малых значениях этого солевого содержания, когда процесс отложения определяется сорбцией.

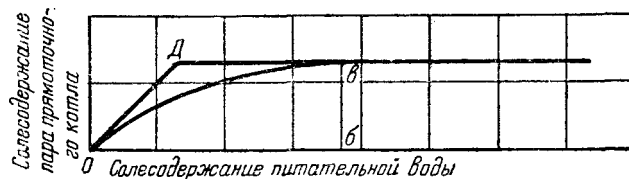


Рис. 3. Зависимость солевого содержания пара прямоточного котла от качества питательной воды.

ОД — участок полного перехода в пар солей питательной воды; бб' — предельное солево-м содержание пара.

торого предела определяется солесодержанием питательной воды; при дальнейшем же возрастании этого солесодержания качество пара уже не меняется, оставаясь приблизительно постоянным. Аналогична зависимость качества перегретого пара от солесодержания насыщенного пара, поступающего в пароперегреватель.

4. Максимальная величина загрязнения пара прямоточных котлов меняется с изменением давления (а быть может и температуры пара); она различна для разных соединений. Так, например, по испытаниям некоторых прямоточных котлов известно, что предельное солесодержание пара при 35 ат составляет 0,15—0,20 мг/кг, при 110 ат — около 0,23—0,30 мг/кг, а при 270 ат — еще выше. Известно далее, что если предельное содержание хлористого натрия при высоком давлении по некоторым данным достигает 15—17 мг/кг, то для сернокислого натрия эта величина будет не более 0,5 мг/кг. Все же полученные экспериментальные материалы в этой области еще очень недостаточны; они позволяют лишь считать, что с ростом давления предельное солесодержание пара увеличивается и что эта величина сильно зависит от химической природы соединений.

Загрязнение насыщенного пара различными веществами, присутствующими в котловой воде, рассматривается в настоящее время как следствие двух процессов: уноса капелек котловой воды и растворения в паре некоторых веществ. При этом все исследователи этого вопроса единодушно считают загрязнение пара котлов с естественной циркуляцией, происходящее в закритической области концентраций котловой воды, следствием ее капельного уноса. Равенство соотношений загрязнений для пара и котловой воды в этой области, по нашему мнению, подтверждает правильность такой точки зрения.

Загрязнение пара различными веществами в докритической области ряд исследователей также считает следствием капельного уноса; иное, чем для котловой воды, соотношение веществ в «докритическом» паре объясняется ими молекулярной сорбцией различных соединений на поверхности раздела пар — вода или образованием пены и избирательным переходом в ее слой этих соединений.

Другие исследователи полагают, что различие в соотношениях компонентов для «докритического» пара и котловой воды является следствием растворимости в паре ряда веществ, в первую очередь кремниевой кислоты.

Таким образом, следует считать оформленными две точки зрения на процессы загрязнения насыщенного пара: капельный унос котловой воды, осложненный в докритической области явлениями молекулярной сорбции в поверхностном слое пар — вода, и растворимость в паре различных веществ.

Не отрицая несомненного факта растворимости ряда веществ в паре, мы полагаем, что этому обстоятельству придают значение в той области, где эта растворимость роли практически не играет. Нам представляется законным говорить о растворимости веществ в паре лишь для пароперегревателей и прямоточных котлов. В этих аппаратах действительно создаются условия для пере-

хода в пар различных веществ путем растворения в нем. Пар в прямоточных котлах контактирует с сухими веществами, попадающими в зону перегрева при смещениях зоны сушения в результате неизбежных колебаний нагрузки и температур. Подобные условия в котлах с естественной циркуляцией могут наблюдаться в пароперегревателях. В связи с этим следует упомянуть, что действительно нередко наблюдалось ухудшение качества перегретого пара по сравнению с насыщенным после забросов котловой воды в пароперегреватель. Такое явление было обстоятельно исследовано в Оргрэс (инж. К. П. Мышкиным) на котлах высокого давления одной станции; оно отмечалось также автором и В. А. Румянцевой при исследовании качества пара котлов грэс-4 Мосэнерго, затем А. А. Кот и др. при теплотехнических испытаниях котлов. При образовании же насыщенного пара в котлах с естественной циркуляцией не создается условий для растворения паром различных веществ, так как здесь присутствует котловая вода. В силу этого обстоятельства вещества должны распределяться между водой и паром, а для большинства соединений даже при высоких давлениях растворимость в паре несравненно меньше растворимости в воде. Учитывая, что система пар — вода в отношении распределения веществ между обеими фазами вряд ли успевает достигнуть равновесия, надо признать мало вероятным объяснение загрязнения «докритического» пара следствием растворимости в нем различных соединений. Такое объяснение тем более неправильно, что в докритической области пар загрязняется и такими безусловно нерастворимыми в нем веществами, как окислы железа, гидроксипатит, окись меди и т. п. Еще в 1930—1931 гг. приходилось отмечать загрязнение пара совершенно нерастворимым в нем коллоидным графитом, который в то время применялся для предотвращения накипобразования.

Таким образом, привлечение растворимости для объяснения особенности состава пара в докритической области не может быть признано состоятельным. Растворение в паре того или иного соединения может, конечно, происходить после его попадания в пар, но самый процесс попадания не может быть объяснен растворимостью.

Столь же недостаточны попытки объяснения механизма загрязнения пара в этой области при помощи молекулярной сорбции. Известно, что для минеральных растворенных веществ эта сорбция или весьма мала, или даже отрицательна. Поэтому даже и мельчайшие капельки котловой воды, возможность образования которых в паровом пространстве котла еще нуждается в доказательстве, не должны значительно отличаться по составу от котловой воды. Уместно отметить, что влажность «докритического» пара в некоторых случаях оказывалась настолько малой, что приходилось допускать несуразно высокую концентрацию этих гипотетических мельчайших капелек, что никак не вяжется с весьма малой способностью к сорбции большинства минеральных веществ, присутствующих в котловой воде.

Учитывая все это, представляется правильным рассматривать процесс загрязнения пара в до-

критической области не как следствие только капельного уноса, а главным образом, как результат выноса твердых частиц различных соединений, взвешенных в котловой воде. Такой вынос может быть обусловлен или гидрофобностью этих частиц (например, частиц того же коллоидного графита, окислов железа, меди и т. п.), или гидрофобизацией их поверхности вследствие сорбции ею различных органических веществ — масел, жирных кислот и т. д. Этой гидрофобизацией можно объяснить вынос частиц гидроксилатапита, частиц кремниевой кислоты, а также вынос других шламовых частиц, часто наблюдающийся при эксплуатации котлов.

В пользу такого объяснения свидетельствует ряд фактов; рассмотрим некоторые из них.

Рядом исследователей отмечалось, что коэффициент выноса кремниевой кислоты весьма сильно колеблется для различных котлов, даже одинакового давления и работающих с котловыми водами, близкими по составу. Отмечалось также, что даже для одного и того же котла коэффициент выноса колеблется в довольно широких пределах. Работниками Оргрэс испытывался котел, в котором коэффициент выноса кремниевой кислоты приближался к 100%. Если бы переход кремниевой кислоты в пар определялся только, или главным образом, ее растворимостью в паре, то коэффициент выноса SiO_2 имел бы относительно постоянное значение, изменяясь только с изменением параметров пара. Наблюдаемая же в действительности резкая изменчивость коэффициента выноса подтверждает предположение, что этот вынос обусловлен иными причинами и такими факторами, которые обычно ускользают от констатации. Рассматривая процесс перехода SiO_2 в пар как следствие ее выноса, легко объяснить, в частности, относительно большую степень загрязнения кремниевой кислотой пара чистых отсеков котлов со ступенчатым испарением; в этих отсеках, естественно, содержится большее количество веществ, гидрофобизирующих частицы кремниевой кислоты. Расходясь на вынос SiO_2 , а также увлекаясь паром, эти вещества уже в заметно меньшем количестве попадают в соленый отсек котла, вследствие чего в этих отсеках и наблюдается меньшее значение коэффициента выноса для кремниевой кислоты. Повидимому, в питательной воде котлов, на которых инженеры Оргрэс наблюдали такой вынос кремниевой кислоты, содержалось весьма значительное количество гидрофобизирующих веществ — этих флотаторов кремниевой кислоты. Замечено, также, что попадание в котлы органических соединений повышает содержание SiO_2 в паре.

Стеновыми и лабораторными опытами М. Д. Панасенко и А. И. Филимонова установлено влияние дисперсных веществ, присутствующих в котловой воде, на размеры и, следовательно, стабильность пузырьков пара; в присутствии этих дисперсных веществ образующиеся паровые пузырьки не сливаются в более крупные, скорость подъема их резко снижается, возрастает набухание котловой воды. Такое явление прямо указывает на то, что твердые частички собираются на поверхности раздела пар — вода, стабилизируя пузырьки и препятствуя их коалесценции.

Давно известно и хорошо изучено стабилизирующее влияние твердых дисперсных частиц по отношению к пенам и эмульсиям. Представляется правильным объяснять выносом дисперсных частиц SiO_2 также и загрязнение пара кремниевой кислотой; последняя в котловой воде содержится, повидимому, главным образом в виде мицелл и в меньшей степени в ионной форме. Отмеченное А. А. Кот понижение коэффициента выноса SiO_2 при введении в котловую воду фторидов, а также при повышении щелочности котловой воды, несомненно, является следствием изменения состояния поверхности частиц кремниевой кислоты, которая при этом становится менее активным сорбентом по отношению в флотирующим веществам.

Теория выноса твердых частиц из котловой воды в докритической области вполне объясняет и такие факты, как несоответствие физической влажности этого пара его солесодержанию. При этом не приходится прибегать к весьма сомнительным допущениям резкого отклонения концентрации солей в пограничном слое вода — пар от средней их концентрации в котловой воде. Следует лишь признать, что твердые частички таких веществ, как окислы железа, гидроксилатапит, кремниевая кислота и т. п., на своей поверхности наряду с флотирующими веществами содержат также и влагу, а равно и некоторые соли. Такое признание не противоречит фактам, известным из области коллоидной химии, и хорошо объясняет присутствие в докритическом паре ряда растворимых солей в количествах, не отвечающих влажности этого пара, и в соотношениях, отличающихся от тех, в которых эти соли находятся в котловой воде.

Несомненно, вынос твердых частиц, определяясь в первую очередь их размерами и степенью гидрофобности их поверхности, зависит также и от многих других факторов, в частности и от параметров пара. Однако результаты испытаний котлов показывают, что иногда коэффициент выноса SiO_2 для котла более высокого давления оказывается меньшим, чем для котла, работающего с меньшим давлением пара. Различные коэффициенты выноса не только SiO_2 , но и гидроксилатапита и окислов железа для соленого и пресного отсеков одного и того же котла также указывают, что давление пара не является решающим фактором.

Представляется, что трактовка загрязнения «докритического» пара как следствия главным образом выноса из котловой воды взвешенных в ней твердых частиц различной химической природы позволит сосредоточить усилия в более эффективном направлении. Повидимому, нельзя ограничиваться только сепарацией и промывкой пара, а нужно активно вмешиваться в организацию коллоидно-химической природы котловой воды.

Выводы

1. В прямоточных котлах предельное содержание веществ в паре обусловлено их растворимостью в нем. Когда концентрация вещества в питательной воде ниже, чем эта растворимость, то почти все количество вещества переходит в пар

(рис. 3), а в котле практически ничего не остается. Некоторое отклонение реальной зависимости содержания пара от концентрации солей в питательной воде в этом случае (рис. 2 и 3, кривые линии) объясняется, вероятно, сорбцией растворенного вещества поверхностью металла или пульсацией зоны сушения. Для получения от прямоточных котлов пара с меньшим, чем величина растворимости, содержанием следует или поддерживать меньшую концентрацию веществ в питательной воде, или применить какие-либо методы очистки пара (например, путем использования сепараторов).

2. В котлах с естественной циркуляцией действуют различные механизмы загрязнения насыщенного пара: в закритической области преобла-

дает капельный унос, в докритической основную роль играют не унос мельчайших капелек и не растворимость веществ в паре, а унос твердых дисперсных частиц, взвешенных в котловой воде.

Можно считать, что закритический пар представляет собой туман (капельки жидкости в паре), в то время как докритический пар является системой, аналогичной дыму или пыли (частички твердых веществ в паре).

3. Вещества, попадающие в пар в результате выноса, могут в дальнейшем в нем растворяться, если они обладают этой способностью; при этом их поведение на лопаточном аппарате турбин и в пароперегревателях будет, конечно, различным в зависимости от того, создают ли они в паре растворы или нет.

□ □ □

Об избирательном уносе кремниевой кислоты паром высокого давления

Канд. техн. наук А. А. Кот

Величина коэффициента уноса кремниевой кислоты паром зависит, повидимому, не только от давления, но и от типа котлов¹ и состава котловой воды; эта величина для котлов одного и того же давления различных электростанций колеблется в пределах от 0,4 до 1,0%.

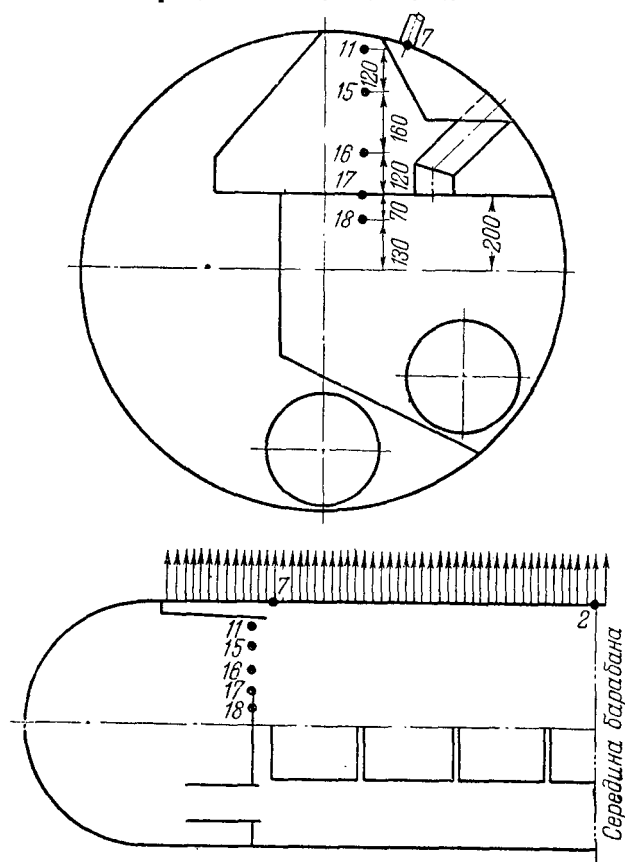


Рис. 1. Расположение отборных точек насыщенного пара в основном барабане котла высокого давления ТП-230.

¹ А. А. Кот, Унос кремниевой кислоты паром высокого давления, «Электрические станции», 1951, № 12.

Ниже приведены результаты исследований уноса паром кремниевой кислоты при 110 ат на котлах ТП-230 со ступенчатым испарением на двух теплоэлектроцентралях (100 и 150 тыс. кВт). Пробы насыщенного пара отбирались из середины чистого отсека основного барабана (точка 2 рис. 1) и симметрично с левой и правой сторон барабана (с левой стороны точка 7). Осуществлялся также отбор проб насыщенного пара по высоте левого пароперепускного окна из промежуточной камеры соленого отсека в чистый отсек (точки 11, 15, 16, 17 и 18). Во всех случаях пробы отбирались с одинаковой скоростью трубками с острыми краями, установленными по центру в устьях паропроводящих труб, а в пароперепускном окне — непосредственно из парового пространства².

Для тэц 100 тыс. кВт было установлено (рис. 2), что унос кремниевой кислоты паром из середины чистого отсека (точка 2 рис. 1) возрастает не только с увеличением ее концентрации в котловой воде, но и с повышением давления пара с 70 до 110 ат. В насыщенном паре соленого отсека (точка 7 рис. 1) концентрация кремниевой кислоты более высока (прямая 3 рис. 2), чем из середины барабана (прямая 2 рис. 2). Аналогичные закономерности наблюдались также и на котлах тэц 150 тыс. кВт (рис. 3).

Коэффициент уноса кремниевой кислоты из середины чистого отсека (точка 2 рис. 1) при 70 ат составляет величину порядка 0,18%, а при 110 ат — 0,7—1,1% (табл. 1 и 2). Для соленых отсеков эта величина значительно ниже; она колеблется в пределах 0,1—0,3%. Наблюдается также снижение коэффициента уноса кремниевой кислоты с увеличением ее концентрации в котло-

² На тэц 150 тыс. кВт опыты проводились Водным отделением ВТИ (А. А. Кот и В. А. Румянцев), а на тэц 100 тыс. кВт — совместно Водным и Котельным отделениями ВТИ (А. А. Кот, А. И. Филимонов и И. Н. Розенгауз).

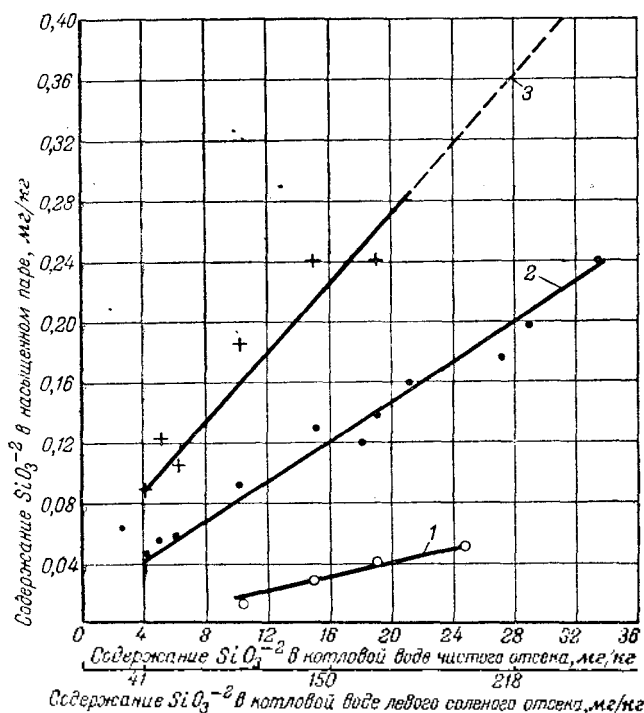


Рис. 2. Зависимость концентрации SiO_3^{2-} в паре от концентрации ее в котловой воде на тэц 100 тыс. кВт.

1—концентрация SiO_3^{2-} в насыщенном паре из середины чистого отсека основного барабана при 70 ат (точка 2 рис. 1); 2—концентрация SiO_3^{2-} в насыщенном паре из середины чистого отсека основного барабана при 110 ат (точка 2 рис. 1); 3—концентрация SiO_3^{2-} в насыщенном паре левого соленого отсека основного барабана при 110 ат (точка 7 рис. 1).

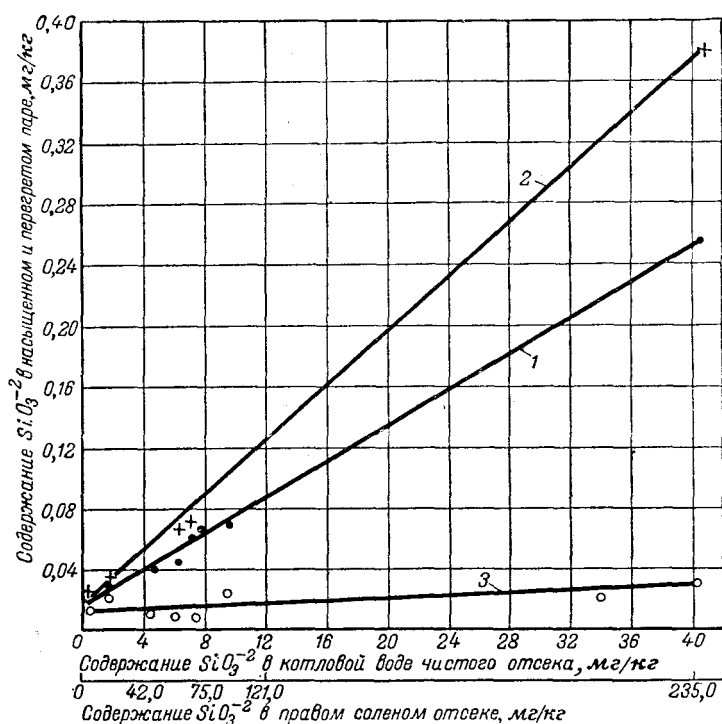


Рис. 3. Зависимость концентрации SiO_3^{2-} в паре от концентрации ее в котловой воде на тэц 150 тыс. кВт.

1—концентрация SiO_3^{2-} в насыщенном паре из середины чистого отсека основного барабана при 110 ат (точка 2 рис. 1); 2—концентрация SiO_3^{2-} в насыщенном паре правого соленого отсека основного барабана при 110 ат; 3—концентрация SiO_3^{2-} в перегретом паре.

Таблица 1

Зависимость концентрации SiO_3^{2-} в паре от концентрации ее в котловой воде на ТЭС 100 тыс. кВт

Опыт	Котловая вода чистого отсека			Котловая вода левого соленого отсека			Насыщенный пар чистого отсека (точка 2, рис. 1)			Насыщенный пар левого соленого отсека (точка 7, рис. 1)			Перегретый пар	
	Молярное отношение концентрации $\text{Na}_2\text{O}(\text{NaOH})$ SiO_2	Гидратная щелочность, мг/кг (°Н)	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Молярное отношение концентрации $\text{Na}_2\text{O}(\text{NaOH})$ SiO_2	Гидратная щелочность, мг/кг (°Н)	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Коэффициент уноса SiO_3^{2-} , %	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Коэффициент уноса SiO_3^{2-} , %	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Давление в котле, ат		
1	5,40	0,60 (1,68)	4,20	5,00	5,44 (15,10)	41,00	0,049	1,17	0,088	0,220	—	110		
2	5,40	0,71 (2,00)	5,00	5,50	7,00 (19,60)	48,00	0,055	1,10	0,122	0,250	—	110		
3	4,20	0,70 (1,96)	6,10	3,60	6,18 (17,30)	65,00	0,059	0,97	0,105	0,160	—	110		
4	4,5	1,77 (4,95)	15,00	4,80	17,50 (49,00)	138,00	0,130	0,86	0,240	0,170	—	110		
5	4,7	2,23 (6,24)	18,00	4,80	17,83 (50,00)	140,00	0,120	0,67	0,183	0,130	0,019	110		
6	3,8	1,90 (5,33)	19,00	3,70	14,65 (41,00)	150,00	0,130	0,73	0,240	0,160	0,010	110		
7	—	—	29,00	—	—	176,00	0,198	0,68	—	—	0,019	110		
8	3,5	3,05 (8,52)	33,00	3,80	21,80 (61,00)	218,00	0,240	0,72	—	—	0,038	110		
9	—	—	10,20	—	—	16,80	0,0125	0,11	—	—	—	70		
10	—	—	14,80	—	—	29,80	0,029	0,19	—	—	0,024	70		
11	—	—	18,80	—	—	84,00	0,040	0,21	—	—	—	70		
12	—	—	24,60	—	—	37,40	0,051	0,21	—	—	0,030	70		

Зависимость концентрации SiO_3^{2-} в паре от концентрации ее в котловой воде на тэц 150 тыс. квт

Опыт	Котловая вода чистого отсека			Котловая вода правого соленого отсека			Насыщенный пар чистого отсека (точка 2, рис. 1)		Насыщенный пар правого соленого отсека, (точка 7, рис. 1)		Перегретый пар
	Молярное отношение концентрации $\text{Na}_2\text{O}(\text{NaOH})$ SiO_2	Гидратная щелочность, мгэкв/л ($^\circ\text{H}$)	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Молярное отношение концентрации $\text{Na}_2\text{O}(\text{NaOH})$ SiO_2	Гидратная щелочность, мгэкв/л ($^\circ\text{H}$)	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Коэффициент уноса SiO_3^{2-} , %	Концентрация SiO_3^{2-} , мг/кг	Коэффициент уноса, SiO_3^{2-} , %	
1	6,70	0,07 (0,20)	0,40	6,30	0,93 (2,60)	3,60	0,004	1,00	—	—	0,010
2	—	—	—	6,20	2,14 (6,00)	9,20	0,025	—	0,029	0,325	0,020
3	4,20	0,18 (0,50)	1,80	5,30	2,99 (8,40)	14,90	0,029	1,60	0,030	0,208	0,025
4	—	—	—	4,20	3,77 (10,60)	24,00	0,032	—	0,049	0,204	0,007
5	3,60	0,43 (1,20)	4,50	6,60	7,30 (20,50)	42,00	0,040	0,89	0,040	0,095	0,008
6	3,90	0,63 (1,76)	6,10	4,00	6,87 (19,30)	65,00	0,045	0,74	0,066	0,101	0,014
7	4,10	0,75 (2,10)	7,00	4,20	8,22 (23,10)	75,00	0,060	0,86	0,070	0,093	0,030
8	2,70	0,53 (1,50)	7,50	2,60	7,19 (20,20)	105,00	0,060	0,80	0,100	0,095	0,007
9	2,70	0,67 (1,88)	9,50	2,70	8,48 (23,80)	121,00	0,070	0,74	0,114	0,094	0,022
10	1,20	1,30 (3,66)	40,30	1,30	7,83 (22,00)	235,00	0,254	0,63	0,380	0,160	0,030

вой воде и с увеличением гидратной щелочности последней³.

В табл. 3 приведены данные по уносу кремниевой кислоты паром из различных точек пароперепускного окна левого соленого отсека (см. рис. 1). Характерным для этих данных является то, что по мере приближения отборных точек к кромке перегородки, т. е. к уровню котловой воды, концентрация кремниевой кислоты в паре, а следова-

Таблица 3

Пробы пара левого соленого отсека по высоте пароперепускного окна из промежуточной камеры в чистый отсек

Точки, из которых отбирались пробы насыщенного пара левого соленого отсека	Концентрация SiO_3^{2-} в котловой воде левого соленого отсека, мг/кг	Концентрация SiO_3^{2-} в насыщенном паре левого соленого отсека, мг/кг	Коэффициент уноса SiO_3^{2-} насыщенным паром левого соленого отсека, %
7	144	0,285	0,198
11	144	0,299	0,207
15	150	1,140	0,760
16	150	1,650	1,100
17	150	2,60	1,730
18	150	6,880	4,60

тельно, и коэффициент уноса ее увеличиваются. Например, унос кремниевой кислоты в точках 7 и 11 составляет около 0,2%, а в точках 17 и 18 он достигает 1,7 и 4,6%.

³ А. А. Кот, Об образовании соединений кремниевой кислоты на лопатках паровых турбин, "Электрические станции", 1950, № 7.

Такое различие величин коэффициентов уноса кремниевой кислоты объясняется в основном различной влажностью пара и различной концентрацией частиц кремниевой кислоты в капелях транспортируемой паром влаги. Как уже ранее отмечалось⁴, кремниевая кислота уносится с насыщенным паром не в форме силиката натрия, а в форме гидратированных частиц — H_2SiO_3 ($\text{SiO}_2\text{H}_2\text{O}$) или m (SiO_2) n (H_2O), являющихся продуктом гидролиза силиката натрия в котловой воде. На поверхности раздела двух фаз вода—пар, по видимому, происходит концентрирование частиц кремниевой кислоты в большей степени, чем в общей массе котловой воды. Образование же мельчайших капелек влаги, легко транспортируемых паром, происходит преимущественно с этой поверхности раздела, что и вызывает избирательный унос кремниевой кислоты.

Можно предположить, что при значительном повышении концентрации SiO_3^{2-} в котловой воде (до 1 000 мг/кг и выше) произойдет насыщение поверхностного слоя, и унос SiO_3^{2-} насыщенным паром будет приближаться к постоянной величине. Однако это требует экспериментальной проверки.

По мнению Т. Х. Маргуловой⁵ унос кремниевой кислоты объясняется молекулярной растворимостью ее в насыщенном паре. Если бы это было так, то коэффициент уноса должен бы иметь постоянное значение, меняющееся только при изменении давления пара; сепарация пара не должна изменять коэффициента уноса.

Известно, что с паром в молекулярной, т. е. в газовой форме, уносятся такие соединения,

⁴ См. сводки 1 и 3.

⁵ См. "Электрические станции", 1952, № 7.

как угольная кислота и аммиак. Однако, если попытаться промыть пар от этих веществ ита- тельной водой при высоком давлении, то успеха нельзя достигнуть, так как растворимость их в воде при этом будет ничтожна. Как показали исследования на стенде Водного отделения ВТИ еще в 1949 г., промывка пара конденсатом от кремниевой кислоты при 120 ат в значительной степени снижает содержание ее в паре.

Т. Х. Маргулова доказывает, что уменьшение коэффициента уноса кремниевой кислоты паром соленых отсеков объясняется не очисткой этого пара от влаги в промежуточной камере, а приме- шиванием пара чистого отсека к пару соленых отсеков и более высокой щелочностью котловой воды соленых отсеков.

Как показывают экспериментальные данные (табл. 1, 2 и 3), эти утверждения не основатель- ны. Из табл. 3 видно, что в паропровод (точка 7) поступал пар преимущественно из соленого от- сека. Это подтверждается хотя бы тем, что коэф- фициенты уноса паром кремниевой кислоты в точ- ках 7 и 11 практически одинаковы, а ведь трудно предположить, чтобы в точке 11 примешивался пар чистого отсека (см. рис. 1).

Кроме того, повышение щелочности котловой воды, которое имеет место в соленых отсеках, оказывает, хотя и незначительное, влияние на уменьшение коэффициента уноса (табл. 1 и 2). Действительно, увеличение почти в 9 раз гидрат- ной щелочности котловой воды в соленых отсеках уменьшило коэффициент уноса кремниевой кисло- ты только в 2—3 раза (табл. 2); аналогичная кар- тина наблюдается и для чистого отсека. В то же время коэффициент уноса кремниевой кислоты паром соленых отсеков в сравнении с паром чи- стого отсека уменьшается в 7—9 раз и более (табл. 2).

При молекулярном растворении кремниевой кислоты в паре высоких параметров из соленых отсеков пар поступал бы сильно загрязненным

ею, так как коэффициент уноса должен быть близ- ким к таковому в чистом отсеке, что препятство- вало бы применению ступенчатого испарения в котлах высокого давления. Однако многие кот- лы и турбины высокого давления длительно экс- плуатируются при концентрации кремниевой кис- лоты в котловой воде соленых отсеков 20—40 мг/л без каких-либо ощутимых нарушений нормальной их работы.

Из практики эксплуатации котлов высокого давления известно, что в перегретом паре кон- центрация кремниевой кислоты, как правило, ниже, чем в насыщенном (табл. 2 и 3 и рис. 3). Это можно объяснить дегидратацией кремниевой кислоты в пароперегревателях и образованием таких форм кремниевой кислоты в растворах при конденсации пара, которые не поддаются опреде- лению существующей методикой, без перевода SiO_2 в ионную форму⁶. Если бы происходило мо- лекулярное растворение, то как в насыщенном, так и в перегретом паре концентрация кремне- вой кислоты определялась бы при существующей методике в одинаковой степени.

Увеличение коэффициента уноса кремниевой кислоты паром с повышением его давления вплоть до критических можно объяснить, пови- димому, кроме повышенного концентрирования ча- стиц гидратированной кремниевой кислоты в слое воды на поверхности раздела двух фаз вода—пар, также и усилением транспортировки капелек вла- ги вследствие увеличения плотности и вязкости пара.

Исходя из этой гипотезы, имеется возможность вести эффективную борьбу с избирательным упо- сом кремниевой кислоты путем промывки пара, применения более эффективных сепарирующих устройств и ступенчатого испарения, а также об- работкой котловой воды различными химически- ми веществами.

⁶ См. сноску 1.

ОТ РЕДАКЦИИ

Статьи Ю. М. Кострикина и А. А. Кота, а также Т. Х. Маргуловой (1952, № 7) содержат различные точки зрения по вопросу уноса кремниевой кислоты паром высо- кого давления. По этому важному вопросу необходимо усилить исследования для полного выявления сущности процессов уноса и установления эффективных мер борьбы с этим явлением.

□ □ □

Саморазогревание подмосковного угля

Канд. техн. наук Б. А. Сперанский

Саморазогревание топлива приводит к пони- жению его теплотворной способности, уменьше- нию выхода летучих и увеличению зольности, а также снижает способность его к коксованию и спеканию и приводит к увеличению содержания мелочи. По данным ВТИ¹ при хранении подмос- ковного угля в опытном штабеле высотой около 10 м теплотворная способность его уменьшилась

в среднем на 6,5% за 3—6 мес. хранения. Еще больший ущерб причиняет самовозгорание и свя- занные с ним пожары, уничтожающие нередко значительные запасы топлива.

Одним из затруднений при изучении самора- зогревания ископаемых углей является большое разнообразие их состава, структуры, условий залегания и т. п. Вследствие этого результаты исследования углей одних месторождений не мо- гут быть полностью перенесены на угли сходных

¹ Т. А. Зикеев и В. М. Третьяков, „За эконо- мию топлива“, 1947, № 12.

марок других месторождений без соответствующей проверки.

Ниже приведены результаты исследований по саморазогреванию подмосковных бурых углей, произведенных по адиабатическому методу, дающему картину саморазогревания, наиболее близкую к действительной.

Адиабатический калориметр (рис. 1) выполнен с автоматическим фотоэлектронным терморегуля-

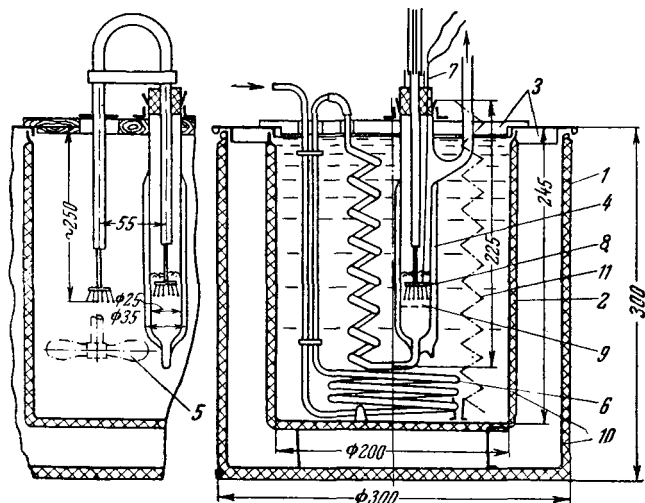


Рис. 1. Адиабатический калориметр.

1 — наружный сосуд; 2 — внутренний сосуд; 3 — крышки; 4 — реакционный сосуд; 5 — мешалка; 6 — медный змеевик; 7 — терморпара; 8 — дифференциальная термобатарея; 9 — проба топлива; 10 — изоляция; 11 — электронагреватель.

тором (рис. 2). Пробу топлива, подсушенную в струе азота в течение 6 час. при 105°C , помещали в реакционный сосуд, погруженный в масляную баню. Через реакционный сосуд пропусклся азот. По достижении теплового равновесия калориметра (колебание температуры масла бани менее $0,01^{\circ}\text{C}$ в течение 10—15 мин.) выпуск азота прекращался и подавался кислород. С этого момента начиналось саморазогревание топлива в реакционном сосуде.

При повышении температуры пробы топлива на $0,005^{\circ}\text{C}$ по сравнению с температурой масла бани автоматически включается подогрев масла бани.

Влияние начальной температуры

При исследованиях скорость подачи кислорода оставалась постоянной ($1,78 \text{ л/час}$); начальная температура угля (t_0) изменялась от 50 до 110°C .

На рис. 3 показано изменение температуры топлива в реакционном сосуде t в зависимости от длительности пребывания в нем угля при различной начальной температуре, что характеризует процесс саморазогревания угля.

Из графика рис. 3 следует, что саморазогревание подмосковного угля так же, как и еманжелинского бурого угля, происходит при любой начальной температуре и возрастает с повышением ее.

Средняя скорость саморазогревания составляет:

$$w = \frac{t - t_0}{\tau}, \quad (1)$$

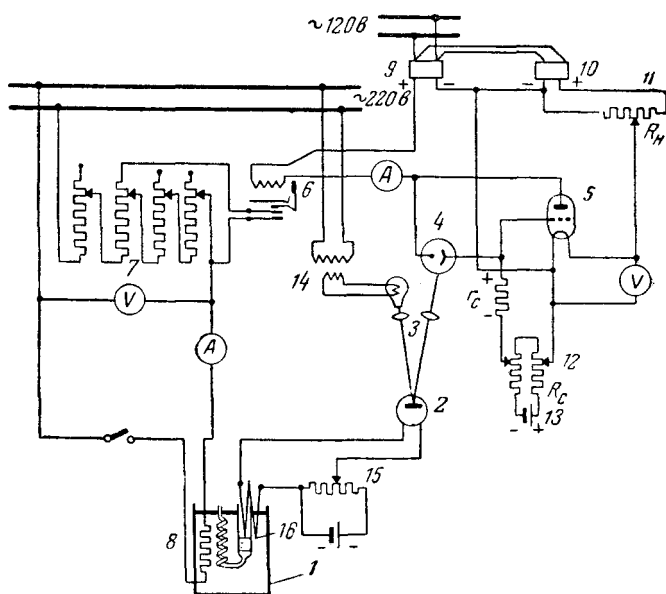


Рис. 2. Схема автоматического терморегулятора адиабатического калориметра.

1 — адиабатический калориметр; 2 — зеркальный гальванометр; 3 — осветитель; 4 — фотоэлемент; 5 — электронная лампа; 6 — электромагнитное реле; 7 — реостаты; 8 — нагреватель; 9 — выпрямитель на 110 в; 10 — выключатель на 25 а; 11 — реостат накала; 12 — реостаты; 13 — сухая анодная батарея БАС-80-X-1; 14 — трансформатор лампы осветителя; 15 — потенциометр смещения; 16 — дифференциальная термобатарея.

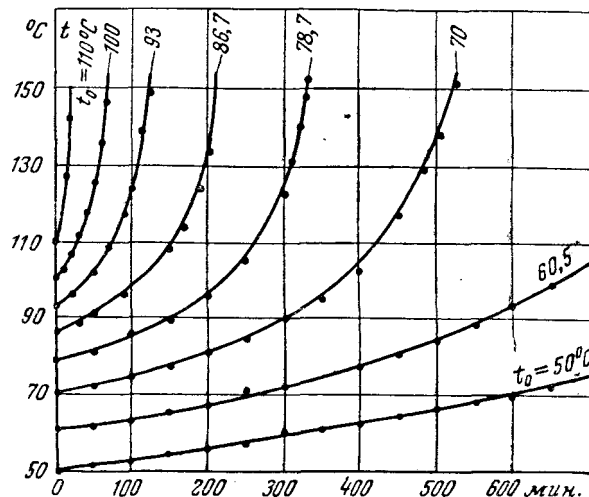


Рис. 3. Саморазогревание подмосковного угля в зависимости от длительности пребывания его в реакционном сосуде при изменении начальной температуры.

где τ — длительность процесса саморазогревания, мин.

Значение w увеличивается с повышением начальной температуры.

Изменение средней скорости саморазогревания подмосковного угля в зависимости от температуры (рис. 4) выражается уравнением

$$w = K(t - t_0) + a, \quad (2)$$

где K — тангенс угла наклона прямых;

a — постоянная (определяется пересечением прямых с осью ординат).

Изменение величины K в зависимости от изменения начальной температуры определяется по уравнению

$$K = Bt_0^n, \quad (3)$$

где B и n — постоянные.

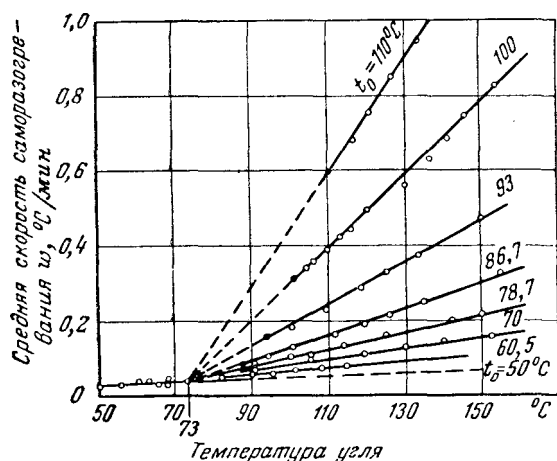


Рис. 4. Изменение средней скорости саморазогревания (w) при различной начальной температуре угля (t_0).

При $t_0 \leq 78,5 - 80^\circ \text{C} \dots B = 7,26 \cdot 10^{-10} \quad n = 4,507$.

При $t_0 > 78,5 - 80^\circ \text{C} \dots B = 2,366 \cdot 10^{-12} \quad n = 5,785$.

Зная среднюю скорость саморазогревания w и закон ее изменения, можно графически определить скорость саморазогревания в начальный момент w_0 , а отсюда и истинную скорость саморазогревания:

$$\frac{dT}{d\tau} = w_t = 2w - w_0. \quad (4)$$

Логарифмическая функция $\lg\left(\frac{dT}{d\tau}\right) = f\left(\frac{1}{T}\right)$

изображается прямыми линиями (рис. 5) для всех начальных температур, откуда следует, что истинная скорость саморазогревания изменяется по общему уравнению

$$w_t = \frac{dT}{d\tau} = C e^{-\frac{A}{RT}}, \quad (5)$$

где C — постоянная;

A — коэффициент, характеризующий энергию активации, ккал/моль;

R — газовая постоянная;

T — абсолютная температура угля.

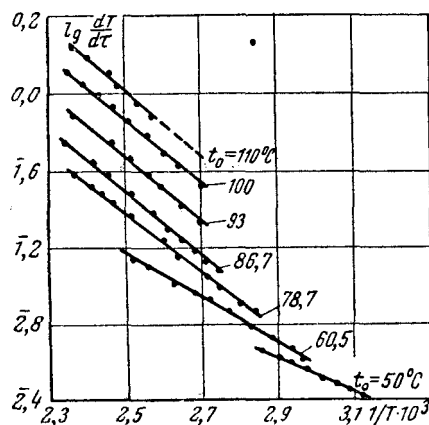


Рис. 5. Зависимость $\lg \frac{dT}{d\tau}$ от $\frac{1}{T}$ при различной начальной температуре угля (t_0).

Это выражение соответствует широко известному уравнению, характеризующему скорость протекания химических реакций.

Наклон логарифмических прямых для начальной температуры $t_0 \approx 78,5^\circ \text{C}$ уменьшается; уменьшается также значение коэффициента A (табл. 1), т. е. механизм реакции окисления меняется.

Таблица 1

$t_0, ^\circ \text{C}$	110	100	93	86,7	78,7	60	50
$A, \text{ ккал/моль}$	7840	7840	7880	7840	6300	5300	2770
$C/10^3$	—	3,18	8,913	5,56	0,698	0,1084	0,0224

Изменение средней скорости саморазогревания $w = \frac{t - t_0}{\tau}$, являющейся в начальный момент истинной скоростью саморазогревания $w_t = \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_{t \rightarrow t_0}$, характеризуется кривой, близкой к параболе (рис. 6). Вершина ее имеет координаты: $w_0 = 0,024^\circ \text{C/мин}$, $t_0 = 40^\circ \text{C}$.

Отсюда следует, что в исследованном интервале температуры уголь начинает саморазогреваться при любой начальной температуре, следуя закону изменения истинной скорости саморазогревания.

Для подмосковного угля установлены две эмпирические зависимости:

при

$$t_0 < 78,5^\circ \text{C} \quad \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_{t \rightarrow t_0} = \gamma(t_0 - t_0)^2 + w_0, \quad (6)$$

при

$$t_0 > 78,5^\circ \text{C} \quad \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_{t \rightarrow t_0} = \gamma'(t_0 - t_0)^2 \left(\frac{t_0 - 78,5}{10}\right) + w_0. \quad (7)$$

где постоянная $\gamma = 2,5 \cdot 10^{-5}$, а $\gamma' = 3,75 \cdot 10^{-5}$.

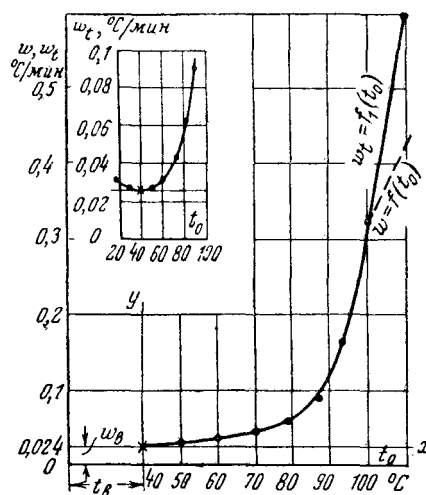


Рис. 6. Изменение начальной скорости саморазогревания в зависимости от начальной температуры угля (t_0).

Таким образом, начиная с $t_0 \approx 78,5^\circ\text{C}$, происходит более быстрое саморазогревание угля, что объясняется изменением механизма реакций окисления при этой температуре; при температуре ниже $78,5^\circ\text{C}$ преобладают адсорбционные процессы с образованием уголь-кислородных комплексов, а при $t_0 > 78,5^\circ\text{C}$ одновременно адсорбционные и окислительные процессы (возникновение и распад уголь-кислородных комплексов), но с преобладанием окислительных процессов.

Угли, подвергающиеся саморазогреванию вторично (т. е. предварительно окисленные), также подчиняются приведенным закономерностям, однако величины скорости окисления и энергия активации (коэффициента) при этом получаются меньшими.

Влияние скорости подачи кислорода

В произведенных испытаниях начальная температура t_0 поддерживалась равной 100°C , а скорость подачи кислорода через пробу топлива в реакционном сосуде изменялась от $0,5$ до $6,2 \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{мин}$.

С увеличением скорости подачи кислорода возрастает и саморазогревание угля (рис. 7). Особенно быстро саморазогревание увеличивается при увеличении скорости подачи кислорода от $0,5$ до $4-5 \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{мин}$; дальнейшее увеличение скорости подачи кислорода w_{O_2} оказывает уже меньшее влияние на возрастание скорости саморазогревания.

В практике хранения углей кислород в глубину штабеля проникает сравнительно с небольшой скоростью, т. е. саморазогревание в штабеле будет приближаться к условиям саморазогревания, когда $w_{O_2} < 4-5 \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{мин}$. Поверхность же штабеля может омываться большим количеством кислорода, особенно при ветре, но в этом случае эффективного саморазогревания может и не происходить вследствие большой отдачи тепла в окружающую среду (за счет охлаждающего действия воздуха).

При всех значениях w_{O_2} средняя и истинная скорость саморазогревания изменяются соответственно уравнениям (2) и (5). Значение $A = 7020 - 7880 \text{ ккал/моль}$.

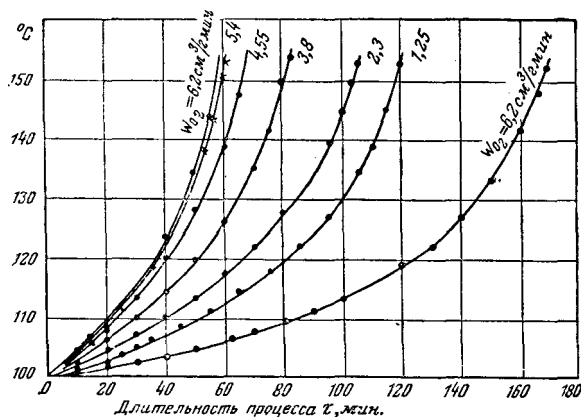


Рис. 7. Саморазогревание подмосковного угля в зависимости от изменения скорости подачи кислорода.

На рис. 8 показано изменение истинной скорости саморазогревания ($w_t = \frac{dT}{d\tau}$) в зависимости от скорости подачи кислорода (w_{O_2}) при постоянном значении температур $100, 110, 115, 125, 150^\circ\text{C}$. При всех указанных значениях температуры особенно быстро возрастает скорость саморазогревания при $w_{O_2} < 2-2,5 \text{ см}^3/\text{г} \cdot \text{мин}$.

Построив там же зависимость $\frac{w_{O_2}}{w_t} = \varphi(w_{O_2})$, устанавливаем, что она имеет прямолинейный характер, что дает возможность получить эмпирическое выражение для подсчета истинной

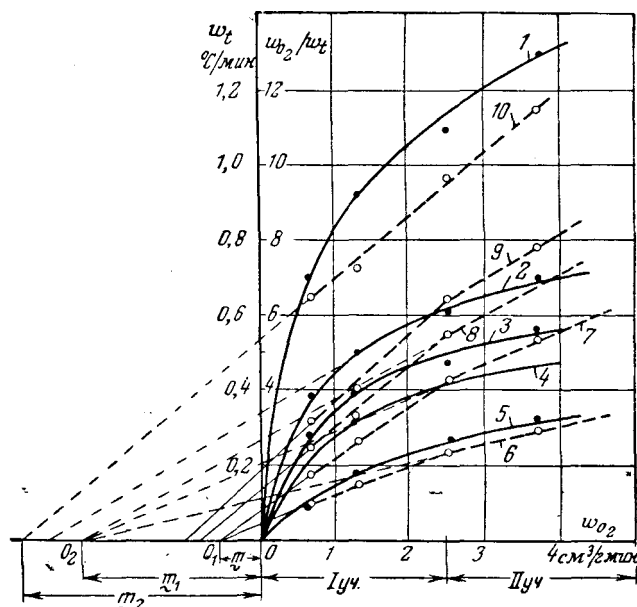


Рис. 8. Зависимость w_t и $\frac{w_{O_2}}{w_t}$ от скорости подачи кислорода (подмосковный уголь).

Сплошные линии — w_t ; пунктирные — $\frac{w_{O_2}}{w_t}$; 1 и 6 — при 150°C ; 2 и 7 — при 125°C ; 3 и 8 — при 115°C ; 4 и 9 — при 110°C ; 5 и 10 — при 100°C .

скорости саморазогревания в зависимости от скорости подачи кислорода:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{w_{O_2}}{a(w_{O_2} + m)}, \quad (8)$$

где a — угол наклона прямых $w_{O_2}/w_t = \varphi(w_{O_2})$ к оси абсцисс; m — отрезок, отсекаемый на оси абсцисс вышеуказанными прямыми, $\text{см}^3/\text{г} \cdot \text{мин}$.

Тогда общее уравнение саморазогревания (5) для подмосковного угля с учетом влияния скорости подачи кислорода будет иметь вид:

$$\frac{dT}{d\tau} = C_1 \frac{w_{O_2}}{a(w_{O_2} + m)} \cdot e^{-\frac{A}{RT}}. \quad (9)$$

Величина m зависит от температуры, а для некоторых углей и от скорости подачи кислорода.

До температуры $120-125^\circ\text{C}$ величина m — переменна, выше $120-125^\circ\text{C}$ — она постоянна. Следовательно, до температуры $120-125^\circ\text{C}$

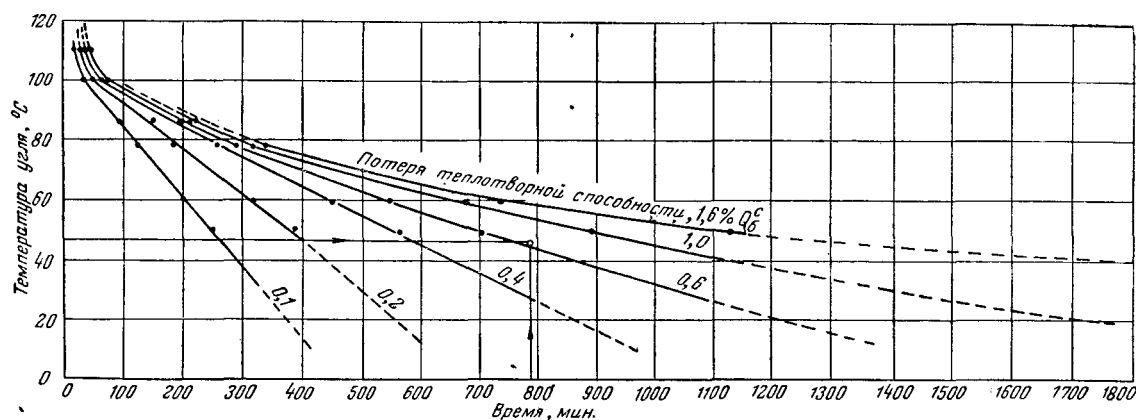


Рис. 9. Потеря теплотворной способности подмосковного угля при саморазогревании (в % Q_6^c) в зависимости от длительности.

имеется одна зависимость саморазогревания от w_{O_2} , а при более высокой температуре — другая. Температура 120—125°С соответствует, таким образом, изменению механизма реакции окисления и может быть названа „критической температурой“.

Кривые $\frac{w_{O_2}}{w_t} = \varphi(w_{O_2})$ изменяют наклон при $w_{O_2} = 2,3—2,5 \text{ см}^3/2 \text{ мин}$. Следовательно, на механизм реакции окисления влияет также скорость подачи кислорода.

На рис. 9 показана зависимость снижения теплотворной способности подмосковного угля при саморазогревании (в % Q_6^c) от длительности пребывания угля при данной температуре. Из этого графика следует, что уменьшение теплотворной способности происходит и при низких температурах угля; в зависимости от длительности хранения снижение теплотворной способности достигает значительной величины и может оказаться больше, чем при кратковременном высоком повышении температуры.

Выводы

1. На основании произведенных исследований получены эмпирические уравнения саморазогревания, позволяющие ориентировочно определить величину саморазогревания подмосковных углей.

2. Установлено изменение механизма процесса саморазогревания при температуре 78—80 и 120—125°С.

3. Установлено, что саморазогревание при температуре выше 40—50°С происходит по параболической зависимости. При температуре ниже 40°С можно предполагать путем экстраполиро-

вания, что процесс саморазогревания подмосковного угля как и еманжелинского бурого угля подчиняется зависимости, близкой к прямолинейной.

Следовательно, температура 40—50°С, выше которой саморазогревание совершается по параболической зависимости, является опасной в отношении дальнейшего развития саморазогревания.

При температуре выше 78—80°С саморазогревание резко возрастает [уравнение (7)]. При хранении подмосковных углей повышение температуры сверх 78—80°С является недопустимым.

4. Произведенные исследования позволяют оценить потерю теплотворной способности подмосковного угля при его саморазогревании (рис. 9).

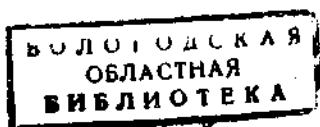
5. На рис. 7 и 8 можно видеть, что энергичное саморазогревание устанавливается при сравнительно небольшой подаче кислорода и возрастает с увеличением скорости подачи кислорода. Отсюда следует, что чем больше проникает воздуха в штабели угля при хранении, тем больше вероятность его самовозгорания.

Следовательно, при хранении углей следует строго выполнять требования действующих инструкций по изоляции штабелей от проникновения в них кислорода посредством послойной их укатки.

Хранение угля в бетонированных ямах или в штабелях с обязательной укаткой (в обоих случаях) является наиболее эффективным способом, предохраняющим от проникновения кислорода в уголь.

По данным исследований автора, угольная пыль (с частицами менее 0,2 мм) в слое имеет меньшую склонность к саморазогреванию, чем фракции угля размером 0,2—2,5 мм.

□ □ □



Организация централизованного ремонта в энергосистеме

Инж. С. И. Папинов

В 1942 г. в энергосистеме, где в связи с началом войны резко сократилась численность ремонтного персонала, была организована частичная централизация ряда ремонтных работ.

Несмотря на трудность военного времени, в энергосистеме не только проводились обычные ремонты основного и вспомогательного оборудования с точным соблюдением графиков, но и выполнялись весьма трудоемкие реконструктивные работы. Так, например, производились реконструкции хвостовой части ряда котлов, замена пластинчатых воздухоподогревателей трубчатыми, переделка сепарационных устройств, установка новых водяных экономайзеров, смена пароперегревателей, реконструкция топочных устройств и т. п.

Для выполнения многочисленных работ такого рода в слесарном цехе Ремонтно-механического завода (РМЗ) системы была сосредоточена небольшая группа слесарей-ремонтников, которая направлялась для усиления тех или иных участков работ.

Позже, когда эта группа несколько пополнилась, на нее целиком было возложено выполнение всего объема работ, выходящего за пределы типового при капитальных ремонтах основного и вспомогательного оборудования. Кроме того, ряд наиболее квалифицированных ремонтников-турбинистов, сварщиков и др. из персонала отдельных электростанций также централизованно использовался на ремонтах в системе.

По окончании войны объем выполнявшихся заводом в централизованном порядке работ существенно увеличился. В ряде случаев завод выполнял комплексные ремонты отдельных агрегатов.

Все детали и узлы для реконструктивных работ (кубы воздухоподогревателей, змеевики экономайзеров и перегревателей, сажеобдувочные аппараты, сепарационные устройства, вентиляторы и дымососы и др.), устанавливаемые Ремонтно-механическим заводом при ремонте, изготавливались им же.

Благодаря централизации реконструктивных и частично ремонтных работ общее количество ремонтного персонала на станциях системы и в Ремонтно-механическом заводе за 8 лет уменьшилось на 35%, несмотря на рост системы. Одновременно улучшалось качество выполнения ремонтов и уменьшалась длительность простоев (среднее годовое сокращение длительности простоя в ремонте достигало до 15% против плана).

Наряду с этим имелись и большие недостатки: высокие накладные расходы по Ремонтно-механическому заводу (165%), периодическая недогрузка ремонтного персонала, использование этого

персонала зачастую на мелких работах, недостаточная его ответственность за качество выполняемых работ и др.

В январе 1952 г. на базе слесарно-монтажного цеха РМЗ был организован цех внешних работ, в задачу которого входило проведение всех ремонтных и реконструктивных работ на основном тепловом оборудовании предприятий системы.

Вначале цех внешних работ был укомплектован за счет завода и электростанций начальником, руководителями котельной и турбинной групп, несколькими мастерами, а также слесарями и сварщиками бывшего слесарно-монтажного цеха в количестве около 35 чел.

На время проведения первых ремонтов станции передавали в распоряжение цеха внешних работ недостающий персонал. На новый цех возлагались руководство и ответственность за проведение этих ремонтов, а на станции — технический контроль и необходимая техническая помощь работникам цеха. Таким путем, начиная с февраля 1952 г., был проведен капитальный ремонт нескольких котлов и паровых турбин.

Первые же централизованные ремонты, несмотря на ряд неизбежных в организационный период недостатков, показали положительные стороны централизации: повысилась требовательность со стороны заказчиков-электростанций к подрядчику-заводу в части качества ремонтов; выполнения правил Котлонадзора; требований правил безопасности, выполнения ряда мелких, зачастую ранее упускаемых работ, своевременно представления отчетной документации и т. д.

Затем заводу были переданы капитальные ремонты всех котлов и турбин, а с конца июня также все текущие ремонты основного теплового оборудования.

Однако нельзя считать, что на этом заканчивается работа по централизации ремонтов; она должна в дальнейшем углубляться, рационализироваться; впереди еще задача организации централизованного ремонта электрооборудования не только электростанций, но и электросети.

С февраля по июнь в системе централизованным порядком капитально отремонтировано (не считая текущих ремонтов) 10 котлоагрегатов и 7 турбин.

Большинство ремонтов выполнено с сокращением длительности простоя (всего по энергосистеме 11% за указанный период против плана) и с хорошим качеством работ.

Кроме типового объема на многих котлах и турбинах выполнялись крупные ремонтные и реконструктивные мероприятия, например смена барабана на секционном котле 75 т/час; реконструк-

ция фронтальных экранов на двух котлах ТКЗ по 160—200 т/час; монтаж устройства трехступенчатого испарения (с выносными циклонами) на трех таких же котлах со сверловкой барабанов и коллекторов; замена перегревателей на двух секционных котлах производительностью по 22,5 т/час; монтаж двух комплектных (изготовленных силами РМЗ) дымососов и ряд других трудоемких работ. Общая стоимость ремонтов, выполненных цехом внешних работ за время с начала (т. е. с февраля) проведения централизации до конца июня, составила около 1,5 млн. руб., при средней численности персонала к концу этого периода 100—110 чел.

Сложные трудоемкие работы, а также работы при проведении скоростных ремонтов механизмируются. При большом объеме обмуровочных работ механизмируется подача огнеупора, выброс мусора и лома кирпича из топок.

Ремонтно-механический завод имеет договор с отделением завода «Котлоочистка» на проведение всех работ по чистке котлов. Надо считать в дальнейшем более целесообразным передачу рабочих котлоочистки ремонтным организациям энергосистем, проводящим централизацию ремонтов.

Оплата за выполненные работы производится электростанциями по ценникам, утвержденным Министерством электростанций. Оплата работ, не имеющих прейскурантной цены, производится по фактическим расходам плюс накладные расходы, равные в настоящее время по цеху внешних работ 50% (против прежних 165%).

Основной трудностью в работе является сильная уплотненность графика ремонтов, при котором капитальные и текущие ремонты следуют один за другим почти без промежутков. Большей частью в ремонте находится одновременно по два, а в отдельных случаях и три агрегата. Одновременность ремонта на двух разных электростанциях приводила к необходимости разделения группы ремонтников на две разобщенные части, что заставляло разделяться на две части и руководящий персонал. Это обстоятельство, безусловно, являлось большим недостатком и вело к ослаблению контроля. В настоящее время этот вопрос в значительной степени разрешен путем более конкретного распределения функций мастеров, выделения отдельных мастеров для проведения текущих ремонтов без увеличения количества инженерно-технических работников.

Существенным недостатком в работе цеха является также еще слабая подготовка к проведению ремонтов, недостаточное знакомство с объемом работ как руководителей, так и рабочих. В отдельных случаях бригада ремонтников во главе с руководителями прибывала на ремонт лишь при уже остановленном агрегате и на месте знакомилась с объемом работ. Такие случаи становятся все более редкими. Тем не менее вопросам подготовки к ремонтам, а в особенности

скоростным, должно быть уделено особое внимание.

Недостаточно все еще применение средств механизации. Одним из методов улучшения работы в этой части, возможно, является организация на каждой электростанции постоянных участков цеха внешних работ, персонал которых должен проводить подготовительные к ремонтам работы и в первую очередь заблаговременно готовить средства и устройства механизации в соответствии с проектом организации ремонта агрегатов.

В отдельных случаях имело место и некачественное проведение ремонтов. В частности, на одном из котлов ТКЗ 160/200 т/час в результате недосмотра не был устранен свищ возле места вальцовки одной из труб водяного экономайзера, что через три недели вызвало повторную остановку агрегата.

Не в полной мере разграничены еще взаимоотношения между персоналом цехов электростанций и ремонтниками РМЗ. Вследствие еще недостаточного опыта персонала цеха внешних работ, а иногда вследствие отсутствия того или иного мастера (при одновременности ремонта, например, трех агрегатов) цехам электростанций приходится непосредственно принимать участие в ремонтах, отходя от своих прямых функций техконтроля. Однако и этот недостаток постепенно устраняется.

В течение ремонта отчетная техническая документация составляется заводом и подписывается совместно со станциями.

Для производства работ, не предусмотренных в представленной заранее электростанцией ведомости объема работ или возникших по ходу ремонта, заказчик передает руководителю ремонта дополнительный перечень работ. По ходу ремонта поузловая приемка, так же как и окончательная приемка, производится комиссиями согласно циркуляру Министерства электростанций.

Нельзя считать переход на централизацию ремонтов простым и легким делом. Это сложное мероприятие, требующее большой организационной перестройки, преодоления ряда трудностей и недостатков.

В этом отношении большое значение должна иметь систематическая популяризация опыта централизованного ремонта в различных энергосистемах как в печати, так и путем организации широких конференций с участием руководителей централизованного ремонта, стахановцев и мастеров. Желательно проведение таких конференций в системах, имеющих уже опыт централизованного ремонта. Необходимо широко развернуть социалистическое соревнование между цехами внешних работ различных энергосистем, осуществляющих централизацию ремонтов.

Техническое управление Министерства электростанций должно уделить больше внимания вопросам установления норм, разработке качественных показателей ремонта, созданию ценников и т. д.



Монтаж батарейных циклонов крупными блоками

Инж. Ф. Г. Логунов

До последнего времени вопросу организации монтажа батарейных циклонов и золоуловителей вообще (включая и электрофилтры) не уделялось необходимого внимания как со стороны проектных организаций, разрабатывающих компоновку котельных агрегатов и проекты организации монтажных работ, так и со стороны монтажных организаций и поставщиков оборудования.

Очень часто батарейный циклон, состоящий из нескольких сот циклонных элементов, компоновался в общем корпусе. Учитывая, что общий вес металлической части такого золоуловителя достигает 100 т, становится вполне очевидной невозможность монтажа его предварительно собранными блоками.

Монтажные организации, считая монтаж золоуловителей делом второстепенным, обычно отодвигают его к концу монтажа котлоагрегата в це-

лом. В результате очень часто пуск котла задерживается из-за неготовности золоуловителей.

Монтаж батарейных циклонов очень трудоемок. Особенно много времени затрачивается на контрольную подгонку и установку циклонных элементов, устанавливаемых каждый за два подъема (отдельно корпус и выхлопная труба). В батарейных циклонах общее количество деталей достигает 800—1 000 шт. Поэтому естественно стремление максимально сократить количество операций, выполняемых непосредственно на месте установки золоуловителя, а сам процесс сборки производить заранее на сборочной площадке.

Анализ весовых характеристик батарейных циклонов с металлическим корпусом, запроектированных для различных станций, полностью подтверждает такую возможность.

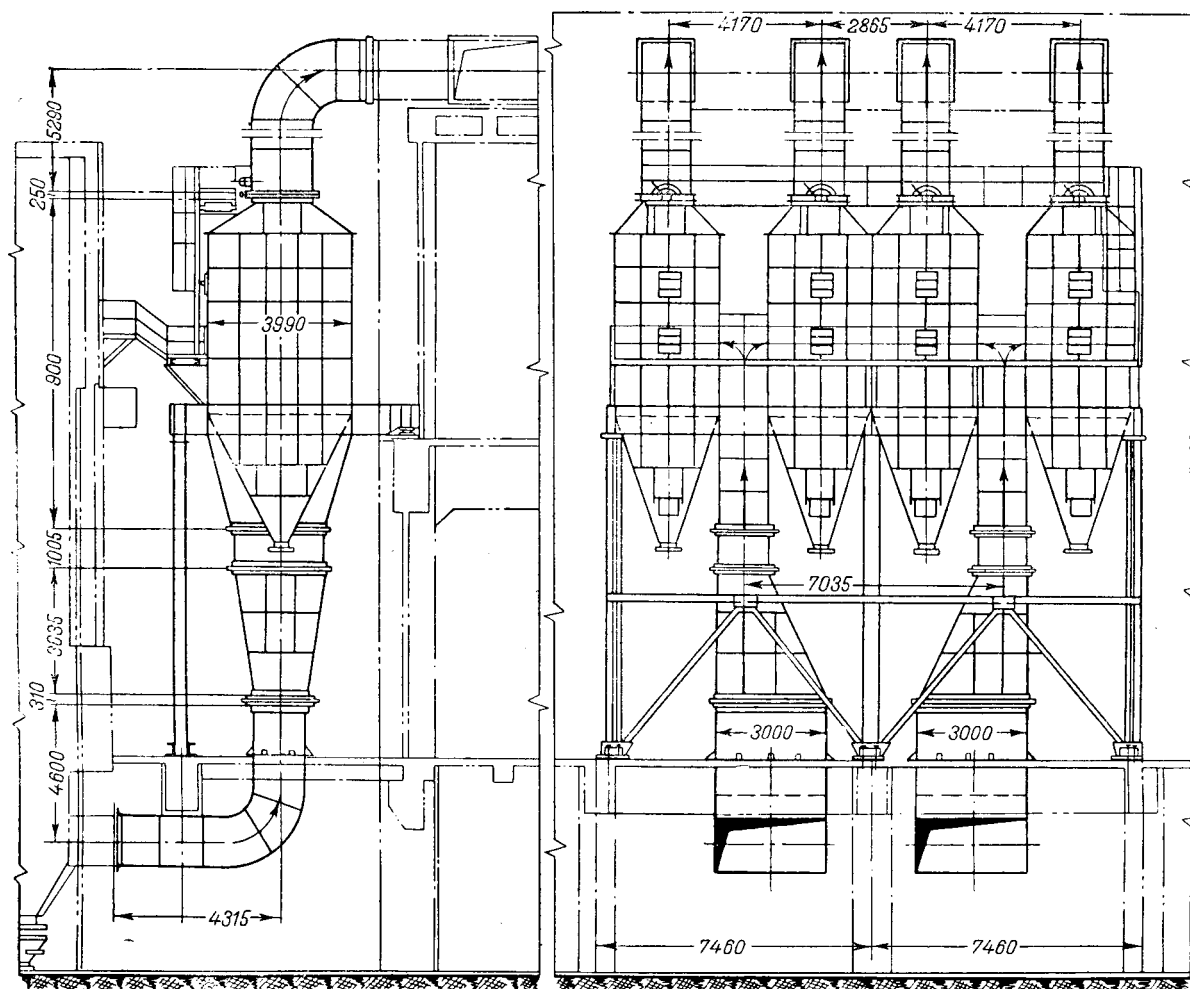


Рис. 1. Установка четырехсекционного батарейного циклона.

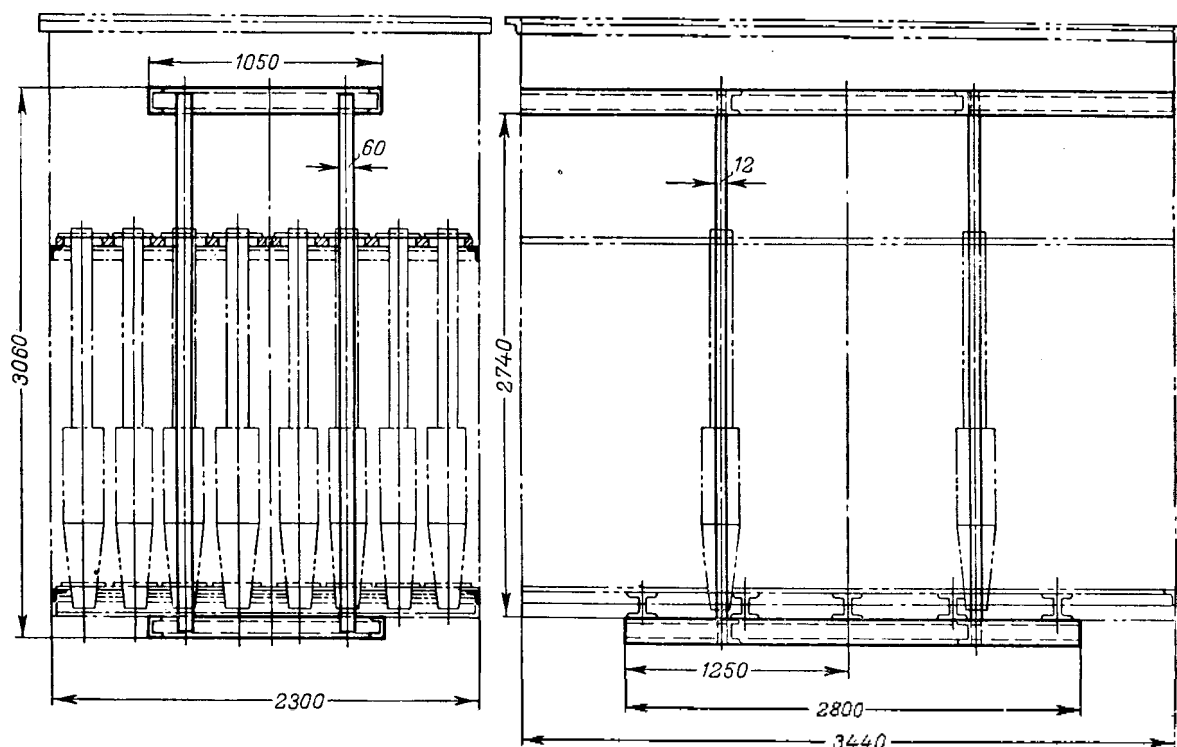
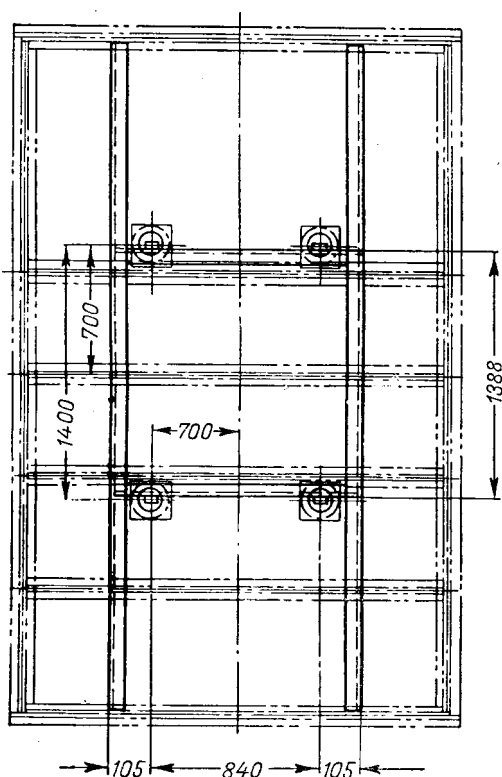


Рис. 2. Приспособление для подъема блоков батарейного циклона.



Удельный вес циклонных элементов типа «винт» в среднем составляет около 60% от общего веса батарейного циклона. Для батарейных циклонов с элементами типа «розетка» удельный вес элементов будет меньше и составляет около 50%, так как вес одного элемента типа «Розетка» меньше элемента типа «Винт» на 25%.

В табл. 1 приведены средние весовые данные, подсчитанные для четырех секционных батарейных циклонов с общим количеством элементов: 280, 384, 480 и 640 шт.

При изготовлении батарейных циклонов, состоящих из нескольких секций, устанавливаемых на общей опорной раме, монтаж их следует выполнять блоками, состоящими из следующих двух элементов: 1) опорная рама с бункерами; 2) корпус с решетками, циклонными элементами и диффузорами.

Таблица 1

	Количество циклонных элементов							
	4×70		4×96		4×120		4×160	
	Винт	Розетка	Винт	Розетка	Винт	Розетка	Винт	Розетка
Вес циклонных элементов, т	28	21	38	29	48	36	64	48
Вес металлической части (корпус, рама, бункеры, решетки и т. д.), т	19	19	26	27	32	35	54	44
Общий вес батарейного циклона, т	47	40	64	56	80	71	108	92

В табл. 2 приведены веса получающихся монтажных блоков, причем вес самого большого блока не превышает 25 т. Необходимо отметить, что для батарейных циклонов с общим количеством циклонных элементов, не превышающих 400, корпуса могут изготавливаться общими для двух секций (спаренные секции). Такой батарейный циклон показан на рис. 1.

Подъем и установка на место таких блоков затруднений не встречает. Для этого могут быть применены любые грузоподъемные средства, используемые в настоящее время при монтаже котельных агрегатов.

При подъеме блоков корпуса с циклонными элементами во избежание выпадения элементов

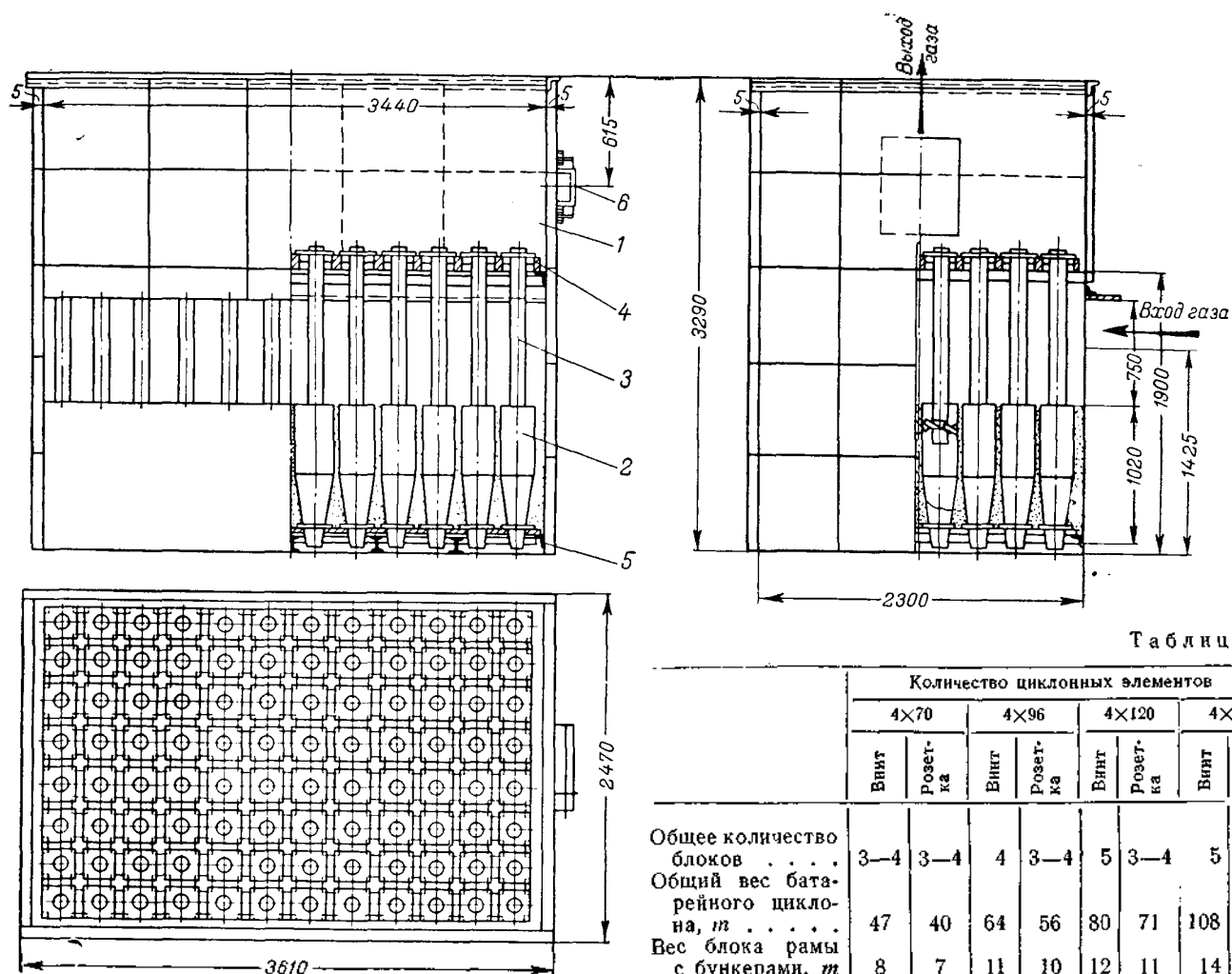


Таблица 2

	Количество циклонных элементов							
	4×70		4×96		4×120		4×160	
	Вит	Розет-ка	Вит	Розет-ка	Вит	Розет-ка	Вит	Розет-ка
Общее количество блоков	3-4	3-4	4	3-4	5	3-4	5	5
Общий вес батарейного циклона, т	47	40	64	56	80	71	108	92
Вес блока рамы с бункерами, т	8	7	11	10	12	11	14	12
Вес блока одно-секционного корпуса с циклонными элементами, т	10	8	14	12	17	15	24	20
Вес блока двух-секционного корпуса с циклонными элементами, т	19	16	25	22	—	—	—	—

Рис. 3. Блок одной секция батарейного циклона из 96 циклонных элементов типа „Розетка“.
1—корпус циклона; 2—элемент; 3—выхлопные трубы; 4—верхняя решетка; 5—нижняя решетка; 6—люк размером 600 × 540 мм.

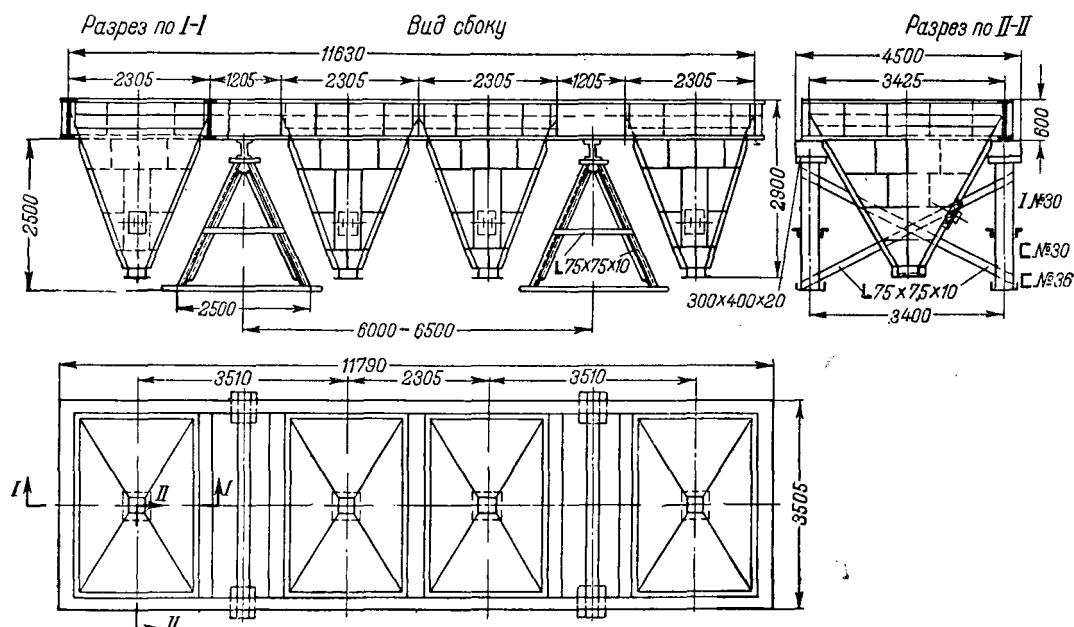


Рис. 4. Блок опорной рамы с бункерами.

Технологический график на сборку и монтаж четырехсекционного батарейного циклона на 384 элемента типа «Розетка»

Наименование работ	Объем работ	Вес, т	Трудозатраты, чел.-дней	Продолжительность в рабочих днях																			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
				Подготовительные работы												Монтаж							
Сборка блоков																							
Подготовительные работы: изготовление приспособлений и стеллажа, подача деталей оборудования со склада	1 компл.	—	90	—																			
Контрольная сборка циклонных элементов	384 компл.	—	40		—																		
Сборка блока опорной рамы с бункерами	1 шт.	9,4	16		—																		
Сборка блоков корпуса с элементами: блок одинарный	2 шт.	21	57		—																		
блок спаренный	1 шт.	21	56			—																	
Подготовка блоков к подъему	4 шт.	51,4	3													—							
Монтаж батарейного циклона																							
Подготовительные работы: приемка опорного каркаса, подготовка тяжелого оборудования, подача блоков в монтажную зону	1 компл.	—	16													—							
Установка блоков опорной рамы с бункерами	1 шт.	9,4	2														—						
Установка блоков корпуса с элементами	3 шт.	42	21															—					
Испытание и сдача батарейного циклона	1 компл.	—	3																		—		

вместе с решетками (вес которых в этом блоке составляет около 80%) из корпуса необходимо использовать простое приспособление, конструкция которого показана на рис. 2. Приспособление состоит из двух рам, размещенных одна снизу, а вторая сверху и связанных между собой несколькими тягами из полосовой или круглой стали, пропущенными через циклонные элементы. Верхняя рама концами приваривается к стенкам корпуса.

Строповка блока при подъеме производится прямо за раму или за специально приваренные проушины.

На рис. 3 и 4 показаны монтажные блоки ба-

тарейного циклона на 384 циклонных элемента типа «Розетка». Примерный технологический график выполнения работ по сборке и монтажу этого циклона приведен в табл. 3. Как видно из графика, при монтаже батарейного циклона крупными блоками, собранными предварительно на сборочной площадке, процесс монтажа сводится к подъему четырех блоков, установке их на каркас и выверке и продолжается три с половиной рабочих смены. Преимущества такой организации монтажа вполне очевидны. По своим габаритным размерам все монтажные блоки позволяют производить подачу их к месту установки на железнодорожных платформах.



Определение расслоений в материалах ультразвуком без обработки поверхности

Инж. В. С. Соколов

В начале развития ультразвуковой дефектоскопии (1928 г.) проф. С. Я. Соколовым был предложен дефектоскоп с генератором незатухающих колебаний, работающий по «теневому» методу, или на «просвет» (рис. 1). Впоследствии оказалось, что такая схема не может быть применена для обнаружения в металлах мелких дефектов, таких, как газовые поры диаметром 1—2 мм, трещины такого же размера и т. д. Неоднократные отражения звуковой энергии от поверхности металла, появление стоячих волн, вызывало появление на экране электронно-лучевой трубки, применяемой в качестве указателя, большого числа ложных импульсов и затрудняло объяснение результатов исследования. Тогда же С. Я. Соколовым был предложен импульсный ультразвуковой дефектоскоп, который в дальнейшем и получил широкое применение в промышленности.

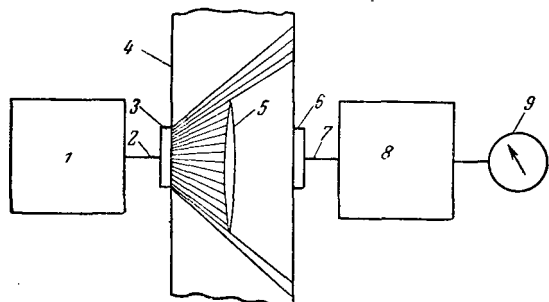


Рис. 1. Схема ультразвукового дефектоскопа, работающего по теневому методу.

1 — генератор; 2 — кабель к передающей пьезоэлектрической пластинке; 3 — передающая пьезоэлектрическая пластинка; 4 — контролируемый металл; 5 — дефект внутри металла; 6 — приемная пьезоэлектрическая пластинка; 7 — кабель к усилителю; 8 — усилитель; 9 — указатель.

Опыт показал, как видно из описанного ниже, что ультразвуковые дефектоскопы, работающие по «теневому методу», могут быть успешно применены во многих случаях. Ультразвуковыми импульсными дефектоскопами удается обнаруживать внутри металла мельчайшие дефекты¹. Однако для применения ультразвуковых импульсных дефектоскопов с существующими твердыми державками (шупами) для пьезоэлектрических пластин требуется чистая поверхность металла, обработанная до «двух треугольников». Помимо этого у них имеется так называемая «мертвая зона» и контролировать ими металл толщиной менее 10—12 мм не удастся. По этой причине многие промышленные металлические изделия невозможно было контролировать ультразвуком. В частности, на металлургических заводах прокатанный металл совсем не контролировался с целью выявления расслоений, так как применение для этого ультразвуковых дефектоскопов требует зачистки всей поверхности листов. Известно, что

расслоения не выявляются и просвечиванием рентгеновскими и гамма-лучами.

Помимо указанного недостатка применяемая в существующих импульсных дефектоскопах высокая частота колебаний не позволяет производить контроля качества литого металла из-за большого рассеивания и поглощения ультразвука крупными зернами металла. Такие дефектоскопы по той же самой причине не пригодны и для контроля целого ряда других материалов, как, например, пластмасс, резиновых изделий и т. п.

Известно, что размер дефекта, который можно обнаружить ультразвуком внутри металла, должен быть не менее длины ультразвуковой волны. Длина ультразвуковой волны определяется формулой

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где c — скорость звука в металле, м/сек;
 f — частота, гц.

Следовательно для обнаружения дефектов площадью около 1 см² необходима частота колебаний

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ или } f = \frac{5700000}{10} = 570 \text{ кгц.}$$

Импульсные ультразвуковые дефектоскопы, как правило, работают на частотах порядка 3 мгц. Но для обнаружения в металлах более крупных дефектов, чем раковины и расслоения площадью до 1 см², можно использовать более низкие частоты.

Для контроля резиновых изделий частота колебаний должна быть еще меньше. Низкие частоты менее поглощаются во всех материалах и менее рассеиваются крупными зернами металла.

Для выявления более крупных дефектов в металлах, а также получения возможности контролировать ультразвуком многие другие материалы, которые до сих пор не контролировались совсем, центральной испытательной станцией металлов Котлонадзора (ЦИСМ) разработаны и смонтированы ультразвуковые приборы, работающие на частотах от 50 до 600 кгц. Кроме того, разработаны специальные державки пьезоэлектрических пластин, которые позволили контролировать металл без специальной обработки поверхности.

При работе ультразвуковых дефектоскопов с генераторами незатухающих колебаний по схеме на «просвет» или «по теневому методу» (рис. 1) получают следующие явления.

При подаче электрических зарядов от генератора с выбранной рабочей частотой на передающую пьезоэлектрическую пластину последняя приходит в колебание с частотой поданных зарядов. Так как пластинка находится в плотном соприкосновении с контролируемым металлом, то ее колебания в виде ультразвуковых колебаний передаются в металл. При отсутствии дефектов ультразвуковые колебания, пройдя металл, по-

¹ В. С. Соколов, Ультразвуковая дефектоскопия металлов, «Электрические станции», 1952, № 9.

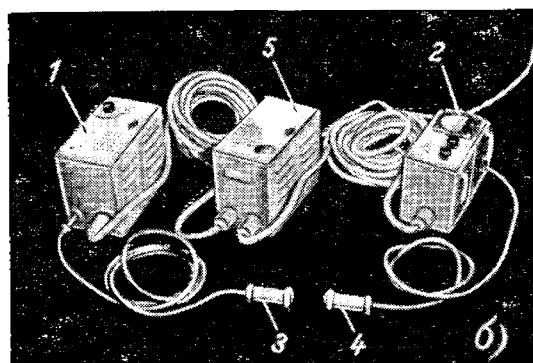
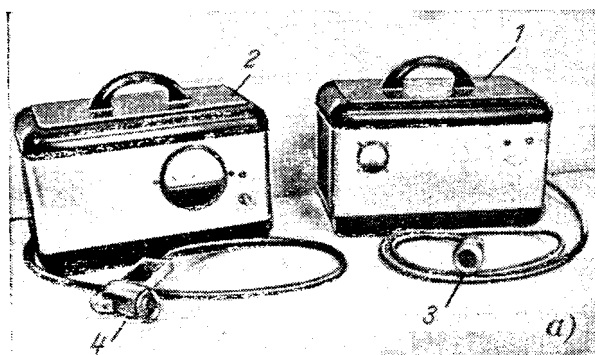


Рис. 2. Ультразвуковой дефектоскоп для определения расслоений в металлах.

а — вариант из двух блоков; *б* — вариант из трех блоков.
1 — передающая часть; 2 — приемная часть; 3 — державка с передающей пьезоэлектрической пластиной; 4 — державка с приемной пьезоэлектрической пластиной; 5 — общий выпрямитель питания.

падут на приемную пьезоэлектрическую пластинку и заставят ее колебаться, в силу чего на ее поверхности образуются пьезоэлектрические заряды. Эти заряды снимаются электродами и подаются в усилитель. Усиленные в усилителе колебания, попадая в указатель (например, в гальванометр), дадут возможность отметить мощность ультразвуковой энергии, прошедшей через контролируемый металл. При наличии дефекта внутри металла площадью, соизмеримой с площадью приемной пьезоэлектрической пластинки или соизмеримой с длиной ультразвуковой волны, поток звуковой энергии от датчика, попадающий на приемную пластинку, заметно уменьшится или прекратится совсем, что будет отмечено указателем.

В существующих ультразвуковых дефектоскопах в качестве указателей применяются преимущественно электронно-лучевые трубки. Для создания приборов, более простых в монтаже и более легких, в описываемых дефектоскопах были применены стрелочные указатели (гальванометры). Применение электронно-лучевых трубок в данном случае значительно усложнило бы схему приборов за счет необходимости монтажа развертывающего устройства с высоким напряжением тока.

В качестве задающего генератора была выбрана схема обычного мультивибратора; эта схема проста в монтаже и в наладке и позволяет легко перестраивать частоту колебаний в широком диапазоне. Она надежно и устойчиво работает без всяких стабилизаторов частоты в пределах необходимой для данного случая точности.

Были смонтированы два типа приборов (рис. 2), не имеющих принципиального различия в схемах и отличающихся лишь в части монтажа. Первый прибор (*а*) состоит из двух отдельных блоков — передающего и приемного, каждый из которых вмонтирован в стандартный ящик из-под радиоприемника типа «Москвич». В этом приборе каждый блок имеет отдельный выпрямитель.

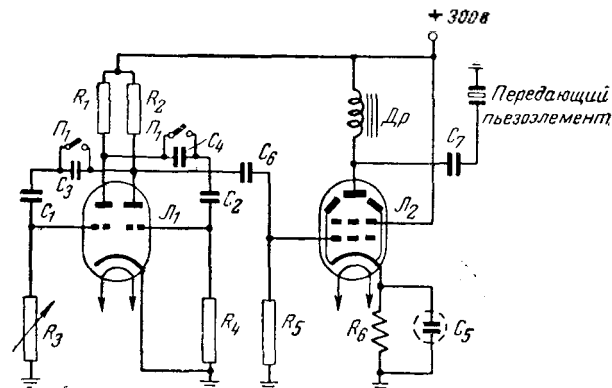
Прибор второго типа (*б*) состоит из трех отдельных блоков: передающего, приемного и общего выпрямителя для питания обоих рабочих блоков. В этом случае приемный и передающий блоки получаются меньших размеров, что может представлять некоторые удобства при работе на монтажных площадках. Схемы этих блоков приведены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, *а*, передающая часть со-

стоит из двух ламп. Первая лампа типа 6Н7С является задающим генератором (мультивибратор), вторая лампа типа 6ПЗС является усилителем мощности, в анодную цепь которой включен пьезоэлектрический элемент. В качестве передающего пьезоэлектрического элемента служит пластинка из титаната бария, который, как теперь установлено, имеет больший пьезоэлектрический эффект, чем кварцевые пластинки. К тому же пластинки из титаната бария стоят значительно дешевле кварцевых пластин. Так как частота генератора должна во время работы перестраиваться в зависимости от толщины и рода контролируемого материала, то пьезоэлемент в этой схеме работает не на резонансной частоте. Следовательно, выбор толщины пластин для таких приборов большого значения не имеет; желательно лишь, чтобы собственная частота их была несколько ниже самой низкой частоты генератора.

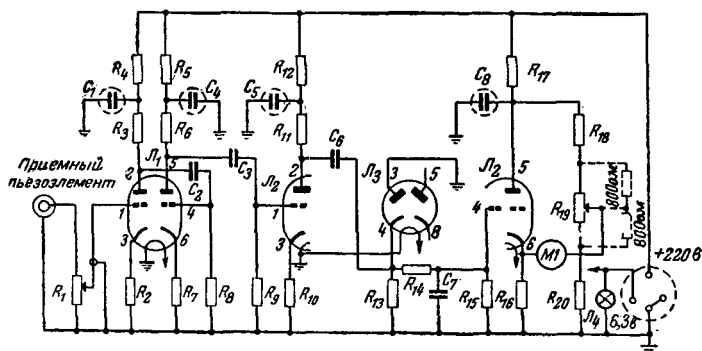
Приемно-усилительная часть прибора (рис. 3, *б*) состоит из трех ламп. Первая лампа типа 6Н8С является двухкаскадным усилителем на сопротивлениях, на вход которой включен приемный пьезоэлемент. Приемным пьезоэлементом служит пластинка из сегнетовой соли, которая имеет пьезоэффект, немного больший, чем у титаната бария. Эта пластинка, так же как и пластинка в передающей части, работает не на резонансной частоте.

Усиленные заряды во втором каскаде (правая часть лампы L_1) подаются на сетку лампы L_2 типа 6Н8С, левая часть которой работает в качестве третьего каскада усилителя на сопротивлениях. Усиленные сигналы в третьем каскаде подаются для детектирования на лампу L_3 типа 6Х6С, после чего они попадают на вход лампового вольтметра (правая часть лампы L_2). Регулировка предела усиления, т. е. чувствительности прибора, производится переменным сопротивлением R_1 в цепи сетки первой приемно-усилительной лампы. Эта регулировка предела усиления необходима при контроле материалов различной толщины. При малых толщинах для более точных результатов контроля необходимо уменьшать общую чувствительность прибора, тогда как при больших толщинах металла или при контроле материалов, значительно поглощающих звуковую энергию, требуется повышать общую чувствительность прибора. Для определения наличия расслоения в металлах или других подобных дефек-



Передающая часть

$R_1 = 5,6 \text{ ком}$; $R_2 = 5,6 \text{ ком}$; $R_3 = 5 \text{ ком}$; $R_4 = 5 \text{ ком}$; $R_5 = 0,5 \text{ мгом}$; $R_6 = 250 \text{ ом}$; $C_1 = 2000 \text{ пф}$; $C_2 = 2000 \text{ пф}$; $C_3 = 600 \text{ пф}$; $C_4 = 600 \text{ пф}$; $C_5 = 20 \text{ мкф}$, 20 в; $C_6 = 100000 \text{ пф}$; $C_7 = 100000 \text{ пф}$; Π_1 — переключатель диапазона; Др — дроссель 0,5 гн.



Приемная часть

$R_1 = 0,25 \text{ мгом}$; $R_2 = 1,5 \text{ ком}$; $R_3 = 33 \text{ ком}$; $R_4 = 24 \text{ ком}$; $R_5 = 24 \text{ ком}$; $R_6 = 23 \text{ ком}$; $R_7 = 1,5 \text{ ком}$; $R_8 = 470 \text{ ком}$; $R_9 = 470 \text{ ком}$; $R_{10} = 1,5 \text{ ком}$; $R_{11} = 33 \text{ ком}$; $R_{12} = 24 \text{ ком}$; $R_{13} = 46 \text{ мгом}$; $R_{14} = 1,25 \text{ мгом}$; $R_{15} = 11 \text{ мгом}$; $R_{16} = 2,5 \text{ ком}$; $R_{17} = 10 \text{ ком}$; $R_{18} = 36 \text{ ком}$; $R_{19} = 3 \text{ ком}$; $R_{20} = 1 \text{ ком}$; $C_1 = 5 \text{ мкф}$, 300 в; $C_2 = 30000 \text{ пф}$, 500 в; $C_3 = 30000 \text{ пф}$, 500 в; $C_4 = 5 \text{ мкф}$, 300 в; $C_5 = 5 \text{ мкф}$, 300 в; $C_6 = 0,03 \text{ мкф}$, 400 в; $C_7 = 0,01 \text{ мкф}$, 400 в; $C_8 = 20 \text{ мкф}$, 150 в; M — миллиамперметр на 2 ма.

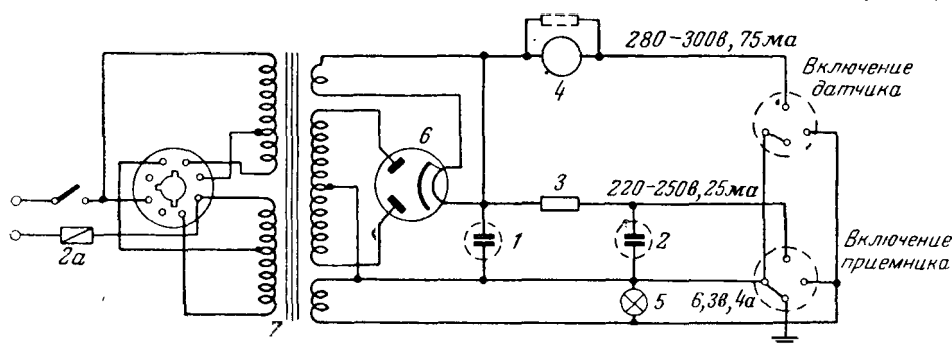


Схема выпрямителя

1—2—конденсаторы по 20 мкф; 3—сопротивление 5 ком, 5 вт; 4—миллиамперметр на 10 ма с шунтом на 150 ма; 5—контрольная лампа 63 в, 28 а; 6—лампа 5 Ц4С; 7—силовой трансформатор ЭЛС-2 110/127/220 в.

Рис. 3. Принципиальная схема аппарата.

тов шкала индикатора разградуирована в условных произвольных делениях. Полное отклонение стрелки указателя свидетельствует об отсутствии дефекта внутри контролируемого объекта и на шкале имеется надпись «нет дефекта». Положение стрелки указателя на нуле (слева) или незначительное ее отклонение вправо, примерно на $\frac{1}{4}$ шкалы, свидетельствует о наличии дефекта, и на шкале имеется надпись «дефект». По делениям шкалы при контроле однообразной продукции по величине отклонения стрелки индикатора можно судить приблизительно о величине дефекта в случае, если его размер будет меньше размера приемной пьезоэлектрической пластинки.

На рис. 4 приведена схема державки пьезоэлектрической пластинки. Приемная и передающая державки имеют одинаковую конструкцию, за исключением пьезоэлементов: в передающей державке установлена пластинка из титаната ба-

рия, а в приемной державке — пластинка из сегнетовой соли. Размеры пластинок одинаковы. Конструктивной особенностью державок является применение жидкостных подушек с резиновыми оболочками. Такая конструкция обладает хорошими акустическими данными в смысле прохождения ультразвука и позволяет контролировать металл без обработки его поверхности. Жидкостью для наполнения подушек могут служить касторовое масло, вазелиновое масло или керосин. Для лучшего акустического контакта подушки с исследуемым материалом иногда требуется поверхность материала смачивать водой.

Для быстрого и непрерывного определения дефектов в большом количестве изделий можно применять вращающуюся державку, конструкция которой предложена сотрудником ЦИСМ Котлонадзора Р. В. Терским (рис. 5). Во время контроля державка катится по контролируемому изде-

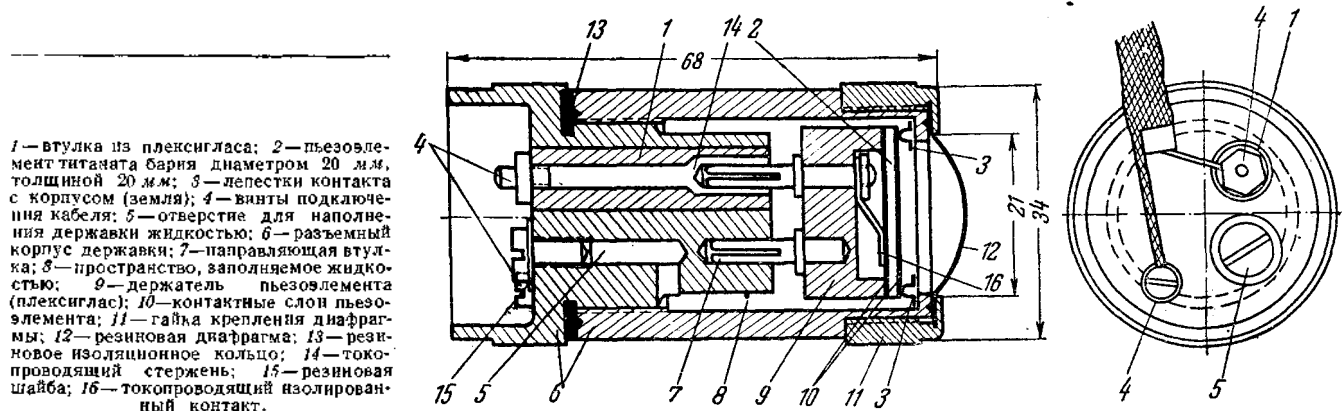


Рис. 4. Державка пьезоэлектрической пластинки (шуп).

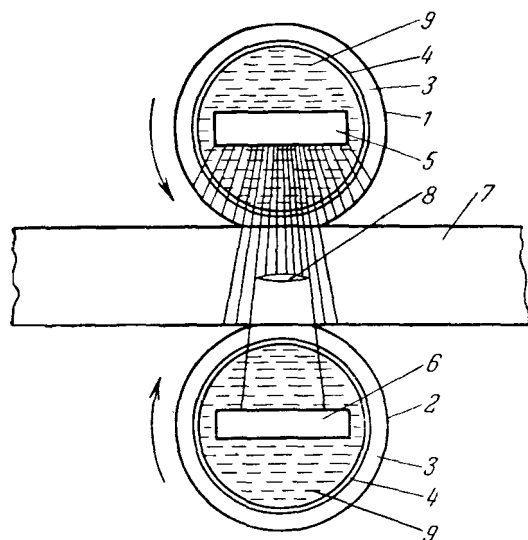


Рис. 5. Схема контроля металла с вращающимися державками пьезоэлектрических пластинок.

1 — передающая державка; 2 — приемная державка; 3 — резиновое контактное кольцо; 4 — металлический корпус державки; 5 — передающая пьезоэлектрическая пластинка; 6 — приемная пьезоэлектрическая пластинка; 7 — контролируемый металл; 8 — дефект внутри металла; 9 — контактная жидкость.

лию или само изделие непрерывно движется между державками, позволяя непрерывно отмечать наличие дефектов в исследуемом изделии. Жидкость, наполняющая внутреннюю полость державки, обеспечивает постоянный акустический контакт с исследуемым материалом.

При работе с приборами по определению слоений установлено, что некоторые недостатки, присущие ультразвуковым приборам, отмеченные выше, как, например, полное прохождение звука в случаях, когда дефект весьма мал по сравнению с размерами приемной пьезоэлектрической пластинки, имеются и в описываемых приборах. Ультразвуковая волна в этом случае «огibt» дефект и полностью проходит через всю толщину металла. Возникают и другие затруднения, а именно: при соответствующей частоте колебаний генератора можно получить такое геометрическое соотношение в схеме контроля, что при наличии дефекта внутри металла по размерам, большему, чем приемная пластинка, звук все же пройдет через металл и получится ложный результат, свидетельствующий об отсутствии дефекта. Для устранения таких ложных показаний бывает необходимо несколько изменить частоту колебаний. Незначительное изменение частоты всегда бывает достаточным, чтобы получить правильные показания приборов.

Описанными приборами можно контролировать металл практически любой толщины, от долей миллиметров до сотен миллиметров, так как они не имеют «мертвой зоны». Ими можно контролировать прокатанный металл с целью определения расслоений непосредственно на прокатанных станах при холодной прокатке. Для этого требуется смонтировать схему, приведенную на рис. 6. Как видно из этой схемы, несколько передающих и приемных пьезоэлектрических пластинок в соответствующих державках устанавливается с двух противоположных сторон листов по одной линии, одна против другой. Передающие и приемные пластинки работают от одного генера-

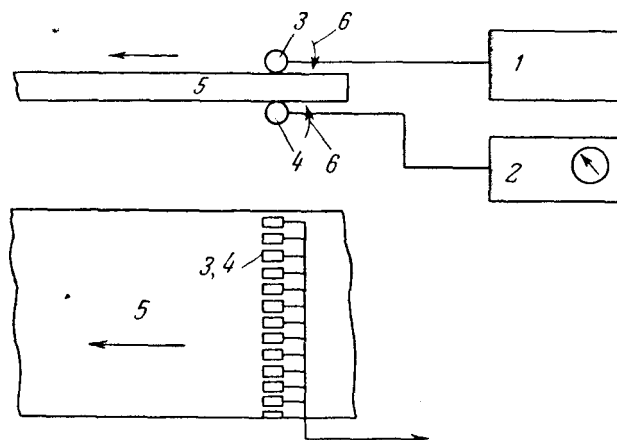


Рис. 6. Схема контроля прокатанных листов при массовом контроле на заводе.

1 — генератор; 2 — усилитель; 3 — передающий пьезоэлемент; 4 — приемный пьезоэлемент; 5 — контролируемый лист; 6 — подача воды для акустического контакта пьезоэлементов с листом.

тора и на один приемник-усилитель. Между пьезоэлектрическими пластинками движется контролируемый лист. Наличие дефекта в листе, где-либо на линии пластинок отмечается указателем и этот лист отбраковывается с отметкой линии, на которой был отмечен дефект. Для уточнения размеров дефекта вдоль линии производится контрольное исследование вторым прибором, одиночного действия, т. е. с одной передающей и одной приемной пластинками.

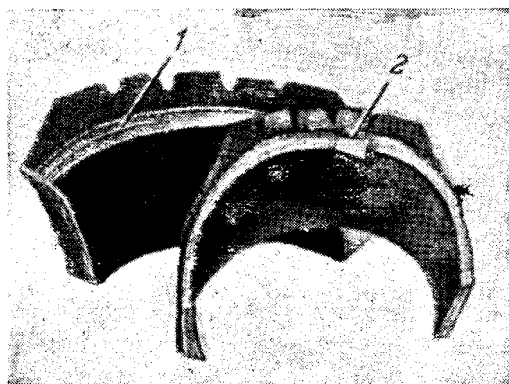


Рис. 7. Дефекты в автокрышках, обнаруженные ультразвуковым дефектоскопом.

1 — расслоение между резиной и кордом до 3 см; 2 — расслоение длиной 1 см, в которое заложена бумага.

При помощи приборов были проведены исследования металлов на ряде объектов, показавшие возможность выявлять расслоения в металлах площадью от 0,8 см² и более. Были также проведены опыты по выявлению расслоений во всех типах автопокрышек и в других резиновых изделиях, в которых выявились воздушные пузыри и расслоения площадью от 0,5 см² (рис. 7).

Хорошо контролируется этими приборами качество склейки пластмасс, а также строительные бетонные конструкции. Расслоения, трещины и пустоты в бетоне выявляются на частотах порядка 50—100 кгц.

Ультразвуковыми дефектоскопами на низких частотах можно успешно контролировать целый ряд таких материалов, которые не поддавались контролю другими методами.



Некоторые особенности выпрямительной схемы с вентилем, имеющим один заземленный полюс

Инж. М. П. Федотов

Вопрос о погрешностях, возникающих при измерении токов утечки на выпрямленном напряжении за счет неполноты выпрямления, уже рассматривался в литературе¹. Но кроме таких погрешностей могут быть ошибки, вызванные различным расположением вентиля в схеме.

В качестве разборных переносных схем при испытании оборудования часто применяются кенотронные установки, в которых нить накала лампы заземлена (рис. 1). Они удобны тем, что не требуют для накала специального трансформатора с высокой степенью изоляции накальной обмотки относительно корпуса.

В этой схеме при измерении токов утечки испытуемого объекта (C_x) возможны ошибки, связанные не только с неполнотой выпрямления, но вызванные еще влиянием на потенциал испытуемого объекта емкости $C_{тр}$ (емкость между высоковольтной обмоткой трансформатора и его корпусом). При этом, если погрешности первого рода с ростом омического сопротивления изоляции испытуемого объекта R_x уменьшаются и в идеальном случае при $R_x = \infty$ становятся равными нулю, то вторые не зависят от этого сопротивления и определяются только соотношением C_x и $C_{тр}$.

Электрические явления, происходящие в схеме, в основном (без учета неполноты выпрямления) заключаются в следующем.

В конце первой четверти периода, когда лампа „открыта“, потенциал точки А (см. схему) почти равен потенциалу земли, а потенциал точек В и В равен $\sim 1,41 U_{эфф}$ трансформатора со знаком минус.

Когда лампа „закрывается“, происходит, наоборот, возрастание отрицательного потенциала

точки А и убывание отрицательных потенциалов точек В и В.

Причина этого явления состоит в том, что к концу третьей четверти периода между точками А и В возникает напряжение, равное U_M , со знаком, обратным тому, какой был в конце первой четверти периода ($U_M = 1,41 U_{эфф}$). Весь процесс иллюстрируется графиками рис. 2.

Для простоты взят случай, когда емкость $C_{тр}$ симметрично и равномерно распределена относительно корпуса трансформатора. Это в большой мере относится к однофазным трансформаторам напряжения 6—35 кВ с двумя одинаковыми (по степени изоляции) высоковольтными выводами.

Точкам А, В и В на графиках соответствуют точки А, В и В на схеме рис. 1. По горизонтали на графиках отложены емкости $C_{тр}$ и C_x , а по вертикалям — те потенциалы, какие бывают в точках А, В и В к концу первой и третьей четвертей периода. Емкость C_x условно рассредоточена между точками В и В. Левый график относится к моменту „открытой“ лампы (конец первой четверти периода), правый график — к моменту „закрытой“ лампы (конец третьей четверти периода).

Очевидно, что в установившемся режиме полный суммарный заряд емкостей C_x и $C_{тр}$, равный сумме зарядов $Q_1 + Q_2$ (из левого графика), будет оставаться неизменным в течение всего времени действия схемы. Анод лампы в точке А не даст этому заряду уйти в землю, когда напряжение между выводами трансформатора сделается равным нулю, а утечками в точке В (через сопротивление изоляции R_x) и в точках А и В (через сопротивление $R_{тр}$) мы намеренно пренебрегаем, поскольку уменьшение зарядов за счет токов утечки вызывает по-

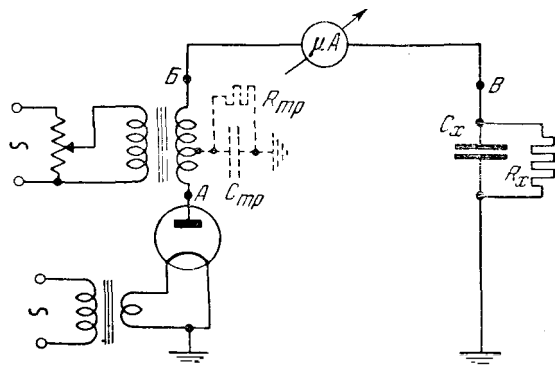


Рис. 1. Схема кенотронной установки с заземленной нитью накала лампы.

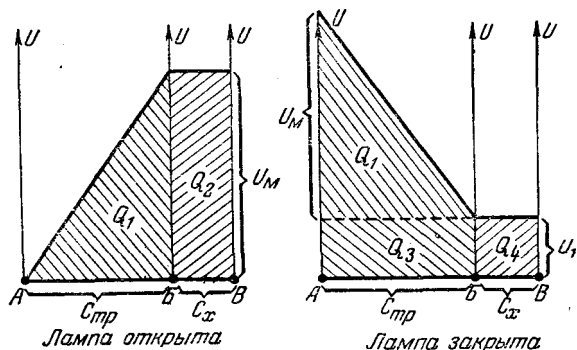


Рис. 2. Графики изменения потенциалов в схеме.

¹ См. „Электрические станции“, 1951, № 4, стр. 32.

грешности измерений первого рода (неполнота выпрямления).

Из графиков следует:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_1 + Q_3 + Q_4 = 0,5U_m C_{mp} + U_m C_x = U_m (0,5C_{mp} + C_x), \quad (1)$$

где Q_1 — заряд емкости C_{mp} в конце первой четверти периода (лампа открыта);

Q_2 — заряд емкости C_x в тот же момент;

Q_4 — заряд емкости C_x в конце третьей четверти периода (лампа закрыта);

Q_3 — приращение заряда емкости C_{mp} в тот же момент.

Перетекание заряда Q_3 из емкости C_x в емкость C_{mp} и обратно с частотой 50 гц создаст в схеме емкостной ток, который, однако, не вызывает отклонения стрелки магнитоэлектрического микроамперметра. Величина этого тока определяется соотношением C_x и C_{mp} , их абсолютными величинами, а также величиной U_m .

Помимо того перетекание заряда Q_3 вызывает пульсацию отрицательного потенциала емкости C_x . Если в конце первой четверти периода этот потенциал равнялся U_m , то в конце третьей четверти периода он уменьшился до U_1 (правый график).

Так как пульсация потенциала емкости C_x происходит гармонично, то средняя величина потенциала этой емкости за один период будет:

$$U_{cp} = \frac{U_m + U_1}{2},$$

где

$$U_1 = \frac{Q_3 + Q_4}{C_{mp} + C_x} = \frac{Q_4}{C_{mp} + C_x} = \frac{U_m C_x}{C_{mp} + C_x},$$

откуда
$$U_{cp} = 0,5 \left(1 + \frac{C_x}{C_{mp} + C_x} \right) \cdot U_m \quad (2)$$

Обозначив произведение $\left[0,5 \left(1 + \frac{C_x}{C_{mp} + C_x} \right) \right]$ через k_c (коэффициент погрешности схемы), получим:

$$U_{cp} = k_c \cdot U_m,$$

т. е. в выпрямительной схеме с вентилем, имеющим один заземленный полюс, средний потенциал емкости C_x за период меньше максимального потенциала, даваемого трансформатором в k_c раз.

Вслед за уменьшением среднего потенциала уменьшится, конечно, и средний ток утечки, идущий через сопротивление R_x .

Если сопротивление R_x имеет линейную вольтамперную характеристику, то будут справедливы соотношения

$$I = \frac{U_{cp}}{R_x} \text{ и } I_m = \frac{I}{k_c},$$

где I — измеренный магнитоэлектрическим прибором средний за период ток утечки изоляции емкости C_x ;

I_m — ток утечки, который образовался бы через изоляцию емкости C_x , если бы не было искажающего влияния емкости C_{mp} .

Таким образом, измерив предварительно высоковольтным мостом величины емкостей C_x и C_{mp} и найдя k_c по диаграмме рис. 3, можно в значительной мере предостеречь себя от ошибок, связанных с применением схемы рис. 1.

При испытании вентильных разрядников 6 кВ часто используют в схеме, собранной по рис. 1, в качестве повысительного трансформатора обычные однофазные трансформаторы напряжения НОМИ-6 или НОМИ-10. Емкость C_{mp} у первых достигает 400 пф, у вторых — несколько

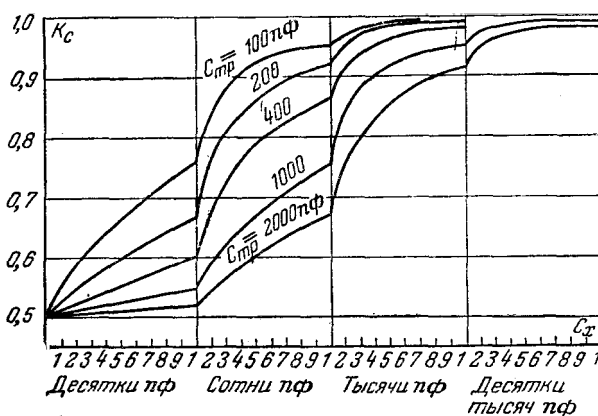


Рис. 3. Зависимость коэффициента погрешности схемы k_c от величины C_{mp} и C_x .

больше. Емкость верхнего вывода вентильного разрядника 6,6 кВ (без балластной емкости не бывает больше 50—75 пф). Следовательно, k_c в этом случае будет равен почти 0,58, т. е. измеренный ток утечки разрядника (не учитывая неполноту выпрямления) окажется почти вдвое меньше того, который фактически должен бы быть измерен. Добавление балластной емкости может значительно повысить величину k_c .

При очень больших емкостях испытуемого объекта влиянием емкости C_{mp} в схеме рис. 1 можно пренебречь. В этом случае практически никакой пульсации потенциала емкости C_x , вызванной влиянием емкости C_{mp} , не будет; на аноде лампы тогда, в конце третьей четверти периода (лампа закрыта), образуется потенциал, равный $2U_m$. Этот факт известен в технике и является недостатком схемы рис. 1.

Выводы

1. При определении токов утечки испытуемого объекта в схеме, собранной по рис. 1, могут быть значительные погрешности измерения, связанные не только с неполнотой выпрямления, но вызванные также уменьшением среднего (за период) потенциала испытуемого объекта за счет наличия емкости высоковольтной обмотки повысительного трансформатора на корпус.

2. При малых емкостях испытуемого объекта ошибка этого рода может достигать 50%.

3. Применение балластных емкостей уменьшает погрешности измерения. Объекты с собственной емкостью выше 10 тыс. пф можно испытывать, не прибегая к балластным емкостям, что вызовет погрешность не более 10%.



О выборе внешних искровых промежутков фибробакелитовых разрядников в сетях 35 и 110 кВ*

Инж. Ф. А. Лихачев

Грозозащита подстанций состоит из вентильных разрядников, устанавливаемых на шинах и из трубчатых разрядников, устанавливаемых в начале (РТ₁) и в конце (РТ₂) тросовых подходов линий.

Если сопротивление растеканию токов молнии заземлителей опор и расположение на них тросов соответствуют требованиям руководящих указаний по защите от перенапряжений, то уровень грозоупорности схемы защиты может быть очень высоким.

Однако на практике отмечены случаи перекрытий между отключенным от земли вводом нейтрали и ближайшим к нему линейным вводом, а также между соседними линейными вводами.

Такие перекрытия приводили к аварийным отключениям мощных трансформаторов 110 и 80 кВ, установленных на подстанциях, которые работали по тупиковым схемам.

Перенапряжения, воздействующие на междуфазовую изоляцию, возникают при срабатывании трубчатых разрядников РТ₂, установленных либо на входном портале линии, либо на первой от подстанции опоре.

По распространенному в настоящее время мнению эти разрядники (в особенности, если они установлены на тупиковых подстанциях) наряду с защитой линейных выключателей и разъединителей в отключенном состоянии должны защищать и изоляцию подстанции, удаленную от вентильных разрядников.

Величины внешних искровых промежутков РТ₂ обычно выполняют равными 250—300 мм, т. е. меньшими, чем у разрядников РТ₁, устанавливаемых в начале тросового подхода (на первой тросовой опоре, считая со стороны линии).

В эксплуатации активная проводимость фибробакелита по мере его увлажнения может увеличиться настолько, что внутренний искровой промежуток оказывается зашунтированным. В результате действующее на разрядник напряжение практически полностью перекладывается на внешний искровой промежуток, из-за чего вольтсекундные характеристики фибробакелитовых разрядников приближаются к вольтсекундным характеристикам простых стержневых промежутков, как это показано, например, на кривых 3 и 4 рис. 1.

Поэтому координация вольтсекундных характеристик РТ₂ с характеристиками вентильных разрядников подстанции нарушается.

При предразрядных временах более 1 мксек вольтсекундные характеристики РТ₂ и РВС-110 могут сближаться настолько, что даже небольшое разобшение между этими разрядниками обуславливает срабатывание РТ₂, т. е. на него не распространяется защитное действие РВС-110.

В связи с этим разрядники РТ₂ часто срабатывают от волн перенапряжений, набегающих на шины подстанции с подходов линий.

Анализ аварий, проводимый в Оргресе, показывает, что срабатывания разрядников РТ₂ опасны не только из-за крутых срезов импульсного напряжения вблизи от трансформаторов, но и тем, что при работе РТ₂ разряд через него входной емкости трансформатора и шин подстанции имеет колебательный характер. При этом напряжение на шинах меняет знак и в силу незначительного затухания оказывается близким к разрядному.

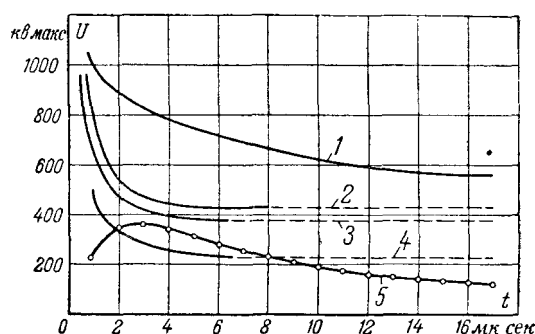


Рис. 1. Вольтсекундные характеристики при положительной волне 1,5/40 мксек.

1—колонка из трех изоляторов ШТ-35; 2 и 3—трубчатый разрядник РТ 110/1.2—7 с внешним искровым промежутком соответственно 400 и 300 мм (внутренний искровой промежуток равен 300 мм); 4—защитный стержневой промежуток 300 мм; 5—разность разрядных напряжений кривых 1 и 2.

Колебания напряжения на одной из фаз при наличии на соседнем вводе не изменяющегося по знаку импульсного напряжения обуславливают разность потенциалов, достаточную для перекрытия расстояния между вводами по воздуху.

При косоугольном фронте падающих с подхода волн ($U(t) = at$) напряжение на линейных вводах трансформатора с учетом сглаживающего действия входной емкости от момента срабатывания вентильного разрядника t_p до срабатывания разрядника РТ₂ может быть определено по выражению

$$U_{np} = U_p + at - 2aTe^{-\frac{t_p}{T}}(e^{\frac{t}{T}} - 1),$$

* Печатается в порядке обсуждения. Ред.

где U_p — разрядное напряжение вентильного разрядника, принимаемое для разрядников РВС-110 и РТНМ-110/8 соответственно 350 и 400 кВ;

a — крутизна фронта падающей волны для подстанций 110 кВ принимается равной 1,5 кВ/м, что соответствует 450 кВ в 1 мксек;

$\tau = \frac{2l}{v}$ — время пробега волны от вентильного разрядника до трансформатора и обратно;

$T = C_{ax} \cdot Z$ — постоянная времени петли между трансформатором и вентильным разрядником.

Если трансформатор работает с изолированной от земли нейтралью, то при падении волн перенапряжений по трем проводам импульсное напряжение на нейтрали трансформатора U_0 значительно превышает импульсное напряжение на линейных вводах, не достигая, однако, удвоенной величины из-за наличия значительных распределенных емкостей обмоток относительно заземленных частей.

Это напряжение, возникающее в результате колебаний в обмотках трансформатора, может приближенно оцениваться величиной $U_0 = 1,9 U_{тр}$.

Несмотря на наличие в трансформаторе обмоток, соединенных в треугольник, обуславливающих магнитное равновесие в стержнях и, следовательно, сниженную индуктивность, период собственных колебаний обмоток оценивается многими десятками микросекунд.

Характер колебаний импульсного напряжения и разность потенциалов между соседними вводами трансформатора, возникающие при сраба-

тывании РТ₂, показаны на рис. 2 применительно к двум конкретным случаям грозовых отключений трансформаторов, описанным ниже.

Период колебаний определяется временем четырехкратного пробега разрядных волн от РТ₂ до трансформатора ($T_1 = \frac{4l_1}{v}$).

Отрицательные полупериоды напряжений, амплитудные значения которых близки к остающемуся напряжению вентильного разрядника, как это видно из рис. 2, обуславливают между линейными вводами разность потенциалов, примерно равную величине двойного остающегося напряжения вентильного разрядника.

Между отключенным от земли вводом нейтрали и линейным вводом разность потенциалов может достигнуть величины, несколько ниже тройного остающегося напряжения вентильного разрядника.

Несмотря на наличие колебаний, импульсное напряжение на вводах трансформатора относительно земли не может привести к разряду на землю, так как удерживается на уровне разрядных и остающихся напряжений вентильных разрядников.

Ниже приводится краткий анализ двух случаев грозовых отключений трансформаторов.

1. Отключение трехфазного трехобмоточного трансформатора 110/35/6 кВ, 20 000 кВА Метро-Виккерс из-за импульсного перекрытия воздушного промежутка 1 016 мм между вводом нейтрали и ближним к нему вводом фазы А без пробоя координирующих промежутков 686 мм (нейтраль трансформатора отключена от земли). Вентильный разрядник РВС-110 (4×30) установлен на расстоянии 70 м от трансформатора. Отмечена работа РТ₁ и РТ₂ на всех фазах. Величина внешних искровых промежутков РТ₂—300 мм.

2. Отключение трехфазного трансформатора 88/20 кВ, 5 000 кВА фирмы АЕГ из-за импульсного перекрытия воздушного промежутка 620 мм между вводами фаз В и С, без пробоя координирующих промежутков 585 мм (нейтраль трансформатора глухо заземлена). Вентильный разрядник РВС-80 (2×30+2×15) установлен на расстоянии 20 м от трансформатора. Отмечена работа РТ₂ на фазе В. Величина внешних искровых промежутков РТ₂—250 мм.

Подстанции, на которых произошли указанные отключения, работали по тупиковой схеме. Импульсные напряжения падающих с подхода волн (для первого случая по трем фазам, а для второго, может, и по двум фазам В и С) ограничиваются вентильными разрядниками до величин, безопасных для изоляции относительно земли и недостаточных для срабатывания координирующих промежутков.

Схема грозозащиты, карта грозового отключения и вводы с размерами для этого случая приводятся на рис. 3.

В данном случае при падении на шины срезаемых на подходе волн напряжение на линейных вводах трансформатора с учетом его емкости ($C_{ax} = 2500$ пФ) могло лишь незначительно отличаться от разрядного напряжения вентильного

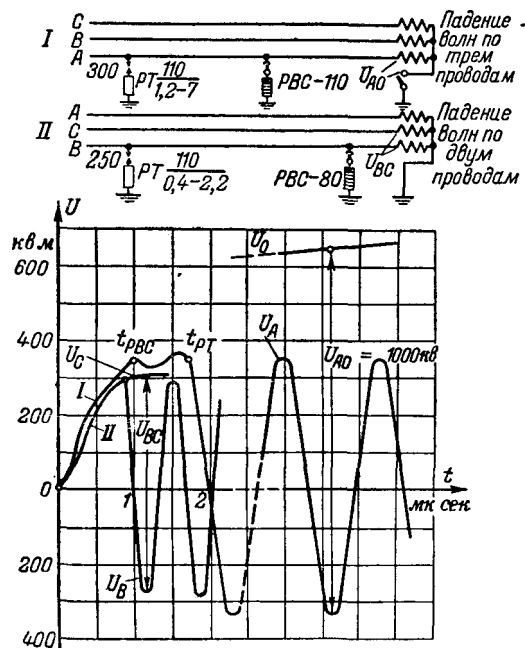


Рис. 2. Форма импульсного напряжения, действующего на трансформатор.

I — для случая перекрытия между нулевым вводом и вводом фазы А; II — для случая перекрытия между вводами фаз В и С; U_0 — напряжение на нейтрали; U_A , U_B и U_C — соответственно напряжения на линейных вводах фаз А, В и С; U_{A0} и U_{BC} — импульсная разность потенциалов между вводами фазы А и нулевым вводом и между вводами фаз В и С.

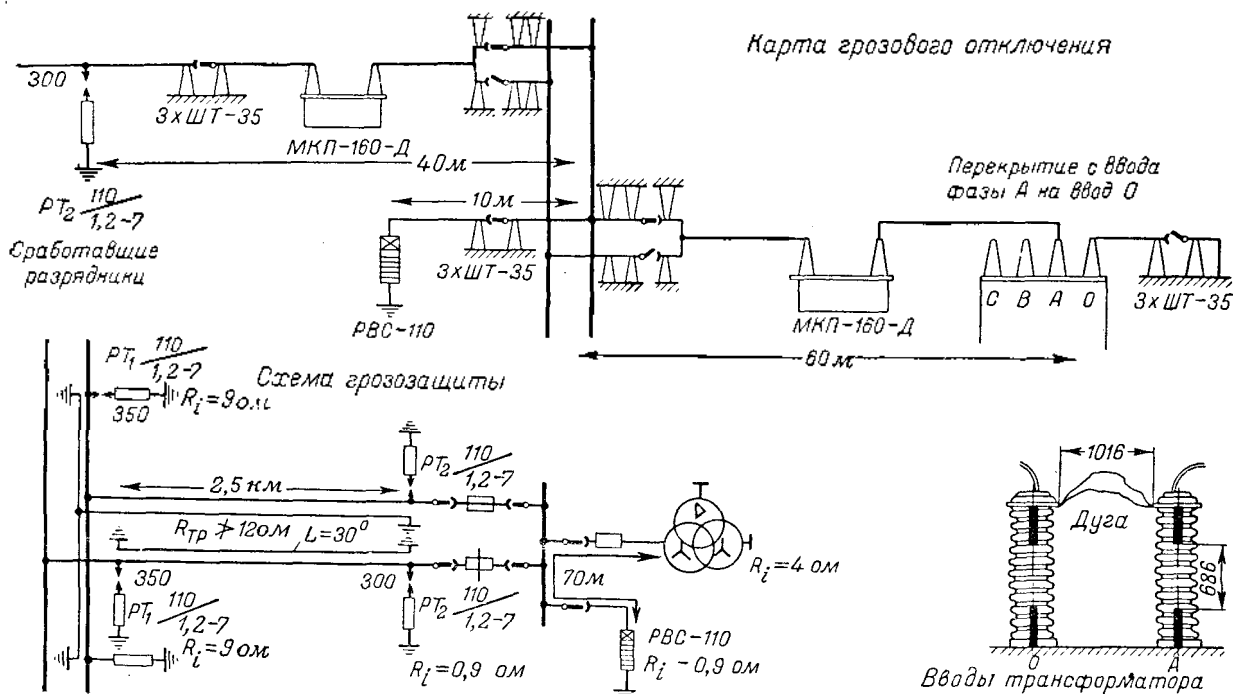


Рис. 3. Схема грозозащиты, карта грозового отключения и вводы трехфазного-трехобмоточного трансформатора в 20 000 кВа, 110/35/6 кв.

разрядника РВС-110. Оно может быть подсчитано так, как это было указано выше, т. е.

$$U_{тр} = U_p + at - 2aTe^{-\frac{t}{T}}(e^{\frac{t}{T}} - 1) = 350 + 450 \cdot 0,5 - 2 \cdot 450 \cdot 1 \cdot e^{-1}(e^{0,5} - 1) = 360 \text{ кв}_{\text{макс.}}$$

Импульсное напряжение на нейтрали нарастает медленно, как это показано на кривой U_0 рис. 2. Оно значительно превышает напряжение на линейных втулках из-за отражений от изолированного конца, не достигая, однако, разрядного напряжения координирующего промежутка, т. е.

$$U_0 = 1,9 \cdot 360 = 685 \text{ кв}_{\text{макс.}}$$

При поражении молнией линии на всех трех фазах сработали трубчатые разрядники PT_1 110/1,2—7 и PT_2 110/1,2—7, установленные в начале тросового подхода и на входном портале линии. Срабатывание PT_2 с внешним искровым промежутком 300 мм объясняется сниженными разрядными напряжениями этих разрядников при расстоянии их от РВС-110—50 м.

По мере перехода импульсного напряжения на линейных вводах трансформатора от остающегося напряжения РВС-110 к полупериодам обратного знака (рис. 2) разность потенциалов между изолированным нулевым вводом и вводом фазы А нарастает.

Нулевое значение импульсного напряжения на трансформаторе устанавливается путем колебаний, период которых

$$T_1 = \frac{4L_1}{300} = \frac{4 \cdot 100}{300} = 1,3 \text{ мсек.}$$

В результате появления отрицательных полупериодов после срабатывания PT_2 разность потен-

циалов между нулевым вводом и ближним к нему вводом фазы А может достигнуть величины

$$U_{A0} = U_0 - U_A = 685 - (-360) = 1045 \text{ кв}_{\text{макс.}}$$

Этого напряжения вполне достаточно для перекрытия расстояния между нулевым вводом и ближним к нему вводом фазы А.

Для второго случая напряжение на линейных вводах фаз В и С было равно остающемуся напряжению РВС-80, т. е. около 290 кв. Срабатывание PT_2 на фазе В обуславливает появление на этой фазе отрицательных полуволн (рис. 2) при неизменяющемся знаке напряжения на фазе С. Разность потенциалов между вводами В и С может достигнуть величины

$$U_{BC} = 290 - (-290) = 580 \text{ кв}_{\text{макс.}}$$

которая является достаточной для перекрытия расстояния 620 мм.

Вентильные разрядники, определяющие амплитуду колебаний импульсных напряжений, могут предотвратить подобные перекрытия только в том случае, если их защитное действие распространяется также и на разрядники PT_2 .

Подобные импульсные перекрытия между вводами, приводящие, как правило, к аварийным отключениям трансформаторов, имели место в эксплуатации неоднократно.

Эти случаи свидетельствуют о необходимости проведения противоаварийных мероприятий, предотвращающих срабатывания трубчатых разрядников PT_2 при описанных выше условиях.

Необходимо также обратить серьезное внимание на обременительные для эксплуатации случаи работы фибробакелитовых трубчатых разрядников от коммутационных перенапряжений.

В сетях 110 кВ отключения холостых линий выключателями МКП-160-Д часто сопровождались срабатываниями трубчатых разрядников, у которых величины внешних искровых промежутков были 250 и 300 мм. По этой причине отмечено значительное количество случаев разрушения камер масляного дутья выключателей.

В сетях 35 кВ неоднократно отмечалась работа фибробакелитовых трубчатых разрядников с внешними искровыми промежутками 60—80 мм при дуговых замыканиях на землю. Массовая и зачастую затяжная работа этих разрядников от дуговых перенапряжений приводила к аварийным отключениям линий.

Обычно считается, что разрядники, установленные в сетях, не изменяют своих разрядных напряжений при 50 Гц и соответствуют приведенным в табл. 1 величинам, которые получены в лабораторных условиях.

Таблица 1

Тип разрядника	Величина искровых промежутков, мм		Сухоразрядное напряжение*, кВ	Мокроразрядное напряжение*, кВ
	внутренние	внешние		
РТ 35/0,8—5	175	60	95/4,7	60/3
РТ 35/0,4—3	175	80	100/5	70/3,5
РТ 110/1,2—7	300	300	200/3,15	170/2,7

* В знаменателе — кратность разрядных напряжений по отношению к номинальному фазовому напряжению (U_{ϕ}).

Однако увлажнение фибробакелита в атмосферных условиях снижает разрядные напряжения промышленной частоты так же, как это отмечалось выше в отношении импульсных характеристик.

Мокроразрядные напряжения фибробакелитового разрядника могут снизиться до значений разрядного напряжения лишь его внешнего промежутка (табл. 2).

Вероятность появления коммутационных перенапряжений с такими уровнями весьма значительна, чем и объясняются случаи срабатывания фибробакелитовых трубчатых разрядников.

Таким образом, в основу мероприятий по предотвращению случаев вредной работы фибробакелитовых разрядников должно быть положено только одно условие — координация импульсных

Рабочее напряжение, кВ	Величина стержневого промежутка, мм	Разрядное напряжение при 50 Гц, кВ	Кратность по отношению к номинальному
35	60	50/2,5	2,5
110	80	60/3	3
	300	130/2	2

разрядных напряжений трубчатых разрядников с импульсными разрядными напряжениями непосредственно защищаемой ими изоляции.

Опыт эксплуатации показывает, что вентильные разрядники всех типов и трубчатые разрядники, установленные на подходах линий, обеспечивают в достаточной степени защиту подстанционной изоляции.

Назначением трубчатых разрядников, устанавливаемых на входных порталах подстанций, является защита линейных разъединителей и выключателей в отключенном состоянии.

Приведенные на рис. 1 вольтсекундные характеристики колонки изоляторов 3ХШТ-35 разъединителей 1 и трубчатых разрядников РТ-110/1,2—7 с внешними искровыми промежутками 300 и 400 мм 2 и 3 показывают, что при увеличении внешнего искрового промежутка с 300 до 400 мм обеспечивается вполне надежный запас по импульсным разрядным напряжениям (не менее 20% от импульсного разрядного напряжения колонки изоляторов 3ХШТ-35). Кривая 5 представляет собой разность между вольтсекундными характеристиками 3ХШТ-35 и РТ 110/1,2—7 с искровым промежутком 400 мм.

На основании проведенного анализа аварий предлагается принять следующие величины внешних искровых промежутков трубчатых разрядников РТ₁ и РТ₂, устанавливаемых соответственно в начале тросовых подходов и на входных порталах линий:

сеть 35 кВ РТ₁—100 мм и РТ₂—120 мм
 сеть 110 кВ РТ₁—350 мм и РТ₂—400 мм

Вольтсекундные характеристики этих разрядников обеспечивают надежный интервал (20—30%) между их разрядными напряжениями и разрядными напряжениями защищаемой изоляции при всех временах запаздывания.



Проверка воздушных линий электропередачи на срыв штыревых изоляторов и подъем подвесных гирлянд

Канд. техн. наук С. С. Иосифов

При подвеске проводов линий электропередачи в точках, расположенных на разных уровнях, в точке подвеса провода возникают силы тяжения, направленные вверх, чем создается опасность срыва штыревых изоляторов и подъема подвесных гирлянд, приводящих к перекрытию опоры. При проектировании длинных воздушных линий, проходящих в гористой местности, проверка по условию надежности изоляторов требует сравнительно много времени.

Ниже приводятся простейшие методы, значительно облегчающие решение этой задачи¹.

На рис. 1. представлены участок воздушной линии с неровным профилем, состоящий из двух пролетов (трех опор), и распределение усилий, действующих на штыревой изолятор или подвесную гирлянду средней опоры. На рисунке приняты следующие обозначения, которые входят и в формулы:

P_1 и P_2 — силы тяжений провода в смежных пролетах, кг/мм²;

P'_1 и P'_2 — вертикальные составляющие сил P_1 и P_2 ;

P''_1 и P''_2 — горизонтальные составляющие тех же сил;

Q — вес штыревого изолятора или элемента подвесной гирлянды (при штыревых изоляторах к весу изолятора следовало бы прибавить и силу трения, препятствующую выдергиванию последнего, но ввиду неопределенности этой силы ее в расчет можно не принимать), кг;

L — длина пролета, м;

h_1 и h_2 — разности высот точек подвеса провода на данной и соседней опорах (берется со знаком плюс, если точка подвеса на данной опоре выше, чем на соседней, и со знаком минус — в противном случае), м.

Если считать положительным направление силы, действующей вниз, то очевидно, что срыв штыревых изоляторов и подъем подвесных гирлянд не могут иметь места, если будет соблюдено условие:

$$P'_1 + P'_2 + Q > 0. \quad (1)$$

Это условие в дальнейшем будем называть „условием надежности изоляторов“.

¹ Применяются по предложению автора при проектировании воздушных линий институтом Гипроазнефть.

Вертикальная составляющая силы тяжения определяется формулой²

$$P' = \frac{1}{2} gS \left(L + \frac{2zh}{gL} \right) = \frac{1}{2} gSL + S\sigma \frac{h}{L} \text{ кг}, \quad (2)$$

где g — удельная нагрузка провода, кг/м · мм²;

S — сечение провода, мм²;

σ — напряжение в проводе, кг/мм².

В выражении (2) величина $\frac{1}{2} gSL$ всегда положительна, и поэтому тяжение провода может создать вертикальную составляющую, направленную вверх (отрицательную силу, срывающую изолятор или подымающую гирлянду), только если $h < 0$ [условие (1)], и при этом

$$S\sigma \frac{h}{L} < \frac{1}{2} gSL,$$

или

$$h < \frac{g}{2\sigma} L^2, \text{ или } h < 4f. \quad (3)$$

Здесь $f = gL^2/8\sigma$ представляет собой максимальную стрелу провеса провода при заданном пролете и при точках подвеса, расположенных на одинаковом уровне.

Из условия (3) следует, что при заданном профиле линии (заданном h) опасность выдергивания изолятора или подъема подвесной гирлянды возрастает с уменьшением f , и поэтому проверку изоляторов на срыв или подъем необходимо производить при наиминимальной температуре и при отсутствии добавочных нагрузок (гололед, ветер). Из того же условия (3) следует, что при заданных h и материале провода изоляторы тем более надежны, чем больше пролет и чем меньше напряжение в проводе при наиминимальной температуре.

Подставляя значения P'_1 и P'_2 из формулы (2) в неравенство (1), получаем условие надежности изоляторов следующего вида:

$$\frac{1}{2} gS(L_1 + L_2) + S \left(\sigma_1 \frac{h_1}{L_1} + \sigma_2 \frac{h_2}{L_2} \right) + Q > 0. \quad (4)$$

Для промежуточных опор с подвесными изоляторами тяжение провода во всем анкерованном пролете практически имеет постоянное значение, и поэтому для этих опор в условии (4) можно считать $\sigma_1 = \sigma_2$. Условие (4) действительно и для сталеалюминиевых проводов, но только в этом случае в него следует подставлять: вместо S — суммарное сечение по алюминию и стали;

² А. А. Глазунов, Электрические сети, Госэнергоиздат, 1940, стр. 346—347.

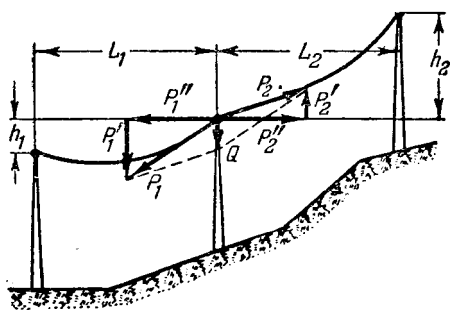


Рис. 1.

вместо g — среднюю удельную нагрузку и вместо σ_1 и σ_2 — фиктивные напряжения σ_{1F} и σ_{2F} в смежных пролетах.

Пользуясь приведенными соотношениями, при проверке линии по условию надежности изоляторов соблюдают следующее: опоры, для которых $h_1 \geq 0$ и $h_2 \geq 0$ (точка подвеса провода на данной опоре выше, чем на соседних опорах), условие надежности изоляторов заведомо соблюдено, и никакой проверки не требуется. Если же $h_1 < 0$ или $h_2 < 0$, то необходимо произвести проверку по условию (3) $h < 4f$. Только для тех опор, для которых не соблюдено условие (3), следует произвести проверку по условию (4). Как показывает практика проектирования, условие (3) бывает соблюдено даже при прохождении линии в горной местности для огромного большинства опор, и только в весьма редких случаях не соблюдается условие (4).

Таблица значений $4f = \frac{g}{26} L^2$

$L, м$	50	75	100	125	150	175	200
$\sigma, кг/мм^2$							
Провод медный, $g = 0,0089 кг/м \cdot мм^2$							
6	1,85	4,17	7,41	11,6	16,7	22,7	29,7
8	1,39	3,13	5,56	8,70	12,5	17,0	22,2
10	1,11	2,50	4,45	6,95	10,0	13,6	17,8
12	0,93	2,08	3,71	5,80	8,35	11,4	14,8
14	0,80	1,78	3,18	4,96	7,15	9,75	12,7
16	0,70	1,56	2,78	4,35	6,25	8,52	11,1
18	0,62	1,39	2,47	3,86	5,56	7,57	9,90
20	0,56	1,25	2,23	3,48	5,0	6,82	8,90
Провод алюминиевый, $g = 0,0027 кг/м \cdot мм^2$							
2	1,69	3,79	6,75	10,5	15,2	20,7	27,0
4	0,84	1,90	3,38	5,27	7,60	10,3	13,5
6	0,56	1,26	2,25	3,52	5,06	6,90	9,0
8	0,42	0,95	1,69	2,64	3,80	5,17	6,75

Для облегчения проверки можно пользоваться приведенной здесь таблицей, в которой даны значения $h = 4f$ для медного и алюминиевого проводов при различных значениях L и σ . Аналогичную таблицу можно составить и для сталеалюминиевого провода, для которого значение g непостоянно и зависит от сечения провода. При пользовании таблицей необходимо брать из нее для L ближайшее меньшее и для σ — ближайшее большее значения.

Проверку линии электропередачи по условию надежности изоляторов можно произвести и графически. Для этой цели строим и вырезаем из плотной бумаги два «минимальных шаблона»,

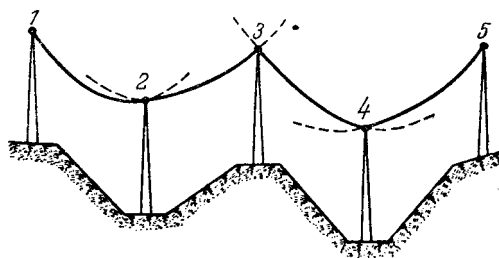


Рис. 2.

т. е. две кривые провисания провода при наиминимальшей температуре и отсутствии гололеда и ветра, из которых одна соответствует нормальному, а другая — ослабленному тяжению провода. Пользуясь минимальными шаблонами, вычерчиваем на профиле линии кривые провисания провода в сомнительных пролетах, как показано на рис. 2*.

Если на данной опоре 2 кривая провисания провода в одном из смежных пролетов (безразлично, в каком) располагается ниже продолжения кривой провисания в другом смежном пролете (на рис. 2 продолжения кривых провисания провода показаны пунктиром) или сливается с ней, то сумма вертикальных составляющих сил тяжения для данной опоры направлена вниз или равна нулю, и срыв изолятора или подъем подвесной гирлянды невозможен. Если же, напротив, кривая провисания провода в одном из смежных пролетов располагается выше продолжения кривой провисания провода в другом пролете (опора 4), то сумма вертикальных составляющих сил тяжения направлена вверх. Если данная сумма больше веса изолятора или подвесной гирлянды, то возможен срыв изолятора или подъем гирлянды. В этом случае необходимо произвести проверку изоляторов аналитически по условию (4). Справедливость сказанного легко установить из рассмотрения составляющих сил тяжения, действующих в точке подвеса провода (рис. 1) при условии $P'_1 = P'_2$ или $P_1 \approx P_2$ и $\sigma_1 \approx \sigma_2$, обязательном для промежуточных опор с подвесными гирляндами.

Производить графически проверку воздушных линий по условию надежности изоляторов можно рекомендовать только для линий, проходящих в сильно гористой или сильно пересеченной местности, для которых число сомнительных опор сравнительно велико.

Если проверка показывает, что условие (4) не соблюдено, то необходимо принять меры, обеспечивающие его выполнение, а именно: увеличение высоты «ненадежной» опоры (этим уменьшается h); уменьшение напряжений σ_1 и σ_2 в проводе (для промежуточных опор с подвесными изоляторами это возможно, если соседние опоры являются угловыми или анкерными); перестановку опор с увеличением пролета L при одновременном сохранении или уменьшении h ; подвешивание груза к подвесным гирляндам (увеличивается Q). Если же все эти меры не помогают или являются мало эффективными, то необходимо проверить опоры заменить анкерной с оттяжными гирляндами.

* А. А. Глазунов, Электрические сети, Госэнергоиздат, 1940, стр. 407—408.

В помещаемых ниже статьях А. К. Манна и В. К. Спиридонова освещены работы ЛЭС Ленэнерго и ЦНИЭЛ МЭС по разработке новых методов и аппаратуры для определения мест повреждения в силовых высоковольтных кабелях при запыляющих пробоях и однофазных повреждениях. Проведенные испытания позволили установить, что с помощью описанной аппаратуры определение мест повреждения производится быстро и точно.

Акустический метод определения мест повреждений изоляции кабелей

Инж. А. К. Манны

В Ленинградской кабельной сети был разработан и применен акустический метод определения мест повреждений в силовых кабелях, основанный на следующем принципе.

Если от источника высокого напряжения постоянного тока зарядить конденсатор C до некоторого потенциала U вольт, а затем разрядить его через разрядный промежуток P на поврежденную жилу кабеля, то разрядная волна, распространяющаяся по кабелю, может в месте повреждения r изоляции кабеля вызвать искровой разряд (рис. 1, а).

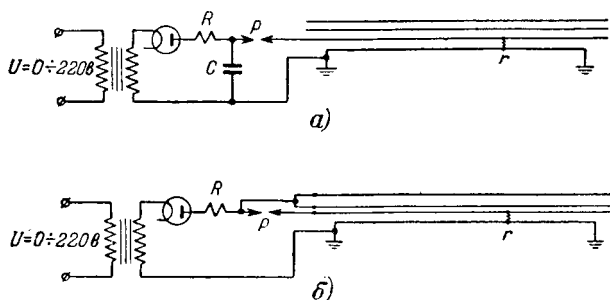


Рис. 1. Схемы определения места повреждения кабеля. а — со специальным конденсатором; б — с использованием емкости целых жил кабеля.

При достаточной мощности искрового разряда звук его можно прослушать с поверхности земли при помощи приборов и по наибольшей силе звука установить место повреждения изоляции.

Возникновение искрового разряда

В месте повреждения изоляции кабеля вследствие пробоя при профилактике или аварийного повреждения в изоляции образуется канал между жилой и свинцом или между соседними жилами, что бывает реже. У большинства встречающихся высоковольтных кабелей длина образовавшегося канала в изоляции колеблется от 3 до 6 мм.

Величина переходного сопротивления в месте повреждения изоляции зависит от ряда факторов, главным образом от того, останется ли в этом канале воздух или его заполнит вытекающий из изоляции кабеля пропиточный состав, смешанный с копотью, образовавшейся на стенках канала от поврежденной изоляции. Иногда канал в изоля-

ции заполняется водой из почвы вследствие нарушения герметичности свинцовой оболочки.

Проведенные опыты показали, что для возникновения устойчивого искрового разряда от заряженного конденсатора в месте повреждения изоляции напряжение U должно быть не менее 20—25 кВ для кабелей 6 кВ и 30—35 кВ для кабелей 35 кВ при значении переходного сопротивления r от 40 Ом и до ∞ . При значениях $r < 40$ Ом в большинстве случаев в месте повреждения не удается создать устойчивый искровой разряд. При $r = 0$, т. е. при металлическом спае в месте повреждения, искровой разряд вообще не может возникнуть.

Таким образом, акустическим методом всегда можно определить место повреждения в кабеле, если величина переходного сопротивления в месте повреждения более волнового сопротивления кабеля, что практически всегда имеет место, и если искровой разряд обладает достаточной мощностью, которая зависит от емкости разрядного конденсатора, величины напряжения заряда конденсатора и от величины переходного сопротивления в месте повреждения изоляции кабеля. Установлено, что мощность искрового разряда совершенно не зависит от мощности трансформатора испытательной установки, типа кенотронной лампы, величины включенного сопротивления между лампой и конденсатором, а также от частоты подачи импульсов в поврежденную жилу кабеля.

Большое число измерений, выполненное в линейных условиях на кабелях 6 кВ с разрядом от конденсаторов емкостью 0,2—3 мкФ, показывает, что для создания мощного искрового разряда достаточно установить конденсатор емкостью 0,4—0,6 мкФ.

Величина разрядного напряжения для кабелей 6 кВ опытным путем была определена в 20—25 кВ и для кабелей 35 кВ в 30—35 кВ.

Первоначально предполагалось, что импульсы, подаваемые в кабель, будут быстро дожигать поврежденное место изоляции и искровые разряды, возникшие в первый момент, далее прекратятся. Измерения, произведенные в линейных условиях, показали, что искровой разряд в месте повреждения вызывает разрушение угольных мостиков, что вызывает повышение переходного сопротивления в месте повреждения, причем указанная закономерность распространяется на все кабели.

Дожигание изоляции кабеля имеет место при импульсах только в случае, если в месте повреждения не возникает искрового разряда, а происходит аперiodический разряд. Возникновение аперiodического разряда возможно только при $U < 20$ кВ или при значениях $r < 40$ Ом для кабелей 6 кВ.

Конструктивное выполнение установки

Для заряда конденсатора могут быть использованы обычные передвижные испытательные кенотронные установки с одним кенотроном КР-110 или с селеновым выпрямителем — установки ТУ-180 и АКИ-1.

В установке применяются два конденсатора от статических батарей 6 кВ емкостью по 1 мкФ. Конденсаторы включаются последовательно и их кожухи изолируются от земли. Могут быть применены и специальные высоковольтные конденсаторы, выпускаемые отечественными заводами. При определении места повреждения в кабеле 35 кВ, а иногда и в кабеле 6 кВ целесообразно взамен специальных емкостей воспользоваться емкостью целых жил кабеля (рис. 1,б). Разрядник и конденсаторы должны быть установлены как можно ближе к концу кабеля. Конденсатор можно установить и стационарно в передвижной испытательной установке, но в этом случае необходимо от него протянуть отдельный провод к контуру заземления трансформаторного помещения или к свинцу поврежденного кабеля. Пользоваться общим заземляющим проводником для кенотронной установки и конденсатора нельзя, так как в момент образования искрового разряда по заземляющему проводнику конденсатора протекают большие импульсные токи, которые могут вызвать перенапряжение и повреждение изоляции кенотронной установки или повреждение изоляции сети низкого напряжения.

Необходимость отдельного проводника от конденсатора до заземляющего контура трансформаторного помещения вызывается также требованиями «Правил безопасности», на что и следует обратить особое внимание эксплуатационного персонала.

Прослушивание звука искрового разряда

Звуковая волна, распространяющаяся в земле или воде, отражается от поверхности соприкосновения с воздухом, поэтому без специальных приборов нельзя прослушать звуки даже от сильных искровых разрядов в земле или воде.

Звук от искрового разряда в земле можно непосредственно услышать, если приложиться к ней ухом, чувствительность которого для этого вполне достаточна. Однако неудобство такого метода совершенно очевидно.

Прослушивание звуковых волн в различных средах может быть осуществлено с помощью стетоскопа¹, которым широко пользуются во многих областях техники и медицины.

Для прослушивания звуковых волн, распространяющихся в земле от искрового разряда, обычно применяют стетоскоп из дуба. Благодаря тому, что акустическое сопротивление земли мало отличается от акустического сопротивления дуба, почти вся энергия падающей звуковой волны проходит из земли в стетоскоп.

Вследствие своей простоты и надежности стетоскоп успешно применяется для прослушивания звука искрового разряда при определении мест повреждений в кабелях. Недостатком стетоскопа является малая зона слышимости звуковых толчков по трассе.

Наиболее совершенными чувствительными приборами для улавливания звуков в земле являются специальные аппараты, состоящие из приемника звуковых частот и усилителя.

Приемник звуковых частот должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Он должен непосредственно соприкасаться с землей или это соприкосновение должно осуществляться через промежуточную среду, имеющую одинаковое акустическое сопротивление с землей. Если это условие не будет выполнено, то звуковые волны отразятся обратно в землю от плоскости раздела двух сред, не достигнув приемника звука.

2. Он должен быть экранирован от посторонних шумов, в противном случае шумы улицы, будучи усилены, не дадут возможности прослушать звуки от искрового разряда в земле.

Большое число изготовленных опытных приборов с различными типами приемников звуковых частот, выполненные без учета изложенных требований, не могли быть использованы в линейных условиях.

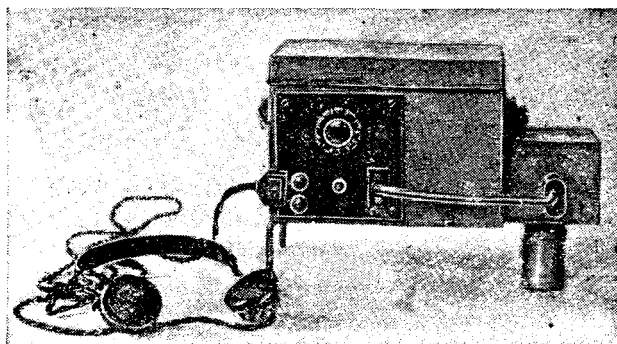


Рис. 2. Прибор для прослушивания звука искрового разряда.

На рис. 2 показан прибор, который дал хорошие результаты при работе на кабельной линии. Он состоит из двух частей — пьезоприемника звуковых частот (рис. 3) и трехкаскадного усилителя, схема которого дана на рис. 4 (может быть применен и любой другой тип усилителя).

¹ Стетоскоп для определения искрового пробоя в соединительных муфтах с поверхности земли был впервые применен инж. П. Н. Апушкинским в 1947 г. (см. сборник статей «Эксплуатация кабелей и кабельных сетей», под редакцией И. А. Сыромятникова, Госэнергоиздат, 1949).

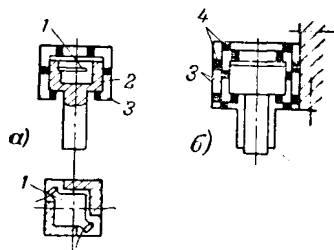


Рис. 3. Приемник звуковых частот.

1 — пьезоэлемент; 2 — дубовый стержень; 3 — корпус звукового экрана; 4 — прокладка пористой резины.

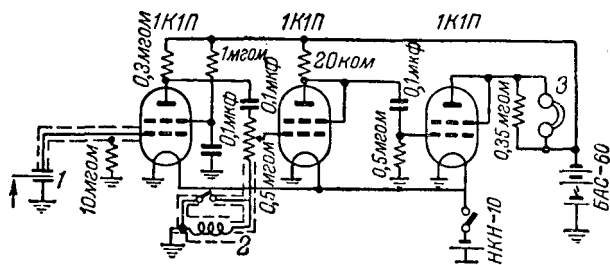


Рис. 4. Схема усилителя.

1 — приемник звуковых частот; 2 — рамка с 4000 витками проволокой ПЭ диаметром 0,09 мм; 3 — высокоомные телефоны.

К одному концу дубового стержня приемника крепится пьезоэлемент от обычного пьезотелефона. Две грани пьезоэлемента приклеиваются к выступу в теле стержня.

Приемник звуковых частот помещается в корпусе, с которым он скрепляется при помощи резиновых прокладок из губчатой резины (рис. 4, а). Обычно одного корпуса бывает недостаточно для того, чтобы предохранить приемник звуков от шумов, распространяющихся по воздуху. В этих случаях необходимо сделать дополнительный кожух, как это показано на рис. 4, б. Защиту приемника звуковых частот от мешающих шумов в воздухе надо выполнять особенно тщательно.

В приборе предусмотрена рамка для улавливания электрических импульсов, что дает возможность определить трассу кабеля, а также проверить наличие звуковых толчков и частоту их подачи.

На рис. 5 показан другой тип приемника с широким спектром принимаемых звуковых частот. Здесь в качестве пьезокристалла применена пьезоэлектрическая керамика.

Работа на линии с этим прибором крайне проста. Его устанавливают на земле над кабелем и в телефон прослушивают звуковые толчки; если толчков нет, прибор переносится на 2—3 м и т. д. Наибольшая слышимость звуковых толчков наблюдается в месте возникновения искрового разряда. По мере удаления от места повреждения сила звука уменьшается и постепенно исчезает. Иногда при благоприятных условиях звуки от искрового разряда можно прослушать по трассе на ± 15 м от места повреждения; в неблагоприятных условиях зона слышимости на стетоскоп уменьшается до ± 1 м и на прибор до ± 6 м.

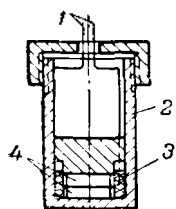


Рис. 5. Приемник звуковых частот с кристаллами пьезоэлектрической керамики

1 — проводник к усилителю; 2 — корпус; 3 — пьезоэлектрическое кольцо; 4 — кристаллы.

В линейных условиях не наблюдалось уменьшения мощности искрового разряда при удалении импульсного генератора от места повреждения.

Акустическим методом хорошо прослушивались места повреждения, находящиеся от места установки генератора импульсов на расстоянии 5—6 км для кабелей 6 кВ и 9—10 км для кабелей 35 кВ.

Применение акустического метода в линейных условиях

Для определения места повреждения кабеля акустическим методом необходимо предварительно найти зону этого повреждения, производя измерения на больших переходных сопротивлениях (порядка 0,1—1 мОм), желательно без дожигания изоляции кабеля.

При проведении профилактических испытаний кабеля зона нахождения повреждения может быть определена методом колебательного разряда, разработанного в ЦНИЭЛ МЭС². Если зона повреждения определена, то в поврежденную жилу кабеля подают через разрядник импульсы и далее на трассе находят место повреждения в кабеле. Частота импульсов регулируется кенотронной установкой — в среднем 1 импульс в 1 сек.

При невозможности определения зоны повреждения при больших переходных сопротивлениях приходится прибегать к дожиганию изоляции кабеля до величины переходного сопротивления $r = 100 \div 15000$ Ом для возможности измерения зоны мостовым методом.

Если после дожигания места повреждения от кенотронной установки была включена газотронная установка и переходное сопротивление в месте повреждения было доведено до металлического спая, то акустический метод не может быть применен.

Иногда при подаче напряжения от испытательной установки на оборванную жилу кабеля с $r = \infty$ в месте повреждения возникают устойчивые искровые разряды, которые не вызывают снижения величины переходного сопротивления. В этом случае нет надобности в кабель подавать импульсы через разрядник P , так как само место повреждения выполняет функции разрядника. В целях усиления мощности искрового разряда в месте повреждения к оборванной жиле кабеля необходимо подключить конденсаторы. Место повреждения далее прослушивается обычным способом.

При испытаниях изоляции кабелей иногда в муфтах, имеющих пустоты в заливочной массе, возникают искровые разряды. Такой вид повреждения называется заплывающим пробоем. Опыт эксплуатации показал, что в этих случаях нет смысла заниматься дожиганием места повреждения; необходимо только определить зону места повреждения³ и затем в этой зоне методом прослушивания находят поврежденную муфту.

² См. статью В. К. Спиридонова.

³ См. сборник статей «Эксплуатация кабелей и кабельных сетей» под редакцией И. А. Сыромятникова, Госэнергоиздат, 1949.

Количество измерений по разным методам (в %)

Время измерения	Метод измерения							% измерений с указанием повреждений непосредственно на трассе
	Петлевой	Емкостный	Индукционно-баллистическим гальванометром	Индукционный	Акустический	Накладной рамки	По всем методам	
За 6 мес. 1951 г.	26,0	6,0	3,5	54,0	8,0	2,5	100,0	64,5
Январь 1952 г. . .	21,0	—	10,5	16,0	47,0	5,5	100,0	68,5
Февраль	12,0	6,0	—	18,0	64,0	—	100,0	82,0
Март	14,0	—	7,0	—	79,0	—	100,0	78,0
Апрель	10,0	3,0	3,0	7,0	77,0	—	100,0	83,0
Май	7,0	—	—	28,0	62,0	3,0	100,0	93,0
Июнь	7,0	—	—	21,0	72,0	—	100,0	93,0
За 6 мес. 1952 г.	11,0	1,5	3,0	16,0	67,0	1,5	100,0	84,5

При длине кабеля до 1 км персонал иногда не определяет зоны нахождения повреждений, а приступает прямо к прослушиванию муфт, если количество их не более 6—7 и местонахождение их известно.

За 8 мес. эксплуатации акустический метод был применен 140 раз, из них только в 12 случаях место повреждения не было указано на трассе. В 8 случаях из 12 переходное сопротивление в месте повреждения изменялось от $r=0$ до $r=15$ ом (акустический метод здесь применялся для проверки правильности сделанных ранее заключений). В 4 случаях место повреждения не было уточнено на трассе, так как была допущена ошибка при определении зоны нахождения места повреждения.

Применение акустического метода дало возможность почти все повреждения находить непосредственно на трассе.

Сопоставление измерений по различным методам определения повреждений кабелей за вторую половину 1951 г. * и по месяцам за первую половину 1952 г. (см. таблицу) показывает, что акустический метод получил наибольшее распространение.

Акустический метод с успехом также применяется для определения повреждений изоляции подводных кабелей 6 и 35 кв на глубинах от 2

до 14 м как в зимних условиях с поверхности льда, так и в летних условиях с лодки.

В ленинградской кабельной сети акустический метод широко применяется только для кабелей 6 и 35 кв, но, безусловно, он может быть применен и для определения мест повреждения изоляции в кабелях иных напряжений. Для этого необходимо опытным путем установить величину напряжения импульса, требуемого для образования искрового разряда в месте повреждения кабеля, а также чтобы это напряжение импульса было безопасно для самой изоляции кабеля. Требуемая мощность искрового разряда достигается установкой разрядного конденсатора с большей емкостью.

Выводы

1. Акустический метод является единственно возможным для нахождения на трассе повреждения одной жилы на землю или обрыва жил кабеля.

2. Только этот метод дает возможность определять места повреждения в подводных кабелях непосредственно на трассе.

3. При определении места повреждения предлагаемым акустическим методом не требуется длительного дожигания изоляции кабеля.

4. Опыт эксплуатации показывает, что акустический метод вполне пригоден практически для определения любых видов повреждений в кабелях 6 и 35 кв и является наиболее простым, не требующим дополнительного оборудования или сложных приборов.

* В первой половине 1951 г. акустический метод применялся только для определения муфт с заплывающим пробоем.



Определение места повреждения при заплывающем пробое кабеля методом колебательного разряда

Инж. В. К. Спиридонов

Заплывающий пробой в кабеле проявляется в виде короткого замыкания при высоком напряжении и исчезает (заплывает) при низком напряжении. Заплывающие пробой в подавляющем большинстве случаев происходят в соединительных муфтах и выявляются при профилактических испытаниях кабелей высоким напряжением.

Определение места повреждения при заплывающем пробое представляет значительные трудности из-за несовершенства применяющихся методов измерений¹:

а) дожигание места повреждения до устойчивого короткого замыкания; б) измерение индукционно-баллистическим гальванометром; в) выслушивание места пробоев стетоскопом; г) разрезание кабеля на части. Эти методы имеют следующие недостатки.

Метод дожигания в ряде случаев не дает необходимого результата — заплывающий пробой не удается довести до устойчивого короткого замыкания, несмотря на попытки производить дожигание в течение длительного периода. Кроме того, метод дожигания требует наличия специальной аппаратуры; при дожиге кабель подвергается большим перенапряжениям толчками в течение длительного времени.

Метод индукционно-баллистического гальванометра обладает малой точностью измерения, что вызывает необходимость, как показывает практика, вскрывать 1—2 лишних муфт. Малая точность метода объясняется принципиальной невозможностью точно определить поправочный коэффициент, входящий в формулу подсчета измерений, так как он зависит от: 1) расстояния до места повреждений и полной длины кабеля; 2) затухания волны в кабеле, в свою очередь зависящего от: а) типа и сечения кабеля; б) состояния изоляции кабеля (потери); в) уровня испытательного напряжения; 3) коэффициента связи между жилами, соединенными в петлю; 4) индуктивности перемычек, образующих петлю; 5) характера изменения сопротивления в месте пробоя по времени.

Метод выслушивания стетоскопом обладает малой чувствительностью и большой восприимчивостью к внешним шумам. При наличии большого количества соединительных муфт на кабеле и незнания зоны нахождения повреждения применение метода выслушивания крайне затруднено.

Недостатки разрезания кабеля на части очевидны. Здесь требуется вскрытие нескольких муфт и разрезание кабеля. Однако этот способ еще приходится применять в эксплуатации из-за отсутствия других надежных средств определения места повреждения.

В данной статье приведены описание и результаты опытной эксплуатации нового метода — метода колебательного разряда, разработанного в Центральной научно-исследовательской электротехнической лаборатории МЭС СССР и позволяющего простым путем определять место пробоя в кабеле с относительно большой точностью.

Принцип метода

Принцип метода колебательного разряда для определения расстояния до места пробоя в кабельной линии заключается в следующем.

Жила кабеля через сопротивление R_3 заряжается от источника постоянного тока (рис. 1). Напряжение заряда поднимается плавно до максимального значения, обусловленного нормами профилактических испытаний для данного кабеля. В случае, если изоляция жилы имеет дефект, то при некотором уровне напряжения между жилой и свинцом (землей) происходит пробой в дефектном месте.

Место пробоя имеет малое сопротивление, измеряемое долями ома, независимо от напряжения пробоя.

Результатом пробоя с малой величиной переходного сопротивления является возникновение в кабеле разряда колебательного характера. Характер колебания напряжения на зажимах кабеля при пробое показан на рис. 2, а; график построен для кабеля, не имеющего потерь; затухание колебаний разряда обусловлено потерей энергии в месте пробоя.

Период колебания при разряде равен:

$$T = \frac{4l}{v} \text{ мксек,}$$

где v — скорость распространения волны колебаний, м/мксек;

l — расстояние до места повреждения, м.

Скорость распространения волны для силовых трехфазных кабелей 6—10 кВ сечением 16—150 мм² в среднем равна 160 м/мксек. Таким

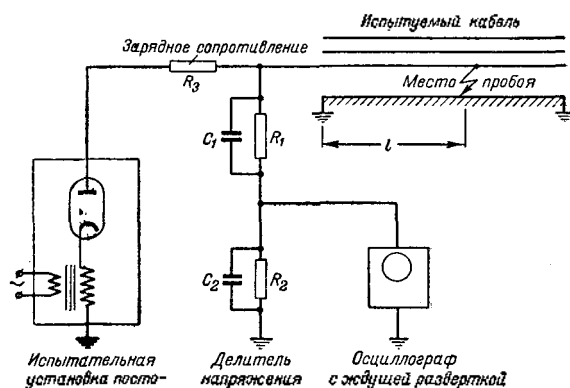


Рис. 1. Схема измерения для определения места заплывающего пробоя.

¹ См. сборник статей «Эксплуатация кабелей и кабельных сетей» под редакцией И. А. Сыромятникова, Госэнергоиздат, 1949; П. Н. Апушкинский, Отыскание места повреждения в кабеле при заплывающем пробое, «Электричество», 1947, № 9.

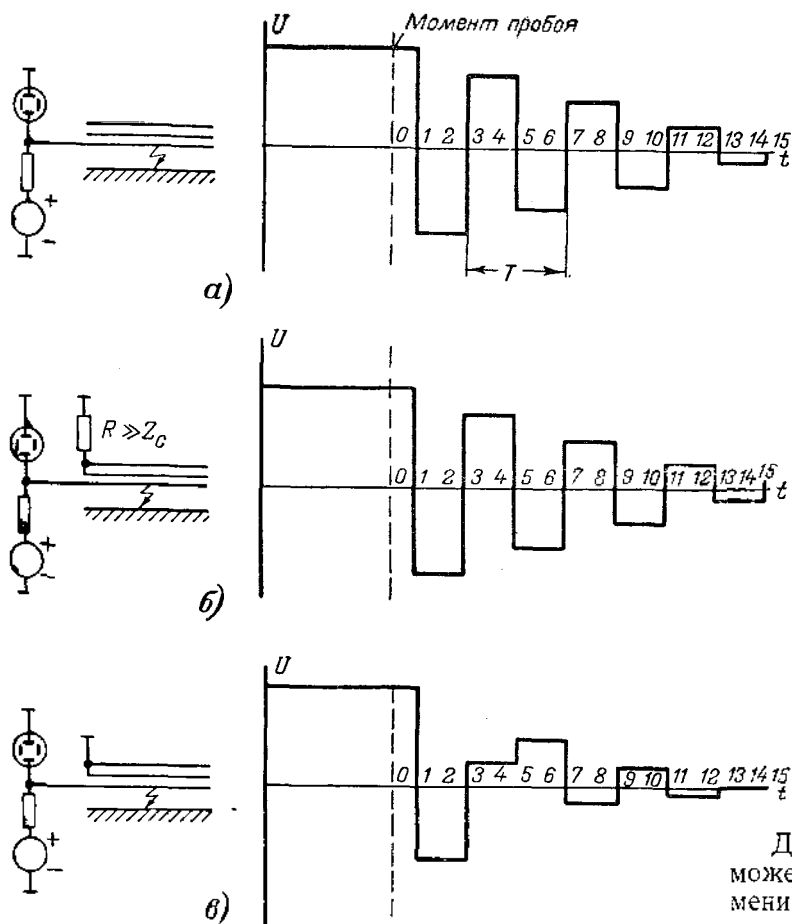


Рис. 2. Колебания напряжения на зажимах кабеля при различных схемах включения.

образом, расстояние до места повреждения будет определено как

$$l = \frac{Tv}{4} = 40 \text{ Г.}$$

Следовательно, определение расстояния до места повреждения сводится к измерению периода колебания при разряде, т. е. времени, при помощи специальной аппаратуры, присоединяемой к кабелю при испытаниях.

Как следует из приведенного выше соотношения, при изменении длины кабеля до места повреждения в пределах от 40 до 4 000 м частота собственных колебаний в кабеле находится в пределах соответственно 1 мГц — 10 кГц. Указанным частотам соответствуют периоды колебаний в 1—100 мксек. Измерение подобных интервалов времени предъявляет специфические требования к измерительной аппаратуре.

Вследствие незначительной величины переходного сопротивления в месте пробоя колебания, возникающие в кабеле по обе стороны от места пробоя, протекают независимо друг от друга, и определение расстояния до места повреждения можно производить с любого конца кабеля.

Измерительная аппаратура

В качестве источника постоянного тока используется обычная высоковольтная кенотронная установка с плавной регулировкой напряжения до 50 кв. Установка дает однополупериодное выпрямление без сглаживающего фильтра.

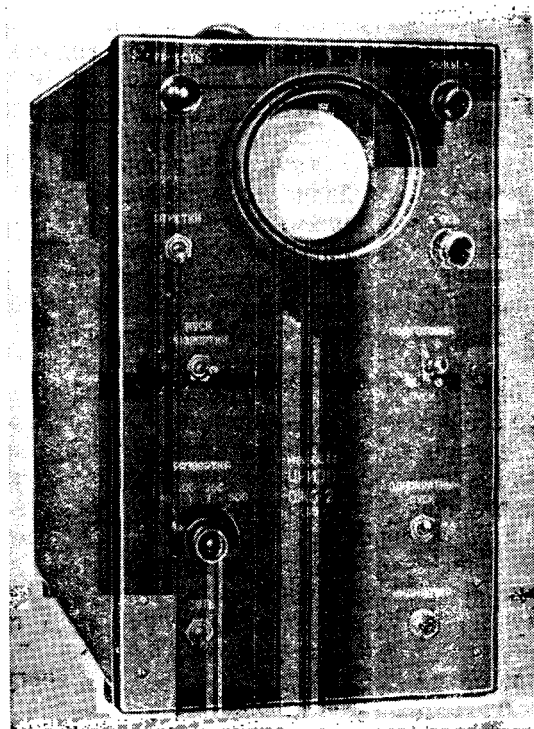


Рис. 3. Осциллограф ЦНИЭЛ типа ОЖО.

Для измерения периода колебания при пробое может быть применен электронный счетчик времени или осциллограф с однократно разверткой и фотокамерой для съемки явления. Приборы для измерения времени должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Пределы измерения времени от 0,5 до 200 мксек, что позволит производить измерение повреждений, произошедших на расстояниях от 20 до 5 000 м.

2. Точность измерения времени $\pm (0,25 \div 0,5 \text{ мксек})$, что соответствует $\pm 10 \div 20 \text{ м}$ длины кабеля.

Экспериментальное исследование и измерение заплывающих пробоев производились с помощью портативного осциллографа типа ОЖО конструкции ЦНИЭЛ МЭС (рис. 3) с ждущей однократной линейной разверткой, содержащего следующие основные элементы: а) блок пусковых цепей; б) генератор развертки и подсвета; в) генератор масштабных отметок времени; г) индикатор. Блок-схема прибора показана на рис. 4.

Блок пусковых цепей предназначен для управления пуском генератора цепей развертки и подсвета. Он может быть пущен импульсом исследуемого напряжения или ручным управлением. Пусковая цепь имеет селектор полярности пускового

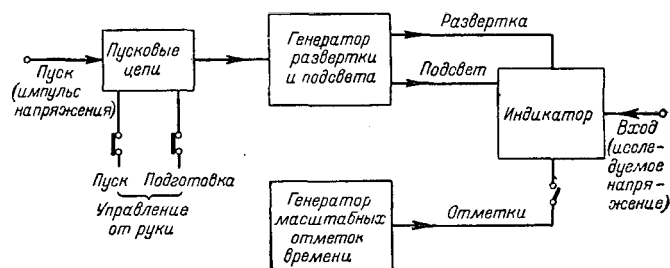


Рис. 4. Блок-схема осциллографа ОЖО.

импульса, позволяющая запускать осциллограф по выбору первым положительным или отрицательным импульсом исследуемого напряжения. Имеющаяся блокировка обеспечивает только однократный пуск осциллографа.

В качестве индикатора в осциллографе использована серийная электронно-лучевая трубка с электростатическим отклонением. Для получения большой яркости луча, необходимой для фотозаписи при однократной развертке, трубка работает в форсированном режиме при увеличенном анодном напряжении. Нормально луч трубки заперт сеточным смещением и на экране прибора не видно свечения. Диаметр экрана трубки 80 мм. Свечение экрана — зеленое. Небольшое послесвечение на экране осциллографа позволяет производить визуальное наблюдение однократных процессов. Для фотографирования осциллограмм предусмотрена фотоприставка.

Генератор развертки вырабатывает напряжение экспоненциальной формы. Для отклонения луча используется только около 10% генерируемого напряжения для обеспечения линейности развертки. Скорость развертки регулируется в пределах 50—500 мксек/экран.

Импульс напряжения подсвета луча формируется применением корректирующих элементов.

Генератор масштабных отметок времени вырабатывает амплитудные отметки, наложенные на линию развертки. Масштаб отметок 20 мксек. Стабильность частоты масштабных отметок обеспечивается транзисторным генератором.

Присоединение измерителя времени производится не непосредственно к жиле кабеля, находящейся под высоким напряжением, а через делитель напряжения или антенну. Поэтому измерительная аппаратура находится под низким потенциалом, и корпус прибора заземляется, что обеспечивает соблюдение правил безопасности.

При применении делителя используется компенсированный реостатно-емкостный делитель, не искажающий форму кривой напряжения в широком спектре частот и не оказывающий реакции нагрузки на исследуемую цепь.

В качестве антенны осциллографа используется кусок изолированного провода длиной 2—3 м, который располагается на расстоянии 2—6 м от выводов кабеля.

Применение антенны или делителя напряжения дает одинаковые результаты измерения времени периода колебания.

Экспериментальные и эксплуатационные измерения

Определение места повреждения при замыкании пробое методом колебательного разряда и экспериментальное исследование этого метода на реальных кабельных линиях проводилось с 1950 г. в кабельных сетях МКС Мосэнерго, ЛКС Ленэнерго и Мосэлектротранса.

Измерения производились на трехфазных кабелях 6—10 кВ типа СБ и СБС сечением от 16 до 150 мм² при напряжениях пробоя от 4 до 60 кВ по схеме, показанной на рис. 1. Испытательная аппаратура (зарядное сопротивление R_z , делитель напряжения и осциллограф) обычно устанавли-

валась на расстоянии 1—3 м от концевой разделки (воронки) испытуемого кабеля; высоковольтная кенотронная установка присоединялась длинными концами, доходящими иногда до 75 м. В некоторых случаях из-за неудобства установки аппаратуры в помещении распределительного устройства осциллограф устанавливался в автомашине рядом с высоковольтным кенотронным аппаратом, а вместо делителя применялась антенна длиной 2—4 м. Применение антенны в таких условиях обеспечивало необходимый уровень подводимой к осциллографу амплитуды напряжения (порядка 300—500 в) и не нарушало точности измерения периода колебания. Неповрежденные жилы во время измерений оставались изолированными на обоих концах кабеля.

Для того чтобы при испытании кабеля можно было зафиксировать и пробой испытуемой жилы на другие жилы, необходимо последние заземлить через высокоомное сопротивление. Такое заземление жил не искажает характера волнового процесса. Результаты определения места повреждения при замыкающем пробое на некоторых кабелях приведены в таблице.

Результаты измерений при определении места повреждения в силовых кабелях марки СБ

Сечение, мм ²	Напряжение, кВ	Длина, м	Напряжение пробоя, кВ	Расстояние до места повреждения, м		Ошибка измерения	
				измерение	раскопка	м	%
3×16	6	367	20	305	310	—5	1,6
3×120	6	485	20	109	120	—11	9,0
3×120	6	586	20	13	12	+1	8,5
3×50	10	1477	40	829	829	0	0
3×120	10	1488	50	1420	1400	+20	1,4
3×120	6	1508	35	388	393	—5	1,3
3×120	6	2338	35	860	853	+7	0,8
3×120	6	2428	20	773	772	+1	0,15
3×120	6	2592	15	215	225	—10	5,0
3×120	6	3436	50	1090	1097	—7	0,65
3×120	10	3594	18	1534	1530	+4	0,27
3×120	10	4016	14	1830	1837	—7	0,38
3×120	6	4183	40	2100	2086	+14	0,68
3×120	6	4549	35	535	536	—1	0,2
3×120	6	5059	18	610	607	+3	0,5
3×120	10	5716	50	782	755	+27	3,5
3×150	6	6107	25	50	46	+4	9,0

После сборки схемы и проверки действия аппаратуры производится подъем высокого напряжения. Измеритель, находящийся около осциллографа, открывает затвор фотоаппарата и производит визуальное наблюдение за экраном осциллографа. При первом пробое в кабеле осциллограмма фиксируется на фотопленке, а пуск осциллографа автоматически блокируется, чем исключается повторная съемка на тот же кадр фотопленки. После съемки осциллограммы измеритель закрывает затвор аппарата.

Фотоприставка защищает объектив аппарата от проникновения постороннего света. Экран осциллографа не имеет предварительного свечения. Это позволяет держать открытым затвор фотоаппарата в течение более 30 мин. без заметного засвечивания негатива.

Визуальное наблюдение за осциллограммой позволяет оценить длительность периода колебания, так как на осциллограмму наложены масштабные отметки времени. При небольшом навыке период колебаний по визуальному отсчету может быть определен с точностью до 10—20%.

Точное определение периода колебания производится по фотоосциллограмме для первого записанного периода колебания.

С целью накопления опыта и проверки точности измерений последние производились в ряде случаев с обоих концов кабеля, причем были получены совпадающие результаты. Кроме того, измерения производились для искусственных повреждений, имитируемых путем установки на кабельной линии разрядника на известном расстоянии от места измерения. Результаты измерений в этих случаях также давали правильное определение места повреждения независимо от величины напряжения пробоя.

Методом колебательного разряда были также определены повреждения кабелей, которые до этого находились в длительной консервации, из-за отсутствия способа точного определения места повреждения. Эти повреждения после 1—2 пробоев «заплывали» и не давали последующих пробоев в течение длительного времени (нескольких дней).

Имелся один случай измерения места повреждения при междупазовом заплывающем пробое, т. е. пробое между жилами. Измерение в этом случае производилось по схеме рис. 2,б.

Заплывающие пробои, как правило, происходят в соединительных муфтах. Поэтому точность измерения данным методом оказывалась достаточной, чтобы найти повреждение в ближайшей муфте от места, определенного измерением. Погрешность измерения при расстоянии до места повреждения не более 1,5—2 км в среднем равна ± 20 м; при определении места повреждения на больших расстояниях для повышения точности измерения желательно производить с обоих концов кабеля.

Требования к точности определения места повреждения могут быть значительно снижены, если затем для уточнения места повреждения использовать методы выслушивания, определяющие повреждение непосредственно на трассе.

При совместных испытаниях метода колебательного разряда, разработанного в ЦНИЭЛ МЭС, и акустического метода², разработанного и применяемого в ЛКС Ленэнерго (испытания производились в кабельной сети ЛКС Ленэнерго), было установлено, что первый метод позволяет быстро определить зону повреждения путем визуального отсчета по экрану осциллографа без снятия фотоосциллограмм.

Вторым методом обследовалась только часть кабельной трассы в измеренной зоне длиной около 100 м и точно указывалось место повреждения непосредственно на трассе кабеля.

Совместное использование указанных методов позволяет очень быстро и совершенно точно —

с указанием места повреждения непосредственно на трассе кабельной линии — определять место заплывающих пробоев.

Измерение методом колебательного разряда целесообразно совместить с профилактическими испытаниями кабелей высоким напряжением. Простота присоединения аппаратуры (антенная связь) не внесет усложнений и изменений в методы профилактических испытаний. Однако при первом пробое в кабеле независимо от вида повреждения, обнаруженного после пробоя, расстояние до места пробоя будет определено данным методом. Такое измерение совершенно исключает «случайные» пробои, имеющие иногда место при профилактических испытаниях, т. е. значительно повысит качество испытаний и облегчит отыскание повреждений.

Повидимому, применение метода колебательного разряда и акустического метода позволяет быстро определять подавляющее большинство повреждений, выявляемых в виде пробоев при профилактических испытаниях кабелей.

На основании исследований и произведенных измерений в эксплуатационных условиях установлено влияние отдельных факторов на точность измерения методом колебательного разряда.

Точность определения места повреждения зависит от точности измерения периода колебания T и скорости распространения волны колебания v .

Исследование и опыты измерений показывают, что в ряде случаев период колебаний не постоянен и изменяется с течением времени процесса колебания. Однако, если измерение периода колебания производить по одному-двум первым колебаниям, то результаты измерения получаются точными. Установлено, что изменение периода колебания происходит из-за наличия связи между отдельными жилами кабеля при наличии потерь и из-за связи через сопротивление в месте пробоя двух колеблющихся систем кабеля, расположенных по обе стороны от места пробоя.

На характере колебаний в поврежденной жиле существенным образом сказываются коле-

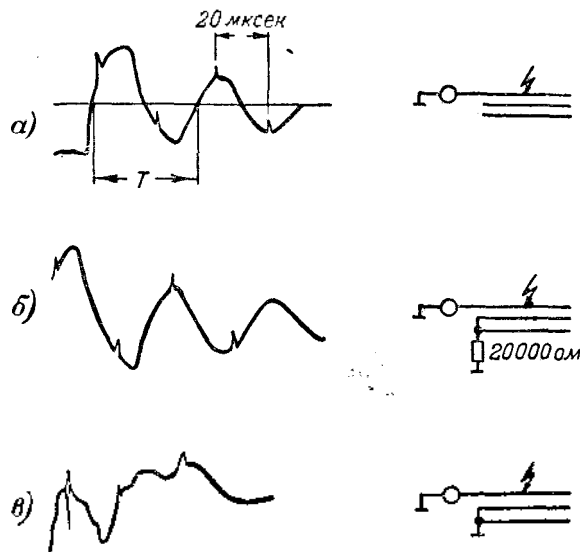


Рис. 5. Осциллограммы напряжения при разряде кабеля СБЗ \times 120 мм², 6 кв, длиной 3594 м в момент пробоя на расстоянии 1500 м от места измерения при различных схемах включения (напряжение пробоя 18 кв).

² См. статью А. К. Манна.

бания, возбужденные в неповрежденных жилах при пробое в кабеле. Заземление неповрежденных жил на конце кабеля (рис. 2,в) искажает характер колебания в поврежденной жиле и затрудняет измерение периода колебания. Наилучшие условия для измерения периода колебания обеспечивают схемы рис. 2,а и б, создающие одинаковые условия отражения волны колебательного процесса от концов кабеля.

На рис. 5 показаны осциллограммы напряжения при колебательном разряде в кабеле при различных схемах включения, соответствующих схемам рис. 2.

Скорость распространения волны колебания в кабеле определяется его конструктивными особенностями. Для большинства типов кабелей скорость распространения в среднем равна 160 м/мксек. В практике эксплуатационных измерений встречались случаи значительного отклонения скорости от указанного значения, что, по всей видимости, может быть объяснено как изменением конструкции кабелей, так и изменением частотной составляющей фронта волны при значительных расстояниях до места повреждения.

Представляется целесообразным при измере-

ниях на больших длинах вводить поправочный коэффициент на изменение скорости распространения.

Выводы

1. Экспериментальные исследования и опытная эксплуатация метода колебательного разряда показывают его полную пригодность для определения мест заплывающих пробоев в силовых кабелях без дожига места повреждения.

2. Метод колебательного разряда дает возможность определять место повреждения при первом пробое, что позволяет совместить измерения этим методом с профилактическими испытаниями и таким путем определять зону места пробоя, независимо от вида повреждения в кабеле.

3. Средняя точность измерения данным методом порядка ± 20 м при измерениях до места повреждения, находящегося на расстоянии не более 1,5—2 км.

4. Метод разработан и проверен для силовых трехфазных кабелей 6—10 кв. Имеется принципиальная возможность использования данного метода для однофазных кабелей и кабелей других типов и напряжений.



Об аккумуляторных батареях на электростанциях малой и средней мощности¹

Инж. А. М. Пружанский

Проектирующие организации исходят в своих проектах из «Основных положений по проектированию промышленных тепловых электростанций средней и малой мощности и тепловых сетей», разработанных Промэнергопроектом и изданных в 1946 г.

В соответствии с этими «Положениями» для электростанций с агрегатами в 4—6 тыс. квт проектируют установку аккумуляторной батареи напряжением 110—220 в, в качестве независимого источника оперативного тока. Эта батарея предназначена в основном для обеспечения дистанционного управления выключателями, для питания цепей защиты и сигнализации и для питания аварийного освещения.

Для обеспечения питания аварийного освещения от аккумуляторной батареи напряжение последней выбирается равным напряжению осветительной сети. Так как питание осветительной и силовой сетей собственных нужд осуществляется от общих трансформаторов, то напряжение этих сетей выбирается равным 380/220 в. Отсюда следует, что напряжение аккумуляторной батареи выбирается также равным 220 в.

Для обслуживания аккумуляторной батареи 220 в требуется установка зарядного и подзарядного агрегатов, вентиляционная камера, кладовая реактивов, щит постоянного тока с коммутационной и прочей аппаратурой и ряд кабелей сечением 16 мм² и более.

Установка аккумуляторной батареи 220 в получается громоздкой и имеет следующие недостатки:

1. Значительная стоимость установки. Суммарная стоимость электрооборудования, монтажа и строительной части составляет 180—240 тыс. руб.

2. Сложность компоновки щитового блока и сложность эксплуатации самой батареи, в результате чего затрудняется обслуживание собственных нужд дежурным персоналом.

3. Значительный расход цветных металлов как в самой аккумуляторной батарее, так и в результате удлинения всех контрольных кабелей и применения силовых кабелей постоянного тока больших сечений.

В соответствии с упомянутыми «Основными положениями» и решением Технического управления МЭС на электростанциях малой и средней мощности управление выключателями отходящих линий осуществляется из коридора управления распределительного устройства. В большинстве случаев электростанции с агрегатами мощностью до 6 тыс. квт являются фабрично-заводскими станциями. На них отходящие линии обычно бывают радиальными и во многих случаях их выключатели могут быть заменены выключателями нагрузки.

Таким образом, количество выключателей, требующих дистанционного управления, исчисляется единицами (генераторные, секционные, шинносоединительные, трансформаторы собственных нужд).

¹ Печатается в порядке обсуждения. Ред.

Из сказанного ясно, что нет никакой необходимости в усложнении электрохозяйства станции установкой дорогостоящей и громоздкой аккумуляторной батареи 220 в, если те же цели (дистанционное управление, аварийное освещение и пр.) могут быть достигнуты более экономичными и удобными средствами при большей надежности.

На электростанциях с агрегатами мощностью до 6 тыс. кВт такими средствами могут служить аккумуляторная батарея 24 в и грузовые или пружинные приводы, устанавливаемые на выключателях, требующих дистанционного управления.

Например, такие приводы типа УГП (грузовые) выпускаются Рижским ремонтно-механическим заводом Латвэнерго. К этим приводам имеется приспособление для автоматического подъема груза типа АМР с электродвигателем мощностью 50—100 вт. Привод УГП может быть установлен на выключатель любого встречающегося в практике типа (до 35 кв). Надежность работы этих приводов доказана на практике.

Малая потребляемая мощность этих приводов (электромагниты отключения и включения потребляют всего лишь 4,5 а) позволяет выполнять цепи питания кабелями сечением 1,5—2,5 мм². Кроме того, эти приводы позволяют осуществить АПВ и АВР, обходясь без дополнительных комплектов сложных реле, которые требуются при применении соленоидных приводов.

Таким образом, при наличии грузовых приводов типа УГП дистанционное управление выключателями на оперативном постоянном токе 24 в является возможным. Осуществление защиты и сигнализации на оперативном постоянном токе 24 в не встречает затруднений.

На электростанции целесообразно устанавли-

вать две аккумуляторные батареи 24 в, из которых одна является резервной. Они комплектуются из двух 12-в автомобильных аккумуляторов типа 6-СТЭ-144.

Батарея работает в режиме постоянного подзаряда. Зарядка батареи осуществляется при помощи селенового выпрямителя типа ВСА—6 м. Благодаря малым габаритам ни аккумуляторная батарея, ни выпрямитель не требуют особых помещений. Они могут устанавливаться в одном из свободных углов помещения щита управления.

Питание аварийного освещения осуществляется небольшим дизель-генератором, имеющим стартерный пуск. При исчезновении напряжения в сети основного рабочего освещения автоматически осуществляется запуск дизельной установки и подключение ее к сети аварийного освещения.

На рис. 1 приведена схема установки постоянного тока 24 в и автоматического переключения питания аварийного освещения. В этой схеме использован двигатель внутреннего сгорания типа 2Ч $\frac{10,5}{13}$. Комплектно с двигателем поставляются генератор постоянного тока типа ПН-100 13,5 квт, 230 в и стартер типа СМА 2,5 л. с., 12 в.

Переключение сети аварийного освещения с нормального питания на питание от дизель-генератора осуществляется при помощи переключающей установки типа Б-3314/222.

Контактор 1Л отключается при исчезновении напряжения в сети рабочего освещения. В результате включается контактор 4Л запуска стартера С, дизель развернется и генератор возбуждётся. Регулировка дизеля и возбуждения генератора осуществляется заранее. При подъеме напряжения на зажимах генератора до некоторой установленной величины включаются контакторы 2Л

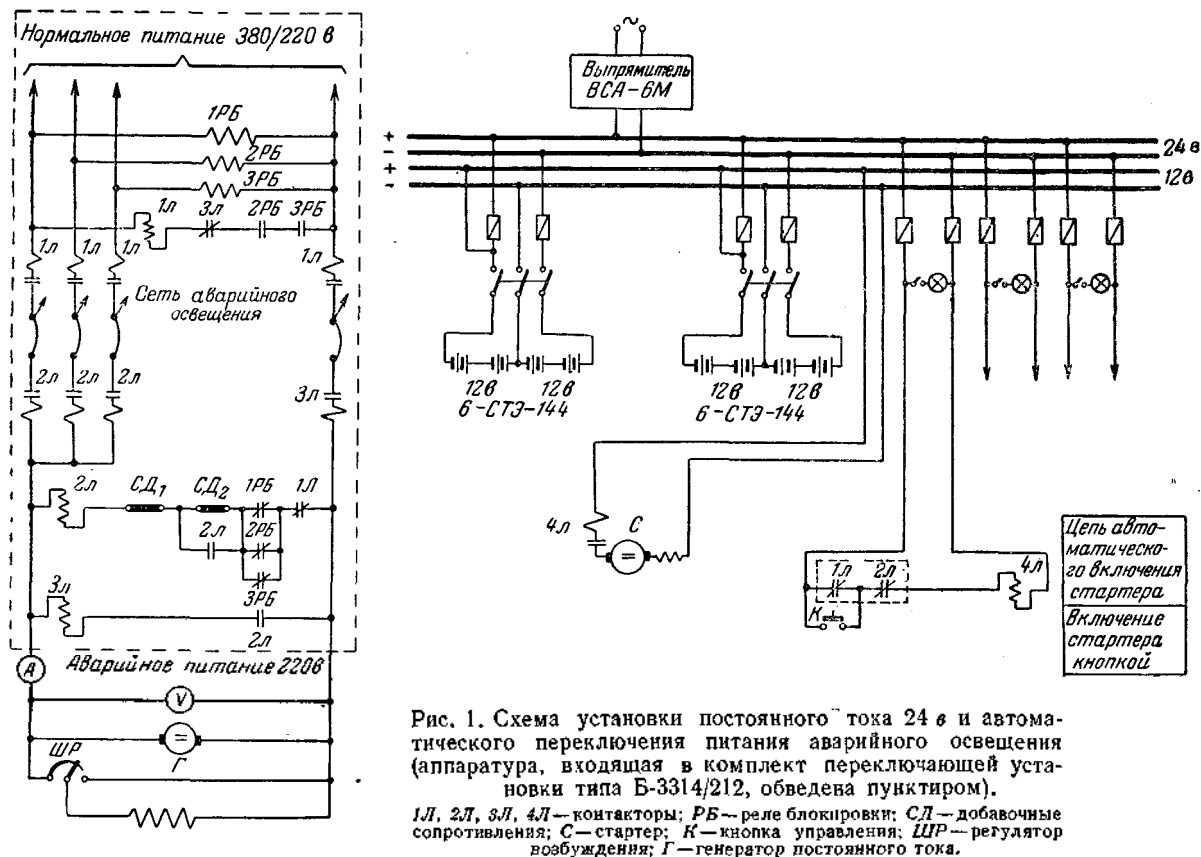


Рис. 1. Схема установки постоянного тока 24 в и автоматического переключения питания аварийного освещения (аппаратура, входящая в комплект переключающей установки типа Б-3314/212, обведена пунктиром).

1Л, 2Л, 3Л, 4Л — контакторы; РБ — реле блокировки; СД — добавочные сопротивления; С — стартер; К — кнопка управления; ЩР — регулятор возбуждения; Г — генератор постоянного тока.

О схеме питания котлов при работе без водосмотров¹

Инж. М. А. Дуэль и инж. К. Я. Полферов

Сохранение полного штата водосмотров при автоматическом регулировании питания, помимо увеличения эксплуатационных расходов, иногда понижает надежность работы котельной из-за ослабления бдительности водосмотров.

При ручном регулировании питания работа водосмотра в основном заключается в наблюдении за положением уровня в водоуказательном стекле и поддержании его в установленных пределах с помощью задвижки ручного регулирования. Кроме водоуказательной колонки, водосмотр следит по приборам за расходом воды и пара, давлением в барабане и питательной линии.

При автоматическом регулировании питания работа водосмотра сводится к контролю за состоянием и работой регуляторов питания и к периодической проверке всех вторичных водоуказательных приборов по водоуказательным колонкам.

Существующие системы автоматического регулирования питания при выполнении некоторых мероприятий позволяют значительно сократить количество водосмотров и передать все операции по наблюдению за уровнем воды машинисту котла, а водосмотра переквалифицировать в дежурного по питанию, обслуживающего несколько агрегатов.

Для регулирования и надежного контроля уровня воды машинистом котла необходимо:

оборудовать котел регуляторами питания, допускающими дистанционное управление регулирующим клапаном со щита управления котла (например, регулятор питания системы Трубкина) при надежном сочленении исполнительного механизма регулятора с регулирующим клапаном (лучше всего с помощью штанги);

установить на рабочем месте машиниста котла сниженные указатели уровня гидростатического типа по одному в чистом и соленом отсеках барабана, на щите машиниста котла — световую сигнализацию нормальной работы регулятора, а также звуковую и световую сигнализацию предельно допустимых уровней воды в барабане (для этой цели могут быть использованы уровнемеры типа ДПЭС со вторичным прибором Э-618);

вынести дистанционное управление запорной задвижкой питательной линии на отметку машиниста котла.

Осуществление даже части этих мероприятий на некоторых электростанциях позволило перейти на обслуживание одним водосмотром нескольких котлоагрегатов, причем не понадобился перенос

всех органов управления с поста водосмотра на рабочее место машиниста котла (продувка пароперегревателя, рециркуляция из барабана в водяной экономайзер и т. д.). На рабочем месте водосмотра остались также колонки регулятора.

Опыт показывает, что надежное питание котла может быть обеспечено, если режим питания ведет машинист, а водосмотр контролирует работу регуляторов питания нескольких котлов и регулярно сверяет показания водоуказательных колонок с приборами у машиниста котла. Водосмотр вмешивается в режим питания лишь в аварийных случаях, управляя регулирующим клапаном с помощью штурвала колонки регулятора.

Централизацию всех органов управления котла на рабочем месте машиниста целесообразно осуществлять лишь при полном упразднении водосмотров. В этом случае необходимо перенести колонки регулирования на рабочее место машиниста котла, что дополнительно дает возможность последнему вручную управлять регулирующим клапаном с помощью штурвала редуктора при выходе из строя электрического дистанционного управления. При этом переделка питательных линий необязательна.

Осуществление перечисленных мероприятий на действующем оборудовании связано с довольно большим объемом работ. Поэтому необходимо, чтобы проектные организации и заводы-изготовители учитывали при выпуске новых котлоагрегатов все требования, связанные с полным упразднением постов водосмотров.

Инж. Л. П. Коновалов

Авторы обсуждаемой статьи правы в том отношении, что при ликвидации поста водосмотра органы управления питанием котлов должны быть вынесены на пост машиниста. Дистанционное механическое управление этими органами (при помощи штанги и шарниров Гука) в ряде случаев оказывается неудобным и ненадежным. Во-первых, оператор не чувствует и не видит, на сколько открылась или закрылась задвижка, так как штанга из-за большой длины (20—30 м) «скручивается» и поэтому открытие или закрытие задвижки происходит рывками. Во-вторых, часто срезаются шпильки в шарнирах Гука.

Дистанционное управление задвижками при помощи электродвигателей также ненадежно, так как может произойти прекращение питания или повреждение электродвигателя, что вынуждает машиниста котла бежать к регулирующим задвижкам.

Поэтому при ликвидации постов водосмотров действительно нужно переносить регулирующие органы поближе к посту машиниста котла.

¹ Обсуждение статьи Е. Ю. Масловского и К. В. Солищева, «Электрические станции», 1952, № 6; см. также Б. М. Выморков, 1950, № 3 и В. Г. Зайцев, 1950, № 10.

Следует добавить, что при ликвидации постов водосмотров, помимо автоматизации питания, должна быть осуществлена надежная сигнализация крайних положений уровня воды в барабане. Нужно иметь мощный звуковой (а при желании, и световой) сигнал и одновременное срабатывание специального сигнального реле с надписью на его флажке, какой параметр сигнализируется. Сигнальные реле следует собрать в общий кожух и установить на щите теплового контроля котла (или группы котлов, если их обслуживает один машинист котла). В такой сигнальной станции могут быть сосредоточены сигналы всех основных параметров тепловых процессов котельной.

Инж. А. М. Равинский

При наличии водосмотра и, одновременно, автоматики питания внимание персонала расщепляется, так как водосмотр надеется на то, что дежурный машинист котлоагрегата наблюдает за уровнем воды в котле по сниженному указателю уровня, а машинист котлоагрегата надеется на водосмотра. Поэтому желательно полностью отказаться от водосмотров, что можно осуществить лишь при следующих условиях:

1. Узел автоматики питания котла и клапан ручного управления питанием следует вынести на отметку машиниста котлоагрегата, к его рабочему месту, или в крайнем случае на ту же отметку, но позади котлоагрегата.

2. Целесообразно освоить изготовление и поставку в комплекте котлоагрегатов оптические сниженные указатели уровня.

3. Необходимо обеспечить звуковую и световую сигнализацию крайних положений уровня воды в котле.

Инж. В. Н. Карпинский

Машинист котла должен иметь возможность контролировать со своего рабочего места уровень воды в барабане котла по регистрирующему уровнемеру и сниженному указателю воды. При обслуживании одним машинистом двух или трех котлов без водосмотров необходимо наличие сигнализации предельных уровней воды в барабане.

ОТ РЕДАКЦИИ

Публикуемые выше высказывания работников эксплуатации подтверждают правильность уменьшения числа водосмотров и полного упразднения этой профессии на электростанциях. В этих отзывах имеются лишь некоторые расхождения относительно способов выполнения контроля за уровнем, сигнализацией и дистанционного управления, а также размещения регуляторов питания и клапанов.

Очевидным является условие, что работы по автоматизации питания котлов производительностью от 20 т/час и выше должны доводиться до конца. В результате должна обеспечиваться работа котлов без водосмотров, а контроль за питанием и в случае необходимости вмешательство персонала должны осуществляться машинистом со щита управления котлом и на отдельных электростанциях — дежурным с группового щита питания.

Для работы без водосмотров котлы должны быть оборудованы автоматическими регуляторами питания, а рабочее место машиниста котла — указателями уровня, сигнализацией предельных положений уровня воды в барабане и дистанционным управлением, резервирующим автоматическое регулирование питания.

В ряде случаев, особенно для средних и малых котлов, задача обеспечения питания котлов без водосмотров относительно просто может быть решена переносом питательных трубопроводов и размещением регулируемых задвижек на отметке машиниста котла.

Для возможности быстрого принятия мер при выходе из строя регуляторов питания нужно или вывести на фронт котла клапаны ручного регулирования, или иметь надежно действующее дистанционное управление этими клапанами.

Необходимо обучить часть дежурного персонала котельной (дежурного слесаря, обдувщика и др.) с тем, чтобы можно было в аварийных случаях использовать их в качестве водосмотров.

Перенос питательного узла на площадку машиниста необязателен. Такое решение в отдельных случаях может быть оправдано только временным затруднением в получении питательных клапанов с электроприводом.

Регуляторы питания при возможных неполадках с ними должны прекращать подачу питательной воды в котлы. В этом случае дежурному персоналу требуется производить только одну операцию (открыть регулирующийся клапан ручного питания) и не тратить времени на закрытие запорных клапанов перед регулирующими клапанами.

Возможность надежной эксплуатации котлов без водосмотров подтверждается длительным опытом эксплуатации трех котлов, обслуживаемых с момента пуска, в течение 6 лет, одним машинистом без водосмотров. Они оборудованы пневматическими трехимпульсными регуляторами питания.

Клапаны ручного питания выведены на фронт котла и имеют дистанционный привод с площадки машиниста котлов.

За весь период эксплуатации было три значительных случая неполадок с регуляторами питания, причем все они были ликвидированы дежурным персоналом без нарушения нормальной работы котлов и турбоагрегата. Два последних года котлы работают без каких-либо неполадок вследствие нарушения питания.

После установки в 1949 г. на двух других котлах трехимпульсных регуляторов питания вместо двух водосмотров был оставлен один. Последнее время котлы около 50% времени работают совсем без водосмотров.

Один водосмотр на котлах был оставлен только вследствие отсутствия дистанционного управления питательными клапанами с площадки машиниста котла и необходимости в аварийных случаях для дежурного персонала подниматься по лестницам на высоту около 16 м.



ОБМЕН СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫМ ОПЫТОМ

Монтаж металлоконструкций градирни одним блоком

На теплоэлектростанции предстояло смонтировать металлоконструкции капельной градирни высотой 30,5 м, имеющей в основании 12×12 м и в вершине 10×10 м; общий вес металлоконструкций равен 30 т.

Электростанция

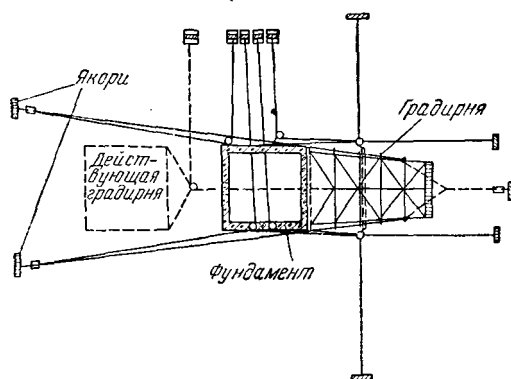


Рис. 1. Схема подъема градирни.

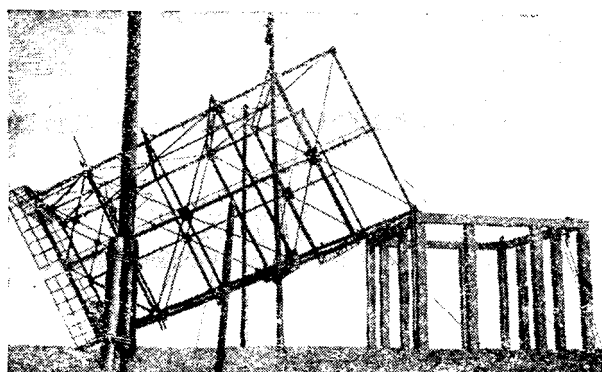


Рис. 2. Подъем основания металлоконструкции на фундамент.

Металлический каркас градирни устанавливается на железобетонном фундаменте высотой 9 м. Угловые колонны градирни крепятся к фундаменту анкерными болтами диаметром 32 мм по четыре болта в каждом углу.

Вначале предполагалось выполнить монтаж градирни при помощи мачтового крана, предварительно собрав в блоки по две стенки, с последующей сборкой остальных деталей градирни после подъема стенок.

В качестве второго варианта намечалась установка трубчатой мачты высотой 42 м с двумя укосинами на ее вершине, допускающей сборку блоков весом до 6 т.

Оба эти варианта не удовлетворяли требованиям крупноблочного монтажа. Кроме того, много монтажных операций пришлось бы выполнять на большой высоте, что делает эти работы более опасными.

Было решено осуществить сборку металлоконструкций градирни внизу в вид одного объемного блока.

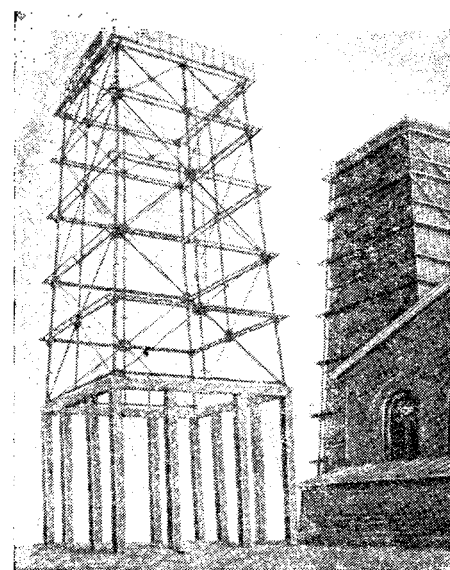
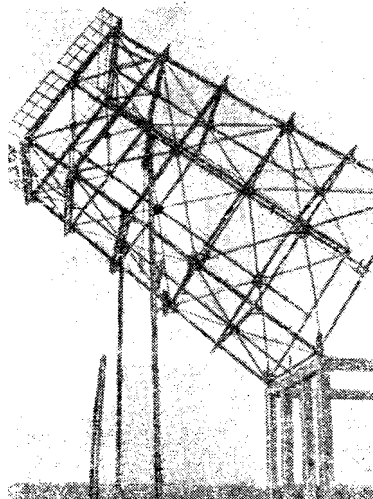


Рис. 4. Подъем градирни в рабочее положение.

На рис. 1 приведена схема расстановки такелажных приспособлений для подъема градирни, собранной в один блок.

Схемой предусмотрена установка двух трубных мачт диаметром 325 мм, высотой 20 м, грузоподъемностью 15 т каждая. При помощи этих мачт выполнялась сборка деталей градирни на земле, стенками, которые после выверки и сварки углов ставились на ребро и временно крепились расчалками.

Далее производилась сборка деталей третьей стенки, которая располагалась внизу, а затем следовал монтаж

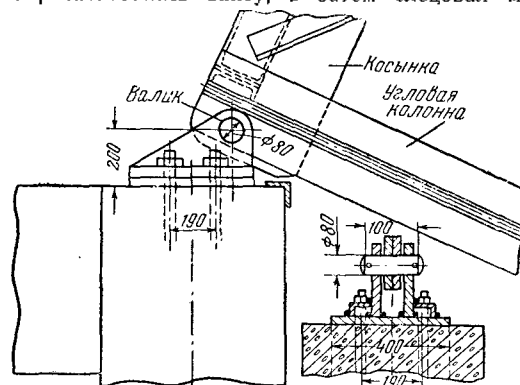
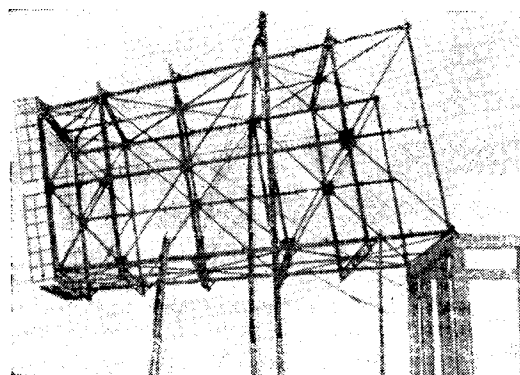


Рис. 3. Шарнирное крепление металлического каркаса градирни к фундаменту.



деталей четвертой стенки на высоте 12 м при помощи тех же трубных мачт. Работы по сборке и сварке узлов производились с настилов из досок, уложенных на каркас градирни.

При сборке металлоконструкций градирни и ее подъеме были использованы 4 электрелебедки и одна ручная лебедка грузоподъемностью по 5 т.

На сборку металлоконструкций и подъем собранной градирни было фактически затрачено 1964 чел.-часа. Монтажная бригада состояла из одного бригадира VII разряда, одного котельщика VI разряда, одного слесаря IV разряда, четырех подсобных рабочих III разряда, одного газорезчика III разряда и одного электросварщика VI разряда.

Сам процесс подъема градирни в рабочее положение длился 3,5 часа. Основание собранного каркаса градирни было приподнято из своего первоначального положения при помощи мачт на фундамент (рис. 2) и шарнирно прикреплено к нему (рис. 3).

После того как были установлены два шарнира по угловым стойкам каркаса и закреплены анкерными болтами к фундаменту, было приступлено к подъему градирни в рабочее положение (рис. 4).

Основные полиспасты от мачт были завязаны за выступающие концы специально подложенной трубы диаметром 325 мм, укрепленной за стенку каркаса внизу (рис. 5).

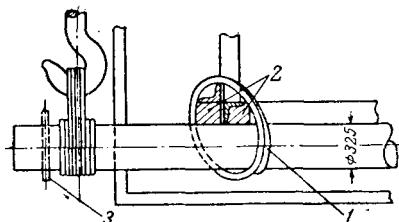


Рис. 5. Завязывание основных полиспастов для подъема градирни.
1—привязка; 2—деревянные подкладки; 3—штирь.

Опыт подъема градирни описываемым методом дает основание рекомендовать его как наиболее рациональный. Этот способ допускает устройство внизу всей деревянной обшивки. Распространить его можно на различные формы корпуса градирни при помощи устройства дополнительных конструкций в основании каркаса для его удержания на фундаменте при подъеме.

В описываемом случае подъем усложнился тем, что металлический каркас градирни устанавливался на железобетонный фундамент высотой 9 м. Совершенно очевидно, что подъем будет много проще, когда основание градирни будет на отметке 0,0.

Инж. Г. Ф. Логинов

Увеличение прочности раструба пресованных канализационных труб

Раструб канализационных пресованных труб, изготавливаемых на станках Дубровского производственного комбината¹, является слабым местом трубы. Он не выдерживает нагрузки самой трубы не только при транспортировке в автомашинах и вагонах, но даже при внутризаводских перевозках. Причина этого дефекта кроется в самой технологии изготовления.

Как видно из рис. 1, для трубы диаметром $D_1 = 250$ мм спиральный гребень трамбовки имеет диаметр $D_2 = 320$ мм, равный внешнему диаметру трубы. Внешний же диаметр раструба равен $D_3 = 410$ мм, что превышает диаметр спирального гребня на 90 мм или на 45 мм на сторону. Распределение давления в бетонной массе происходит под углом 60° к горизонтالي. Поэтому с момента начала пресования стенки раструба и до его конца под плоскостью спирального ребра всегда будет находиться слой пресуемого бетона в 77–90 мм (рис. 2). Такая толщина бетонной массы для пресования является значительной.

¹ См. "Электрические станции", 1951, № 10, стр. 46.

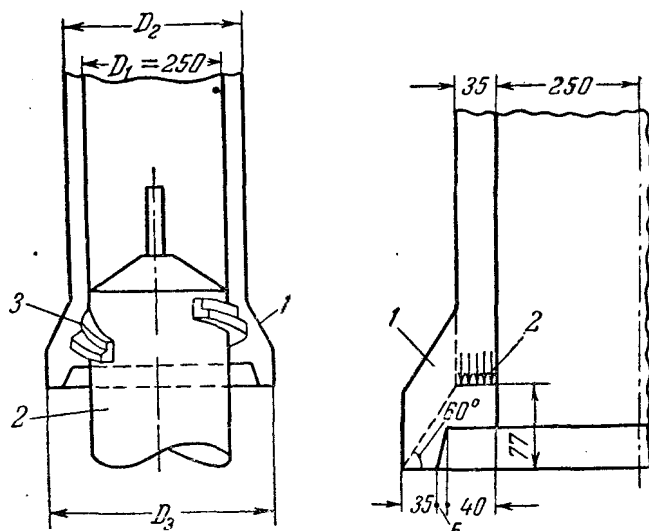


Рис. 1. Бетонирование канализационной трубы.
1—форма; 2—трамбовка; 3—спиральный гребень.

Рис. 2. Распределение давления в бетонной массе трубы.
1—стенка раструба; 2—плоскость давления спирального гребня.

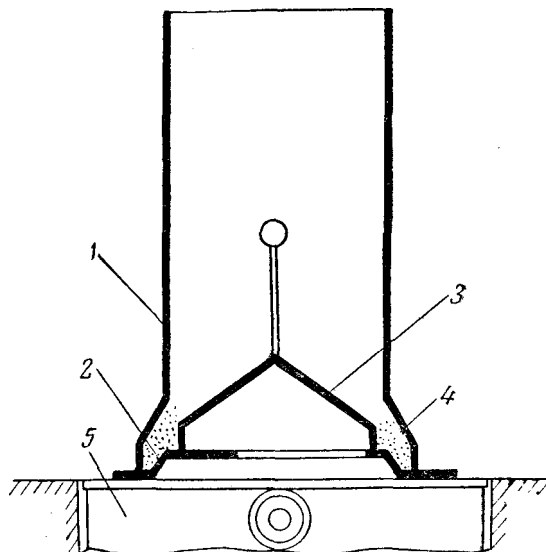


Рис. 3. Бетонирование раструба.

1—металлическая форма; 2—чугунный поддон формы; 3—металлический вкладыш; 4—бетон раструбной части трубы; 5—вибрационный столик с вибратором И-7.

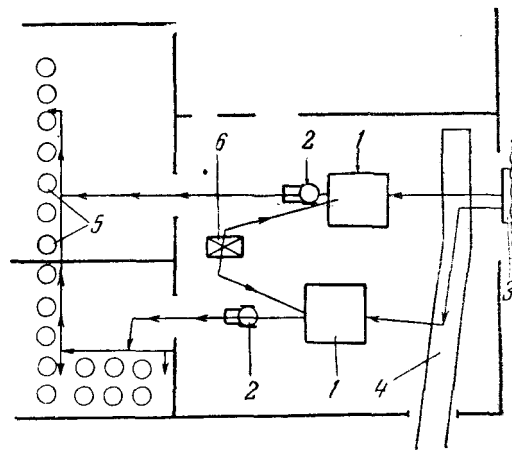


Рис. 4. Расположение вибрационного столика, обслуживающего два станка.

1—станок для пресования труб; 2—тележка с формой; 3—бетономешалка; 4—узкоколейный путь; 5—трубы на поддонах в камерах пропаривания; 6—вибрационный столик.

Одновременно удельное давление от трамбовки на бетонную массу стенки раструба значительно меньше, чем в стенке самой трубы.

Столь неблагоприятные условия приводят к тому, что раструб недостаточно прогрессовывается и имеет низкую прочность.

Для увеличения прочности раструба Березовским заводом строительных конструкций бетонирование его производится отдельно.

В форму с поддоном устанавливается металлический конический вкладыш (рис. 3), образующий внутреннюю поверхность раструба выше его упорной поверхности. Форма располагается на вибрационном столике. В нее загружается необходимая порция пластичного бетона, и бетонная масса уплотняется вибрированием.

После этого вкладыш вынимается и форма устанавливается на станок Дубровского производственного комбината для формовки цилиндрической части трубы.

Вибрационный столик изготовлен из вибратора И-7 и установлен ниже отметки пола формовочного цеха так, чтобы его площадка была на одной отметке с полом цеха.

Один вибрационный столик может одновременно обслуживать два станка. Расположение его относительно станков (рис. 4) исключает встречные и пересекающиеся потоки внутри цеха.

Применение вибрированного бетона для раструбов прекратило порчу труб при транспортировке и при незначительном удорожании обеспечило высокое качество раструбных труб.

Инж. П. С. Семенов

Крепление термозоляции из минеральной ваты

В литературе достаточно подробно описаны разные приемы крепления мастичной термозоляции или термозоляции из формованных изделий и нет почти никаких указаний по способам крепления к трубопроводам и аппаратам термозоляции из минеральной ваты.

Вследствие способности сыпучей минеральной ваты давать осадку в процессе эксплуатации качество выполненной из нее термозоляции с течением времени значительно снижается. Поэтому при монтаже термозоляции из минеральной ваты любым способом большое внимание должно быть уделено выполнению крепления конструкции к несущей поверхности. Для крепления к поверхности аппаратов термозоляции из минеральной ваты (выполняемой обычно в виде мат), применяются разные приемы (рис. 1). По наружной поверхности металлической стенки 1 (рис. 1, а) перед нанесением термозоляции натягивают вокруг аппарата кольцо 2 из проволоки толщиной 3—5 мм. Под это кольцо заводят куски проволоки 3 толщиной 1 мм, концы которой пропускают через толщу слоя минеральной ваты 4 и сетки 5, плотно скручивают их и заводят внутрь изоляции. Кольцо 2 укрепляют на поверхности изолируемой стенки разными способами. Часто это кольцо местами приваривают (б), после чего заводят концы проволоки 3. Иногда концы эти приваривают непосредственно к несущей поверхности (в). Реже применяют приварку серег или гаек 6 (г), за которые цепляют концы проволоки 3 для крепления термозоляции.

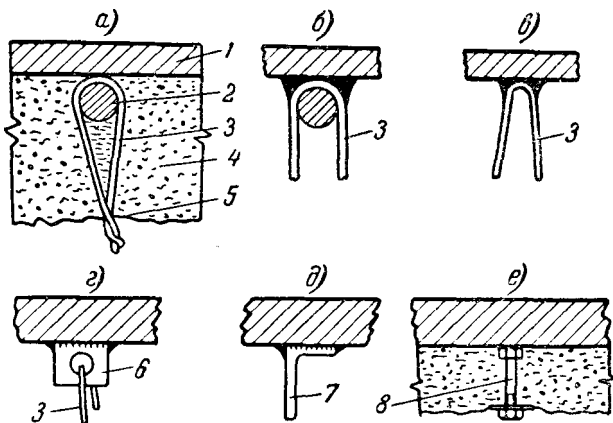


Рис. 1.

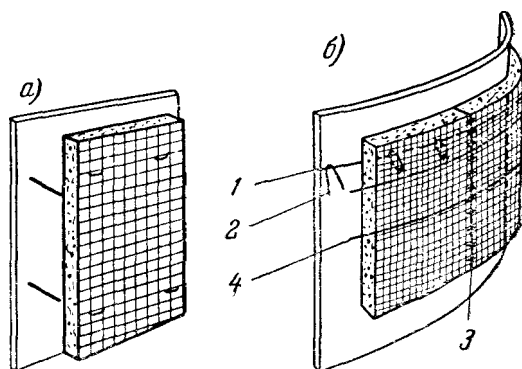


Рис. 2.

Если применение колец по окружности аппарата при больших его диаметрах неудобно (также на плоских поверхностях и при расположении термозоляции внизу несущей поверхности), то приваривают шпильки 7 толщиной 3 мм (д) на расстоянии 300—400 мм друг от друга или болты 8 диаметром 5 мм (е). Концы шпилек загибают по сетке, а при применении болтов под гайку обязательно подкладывают шайбы. На рис. 2, а показаны торчащие шпильки, приваренные к изолируемой поверхности. После того как маты насажены на шпильки, концы последних загибают внутрь мата.

Крепление мат из минеральной ваты на поверхности вертикального аппарата производится следующим образом (рис. 2, б). Кольца 1 из проволоки укрепляют на голой поверхности на расстоянии около 1 м друг от друга, но не

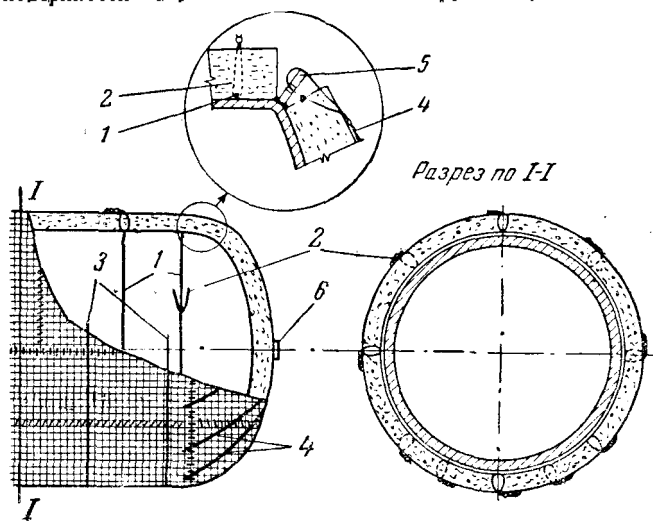


Рис. 3.

менее чем по одному кольцу в верхней части каждого ряда мат. К этим кольцам через каждые 300 мм прикрепляют маты посредством проволоочных концов 2. На стыках мат наружную сетку 3 сшивают помощью мягкоотожженной проволоки толщиной 1 мм. Перед сшивкой сетки зазоры между матами необходимо заполнить (законопатить) минеральной ватой. После сшивки мат накладывают через каждые 300 мм и стягивают кольца 4 из проволоки толщиной 3 мм или стальной ленты толщиной 0,5 мм, шириной 15—20 мм. Таким образом крепление мат производится в следующем порядке. Сначала маты подвешивают посредством проволоочных концов 2, затем соединяют подвешенные маты сшивкой на торцах их наружных сеток и, наконец, натягивают наружные кольца 4. Натяжку этих колец производят закруткой ломиком по окружности стяжного кольца.

На горизонтальных аппаратах (рис. 3) сперва укрепляют маты на боковой поверхности посредством колец 1 и проволоочных концов 2, соединяют маты на торцах, как показано выше, и затем устанавливают и натягивают наружные кольца 3. Крепление мат на торцах (днищах) аппарата производят путем сшивки их проволокой с краями мат, укрепленных на боковой поверхности, и последующей затяжки проволокой 4 или стальной лентой к кольцу 1, либо к гайкам 5, приваренным через каждые 300 мм по

окружности. Концы проволоки 4 на центре днища удобно прикреплять к вспомогательному проволочному кольцу 6, которое равномерно расщипывается при натяжении концов 4.

Для сферических частей изолируемых поверхностей, колен трубопроводов и фитингов приходится производить подгонку мат по месту. Режут маты из минеральной ваты ножницами для кровельной стали (рис. 4,а). Сначала разрезают обе проволочные сетки, а затем разрезают или раздвигают вату. Для изготовления мат, которые на месте будут разрезаться, следует применять сетку с возможно меньшей ячейкой, а шпильку мата делать более частой. Сшивка частей мата должна производиться швом, обеспечивающим плотное прилегание торцов отдельных частей (рис. 4,б).

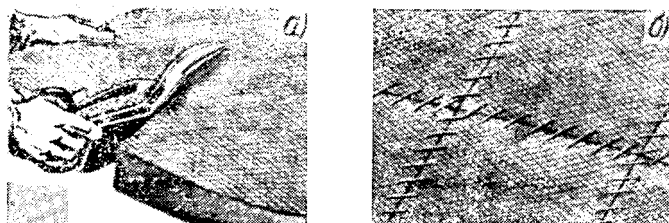


Рис. 4.

На горизонтальных участках трубопроводов маты из минеральной ваты или термоизоляции, выполненную другим приемом из минеральной ваты, рекомендуется подвешивать к голой трубе проволочными петлями, проходящими снизу, через наружную сетку и слой минеральной ваты. Такие петли надо применять через каждые 200 мм по длине трубопровода. На вертикальных участках трубопроводов, примерно через каждые 3 м длины трубопровода, следует применять легкие опорные кольца из проволоки толщиной 5 мм, привариваемые к лапкам из такой же проволоки, полосовой стали или уголка, приваренных к трубе. Кольцо должно отстоять от поверхности трубы на расстоянии, меньшее на несколько сантиметров толщины термоизоляции. Такие же опорные кольца приваривают и над фланцевыми соединениями, на расстоянии, позволяющем свободную выемку болтов.

Инж. Л. Ф. Янкелев

Новый асфальтито-битумный лак для металлических конструкций

Защитные антикоррозионные покрытия металлических конструкций должны обладать следующими основными свойствами: 1) водо- и газонепроницаемостью; 2) стойкостью к химическим воздействиям; 3) достаточно высокой температурой размягчения; 4) эластичностью; 5) высокой прилипаемостью к покрываемой поверхности; 6) механической прочностью и твердостью.

Всем этим требованиям отвечают лаковые покрытия, изготовленные на растительных маслах (натуральная олифа), а также рекомендованные трестом Лакокраскопокритие перхлорвиниловые эмали (ПХВ-10). Однако в связи с большой дефицитностью этих лаков и эмалей и относительно высокой стоимостью их был поставлен вопрос о замене их более дешевыми и малodeфицитными лаками, изготовленными на других основах.

По предложению автора в 1948 г. был изготовлен асфальтито-битумный лак, состоящий из сплава специальных сортов асфальтита, битума и растворителя. В качестве растворителя был применен уайт-спирит с керосином. Опытная покраска опор линий электропередачи этим асфальтито-битумным лаком дала положительные результаты.

Работа, проведенная в Центральной лаборатории высоковольтной сети Мосэнерго над усовершенствованием лака показала, что наиболее качественным оказался антикоррозионный асфальтито-битумный лак, изготовленный на

растворителе из сольвент-нафта с уайт-спиритом в следующем количественном соотношении (по весу):

Асфальтито-битумный сплав	50%
Сольвент	35%
Уайт-спирит	15%

Изготовленный таким образом лак должен иметь удельный вес 0,85—0,90 и вязкость на воронке НИЛК 8—10 сек.

Перед производством окраски к асфальтито-битумному лаку примешивается алюминиевая пудра, которая способствует созданию на окрашенной поверхности плотной и стойкой защитной пленки. Кроме того, алюминиевая пудра создаст более красивый вид покрываемой поверхности.

Основными преимуществами асфальтито-битумного лака, изготовленного на сольвент-нафте с уайт-спиритом, по сравнению с другими применяемыми битумными лаками являются следующие:

- 1) достаточно высокая температура размягчения асфальтито-битумного сплава, равная 130°С;
- 2) относительно большая химическая стойкость и механическая прочность в связи с наличием алюминиевой пудры;
- 3) более высокая прилипаемость к окрашиваемой поверхности.

Все эти преимущества приводят к значительно более длительному сроку службы покрытия.

Основными недостатками асфальтито-битумных лаков являются огнеопасность их, что требует особых условий для хранения, и вредность испарений этих лаков, что ограничивает использование их в закрытых помещениях. Кроме того, следует отметить недостаточную стойкость асфальтито-битумных лаков в зонах интенсивных загрязнений атмосферы активными газами химических заводов.

Окраску металлических конструкций следует производить по очищенной от ржавчины, сухой поверхности металла. Для очистки применяются скребки, металлические щетки, наждачные шкурки, а также вращающиеся пневматические металлические электрошетки.

Асфальтито-битумный лак наносится на окрашиваемую поверхность дважды. Первый раз применяется лак с удельным весом 0,9, а второй раз — с удельным весом 0,85 с прибавкой алюминиевой пудры. Алюминиевая пудра должна обладать способностью всплывать на поверхность пленки и добавляется в лак из расчета 100—150 г на 1 кг лака.

Следует иметь в виду, что алюминиевая пыль обладает взрывными свойствами. Поэтому при расфасовке необходимо соблюдать осторожность во избежание искробразования. Воспрещается также перемешивать лак с пудрой при помощи металлических предметов.

Необходимое количество лака на 1 м² окрашиваемой поверхности равно для первого слоя 70 г и для второго 70—80 г.

Сушка для первого слоя лака происходит в течение не менее 4—6 час.

Окраска металлических поверхностей лаком может производиться как вручную кистями, так и механизированным способом с помощью компрессора и специальных краскораспылителей. Механизированный способ окраски был детально разработан лабораторией и в 1951 г. внедрен в эксплуатацию. Асфальтито-битумный лак используется в основном для защитной покраски металлических опор линий электропередачи и металлоконструкций на подстанциях.

Опыт эксплуатации показал, что при правильном приготовлении асфальтито-битумного лака и правильном методе окраски защитная пленка не теряет в течение длительного времени своих основных качеств, т. е. остается плотной, механически прочной и не отстает от металлической поверхности.

В течение последних лет ВЭС Мосэнерго изготовило в порядке технической помощи 32,3 т лака для других энергосистем и предприятий. Полученные отзывы также говорят о высоком качестве асфальтито-битумного лака.

Учитывая положительный опыт эксплуатации этого лака, его, по нашему мнению, следует широко использовать для защитных покрытий металлических конструкций в энергосистемах.

Инж. Г. Е. Брун



ОБМЕН ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОПЫТОМ

Конденсаторные трубы из сплавов, устойчивых против коррозии

На электростанции в 1947 г. вышли из строя трубы конденсатора одного турбоагрегата, а в 1950 г. полностью заменены трубы конденсатора другого агрегата вследствие массового повреждения их после 41,5 тыс. час. эксплуатации. В том же году заменен газоохладитель генератора с водородным охлаждением, проработавший 26,3 тыс. час. Наблюдаются также повреждения латунных трубок регенеративных подогревателей и маслоохладителей.

Исследование¹ было установлено, что трубы конденсаторов и теплообменников, изготовленные из латуни марки Л-68, по химическому составу полностью соответствуют ГОСТ и имеют удовлетворительную микроструктуру. Вместе с тем все исследованные образцы трубок подверглись внутри обесцинкованию. На многих трубках при изгибе легко отслаивается хрупкая пористая медь (слой до 0,5 мм) и имеются глубокие язвы.

Вновь установленные в 1950 г. трубы второго конденсатора после годичной эксплуатации подверглись значительной местной коррозии, интенсивность которой напоминает коррозию на электростанциях с охлаждаемой морской водой.

Водохранилище электростанции ежегодно пополняется в паводок татыми водами и на 25—40% водой из соседнего мощного водоема. Кроме того, в него сбрасываются осветленная вода из золоотстойников, минерализованные, щелочные воды котлов и водоочистки электростанции; промышленные стоки химических предприятий; значительные количества шахтных вод (откачка) и необезвреженные канализационные стоки города.

Химические исследования водохранилища, проводимые в течение ряда лет, позволяют количественно оценить влияние всех промышленных стоков. Установлено, например, что: содержание воды за межпаводковый период возрастает на 300—350 мг/л; воды, сбрасываемые электростанцией, существенно повышают минерализацию водохранилища. Отложения накипи и ила в трубках конденсаторов способствуют воды, откачиваемые из шахт, из золоотстойников электростанции, а также щелочные сбросы предприятий.

Кроме того, выявлены источники загрязнения водохранилища фенолом, нитритами, аммиаком и органическими веществами. С отдельными стоками вносятся много окиси железа; из соседнего водоема перекачивается вода, содержащая меди около 0,01 мг/л и более.

Биологическое, бактериологическое и химическое исследования водохранилища, проведенные в 1950—1951 гг. свидетельствуют о значительном загрязнении его, в частности наблюдается цветение водоема. Минеральные отложения и биологическая слизь в трубках конденсаторов и теплообменников, окислители и аммиак в количестве 0,2—0,3 мг/л и более, присутствующие в циркуляционной воде, способствуют коррозии латуни. Не в меньшей степени действуют растворенные в воде кислород и уголекислота на латунные трубки, испытывающие большие напряжения. На устойчивости латунных трубок, несомненно, сказываются конструктивные особенности конденсаторов, гидродинамика и повышенные скорости воды в трубках.

Мероприятия по оздоровлению водохранилища связаны с большими капитальными затратами, весьма трудоемки и могут быть осуществлены в течение длительного времени.

Возможно, что прекращение сброса промышленных и канализационных стоков не предотвратит в должной степени интенсивности коррозионных процессов. Как известно, пресные воды, загрязненные в меньшей степени, чем на

данной электростанции, вызывают интенсивное обесцинкование латунных трубок на современных мощных турбоагрегатах с большими скоростями воды в конденсаторах. Поэтому, наряду с защитой водоемов от загрязнений, тщательной и систематической механической очисткой трубок от минеральных отложений, хлорированием циркуляционной воды для борьбы с обрастанием трубок, следует наметить и другие мероприятия.

Наиболее действенным и эффективным мероприятием является расширение ассортимента трубок, применяемых для конденсаторов и других теплообменных аппаратов на электростанциях.

В настоящее время имеется реальная возможность применить на электростанциях трубы из никелевой латуни марки ЛН65-5, изготавливаемые Кольчугинским заводом. По данным института «Гипроцветметобработка» эта латунь более устойчива против коррозии, чем применяемая в настоящее время латунь Л-68.

Сплавы с присадками никеля и алюминия, разработанные ЦКТИ и Ленинградским политехническим институтом, необходимо испытать в условиях электростанций, учитывая их устойчивость на некоторых водах и, помимо этого, возможность без существенного ущерба для сплава принять кислотную чистку трубок от отложений.

Для выбора материала, устойчивого против коррозии, необходимо провести на электростанциях длительное испытание опытных труб из некоторых, не употребляемых в настоящее время, сплавов. В первую очередь целесообразно было бы опробовать сплавы латуни Л-68 и латуни ЛА77-2 с некоторыми добавками.

Эта задача особенно актуальна в связи с исключительными высокими требованиями, предъявляемыми к качеству конденсата для современных котлов высокого давления и для прямоточных котлов. Эти требования часто не соблюдаются вследствие присоса охлаждающей воды. В ряде случаев присосы возникают из-за коррозионных повреждений трубок. Устойчивые сплавы для трубок должны свести к минимуму загрязнения конденсата охлаждающей водой и вполне возможно, что необходимость в данном случае какой-либо дополнительной очистки конденсата турбин не будет столь актуальной.

Инж. С. А. Толчинский
и инж. А. К. Шапкин

Дуговая электросварка при отстройке лопаток турбин от опасной вибрации

На одной электростанции турбина фирмы Сименс-Шукерт 35 000 квт, 3 000 об/мин работала в течение 2,5 лет без рабочих лопаток последней ступени.

Причиной разлопачивания ступени была поломка вследствие вибрации четырех лопаток на расстоянии 40—44 мм от их вершин и значительное количество разрывов промежуточных вставок, приваренных к лопаткам электросваркой. Обрыв промежуточных вставок происходил не в самом шве, а в зоне термического воздействия. По характеру излома лопаток было установлено, что поломка их произошла от тангенциальной вибрации вследствие неудовлетворительной виброхарактеристики.

Лопатки последней ступени имеют переменный (винтовой) профиль, активная высота лопатки 510 мм. Вес ее—3,4 кг.

На диске установлено 120 лопаток. Вершины их были связаны массивным ленточным бандажом трапецевидной формы пакетами по 6 лопаток. К лопаткам были приварены дуговой сваркой промежуточные вставки (рис. 1).

¹ Произведено в 1951 г. в ЦКТИ.

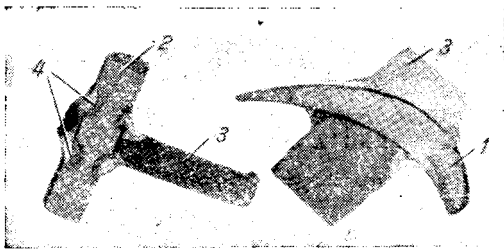


Рис. 1. Лопатки последней ступени с промежуточными вставками.
1—профиль лопатки; 2—толщина лопатки; 3—промежуточная вставка; 4—сварочные швы.

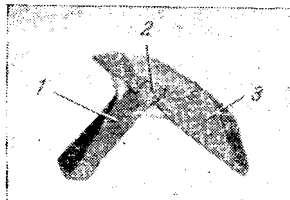


Рис. 2. Лопатка последней ступени с приваренными штипами.
1—вершина лопатки; 2—штип лопатки; 3—профиль ленточного бандажа.

Ленточный бандаж был также приварен дуговой сваркой к вершинам лопаток двухсторонним швом. Штипы лопаток входили в отверстия ленточного бандажа на половину его высоты и также были приварены сваркой в виде электросварных заклепок (рис. 2).

Промежуточные вставки фирмой изготовлены обтекаемой эллипсообразной формы с размерами по осям 22×8 мм. Они были расположены в пакетах лопаток в шахматном порядке по отношению к ленточному бандажу.

Ленточный бандаж расположен на диаметре 2 230 мм, а промежуточные вставки на диаметре 1 802 мм.

Материал рабочих лопаток — нержавеющая сталь с содержанием 0,25% С, 0,51% Мп, 0,6% Si, 0,028% Р, 12,24% Cr и 0,5% Ni.

Предел прочности на разрыв $\sigma_{\text{вр}} = 7\,160 \text{ кг/см}^2$.

Материал бандажной ленты — нержавеющая сталь с содержанием: 0,20% С, 0,35% Мп, 0,034% S, 0,033% Р, 10,1% Cr и 2,94% Ni.

Материал промежуточных вставок — нержавеющая сталь с содержанием: 0,18% С, 0,30% Мп, 0,03% S, 0,028% Р, 9,3% Cr и 3,15% Ni.

Изготовление новых лопаток по образцам и отстройка их от опасных вибраций заводом ХТГЗ сильно задержались. В связи с этим по инициативе работников трэса¹ совместно с ВТИ в период капитального ремонта 1950 г. была восстановлена ступень посредством установки старых лопаток.

К моменту восстановления ступени не хватало 8 лопаток из комплекта; кроме того, 4 лопатки были на 40—44 мм короче нормальных вследствие их поломки от тангенциальной вибрации.

При проработке вопроса восстановления ступени старыми лопатками было принято следующее решение:

1. Исправные лопатки скрепить двумя рядами промежуточных вставок с сохранением ленточного бандажа. Торцы ленточного бандажа каждой лопатки наплавить электросваркой (так как бандаж был порван электросваркой при разломывании ступени) в 1947 г.

2. Отказаться от шахматного расположения бандажа и проставок, примененного фирмой.

3. Два пакета установить с укороченными на ~ 45 мм лопатками с тремя проставками, но без ленточного бандажа.

4. Количество лопаток в пакете принять по 6 шт.

5. Пазы недостающих лопаток заделывать вставками, расположив их диаметрально-противоположно, по 1 шт. через пакет.

6. Отстройку лопаток от тангенциальной вибрации производить непосредственно на роторе.

7. Промежуточные вставки изготовить непосредственно на грэс. Была изготовлена специальная оправка с двумя пазами, куда закладывались заготовленные заранее полосы шириною 22 мм; последние зажимались кольцами по концам и протачивались на токарном станке. Материал проставок — нержавеющая сталь с содержанием: 0,22% С, 0,31% Мп, 0,63% Si, 0,024% S, 0,028% Р, 14% Cr и 0,51% Ni. Предел прочности $\sigma_{\text{вр}} = 5\,720 \text{ кг/см}^2$.

Расположение лопаток ступени на роторе с распределением их по пакетам указано на рис. 3.

Проведенный поверочный расчет лопаточного аппарата на механическую прочность показал, что напряжение изгиба от давления пара в корневом сечении лопаток, без учета влияния скрепляющих связей, составляет всего 110 кг/см^2 .

Напряжения на растяжение от центробежных сил при 3 000 об/мин получились:

по фирменному варианту облопачивания — $1\,690 \text{ кг/см}^2$, по принятому варианту с двумя скрепляющими связями — $1\,735 \text{ кг/см}^2$.

Увеличение напряжений на растяжение в корневом сечении лопаток при установке двух скрепляющих связей составляет всего 2,7%. Суммарное напряжение в корневом сечении лопаток от изгиба и растяжки в 3,8 раза меньше предела прочности материала лопаток.

При 3 300 об/мин суммарные напряжения также меньше $\frac{1}{3}$ части предела прочности.

Напряжения в промежуточной верхней вставке, расположенной на диаметре 2 050 мм, при 3 300 об/мин составляют также около $\frac{1}{3}$ части предела прочности материала вставки.

Таким образом, поверочный расчет показал, что установка второго ряда промежуточных вставок для крепления

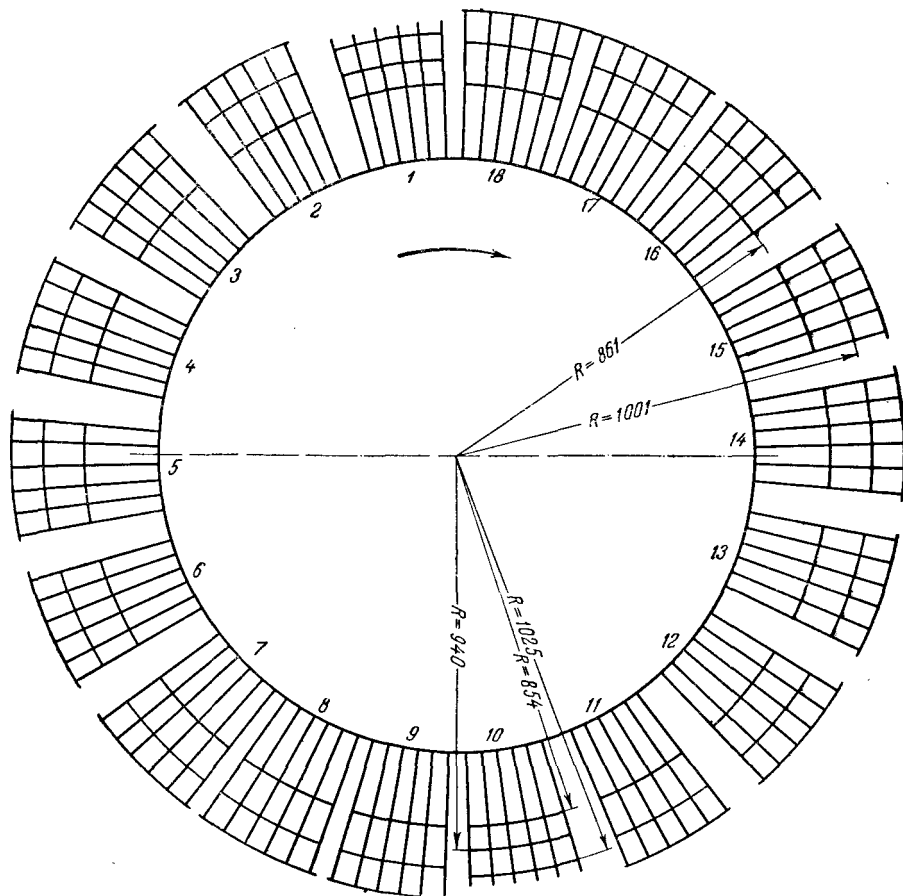


Рис. 3. Установка лопаток 29-й ступени (18 пакетов по 6 лопаток в пакете).

¹ Инж. А. В. Антонова, Н. А. Филиппова и В. И. Большакова.

лопаток в пакеты по условиям прочности материала вполне допустима.

Работы по сварке стыков бандажей отдельных лопаток и приварка промежуточных вставок к лопаткам производились специальной организацией². Предварительные опыты по приварке дуговой электросваркой промежуточных вставок к телу лопатки показали, что наплавленный металл прочнее основного металла промежуточных вставок.

Сварка ленточного бандажа производилась электродами из стали ЭА-1 с покрытием массой ЦЛ-2 диаметром 4 мм, а приварка промежуточных вставок к лопаткам электродами из стали ОХ18Н9 с покрытием массой УОНИ-НЖ1 диаметром 3 мм. Все сварочные работы производились от генератора постоянного тока с обратной полярностью. Ток при сварке составил ~ 160 а.

При сварочных работах был принят следующий порядок операций: прихватка стыков ленточного бандажа, прихватка к лопаткам нижнего ряда промежуточных вставок, прихватка верхнего ряда промежуточных вставок. После этого производилась полная проварка в той же последовательности.

Отстройка лопаток от опасной вибрации производилась на одном экспериментальном пакете, закрепленном на роторе.

Для лопаток нормальной длины с двумя рядами промежуточных вставок и ленточным бандажом пределы колебаний статической частоты для 16 пакетов получились: $f_{мин} = 160,3$ гц и $f_{макс} = 170,7$ гц. Пределы колебаний частоты составили 6,5%, что вполне допустимо.

Минимальные запасы скорости вращения от резонанса получились: $\Delta n_1 = 16\%$ для 3-й кратности; $\Delta n_2 = 10,8\%$ для 4-й кратности. Запас от резонанса получился достаточным и виброхарактеристика — удовлетворительной.

Пересчетный коэффициент, учитывающий вращение лопаток, определен по формуле

$$B = 0,72 \frac{D_{cp}}{l_p} - 1 = 1,42,$$

где D_{cp} — диаметр по средней окружности;
 l_p — высота активной части лопатки.

Приварка промежуточных вставок к двум пакетам с укороченными лопатками также осуществлялась последовательно. К лопаткам одного экспериментального пакета были приварены промежуточные вставки нижнего ряда, затем верхнего и, наконец, среднего.

Вибрация лопаток измерялась после каждой сварочной операции.

Частоты собственных колебаний двух пакетов с укороченными лопатками получились одинаковыми: $f_1 = f_{10} = 204$ гц.

Минимальные запасы от резонанса для этих пакетов получились: $n_1 = 7,2\%$ для 4-й кратности; $\Delta n_2 = 15,6\%$ для 5-й кратности. Пересчетный коэффициент $B = 1,58$. Запас от резонанса и для пакетов с укороченными лопатками получился достаточным.

Турбина с восстановленной последней ступенью работает нормально уже в течение более двух лет. Неоднократными осмотрами лопаток как в местах сварки, так и в самих лопатках дефектов не обнаружено. В настоящее время турбина несет полную нагрузку.

Выводы

1. Для лопаток и скрепляющих связей, изготовленных из малоуглеродистых легированных сталей, можно применять дуговую сварку при креплении лопаток в пакеты.

2. Применение дуговой сварки позволяет вместо проволочного бандажа использовать промежуточные вставки, приварка которых не требует сверлений в лопатках, понижающих их прочность.

3. Применение дуговой сварки дает возможность в условиях электростанций производить установку дополнительного ряда промежуточных связей в пакетах с целью устранения опасной тангенциальной вибрации первого тона.

4. Дуговая сварка может оказаться особенно целесообразной для отстройки от резонанса лопаток газовых тур-

бин, у которых серебряный припой оказывается недостаточно надежным по условиям механической стойкости его.

5. Приварка промежуточных вставок к лопаткам может поручаться только специализированным сварочным организациям, имеющим опыт по сварке легированных сталей.

6. Опыт отстройки лопаток последней ступени от опасной тангенциальной вибрации первого тона, проведенной в условиях электростанции, полностью себя оправдал.

7. В результате отстройки лопаток от опасной тангенциальной вибрации восстановлена последняя ступень мощной турбины и мощность ее доведена до номинального значения.

8. Восстановление ступени дает экономию до 7500 т условного топлива в год.

Канд. техн. наук П. Н. Шляхин
и инж. В. И. Большаков

Балансировка тяжелого ротора на станке с качающимися подшипниками

Динамическая балансировка роторов генераторов проводится в стационарных условиях преимущественно на рабочей скорости вращения, но при некоторых видах ремонтов более целесообразна балансировка отремонтированного ротора на временном балансировочном станке с качающимися опорами.

Такая балансировка может быть рекомендована, например, после полной перемотки обмотки ротора генератора, являющегося резервным для нескольких однотипных машин.

В этом случае длительность простоя агрегата при замене действующего ротора резервным будет сокращена, так как исключается балансировка резервного ротора в собственных подшипниках. Кроме того, сокращаются все затраты, неизбежные при неоднократных пусках машины.

Так как при этом экономический эффект тем выше, чем больше мощность ремонтируемой машины, предлагаемый порядок балансировки особенно желателен для ремонтируемых резервных роторов мощных турбогенераторов.

По указанным соображениям на одной из электростанций динамическая балансировка резервного ротора для турбогенератора мощностью 50 тыс. кет, 1500 об/мин была проведена заблаговременно на балансировочном станке.

Ввиду того, что обычная конструкция временных балансировочных станков, рассчитанных для балансировки роторов весом до 12—15 т, в данном случае оказалась неприемлемой из-за большого веса ротора (около 60 т), был изготовлен по предложению и проекту автора специальный балансировочный станок (рис. 1), удовлетворяющий следующим условиям:

1) достаточная механическая прочность опор станка и отсутствие в них заметных деформаций от веса ротора 60 т;

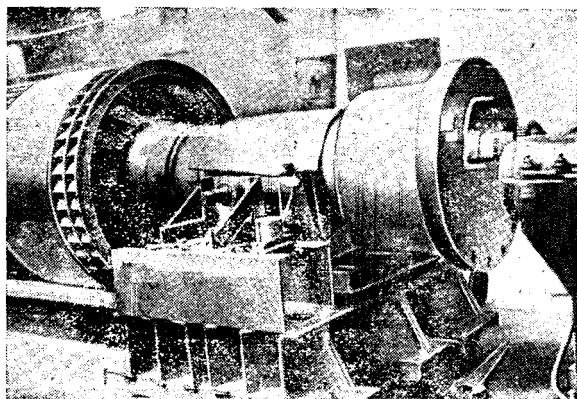
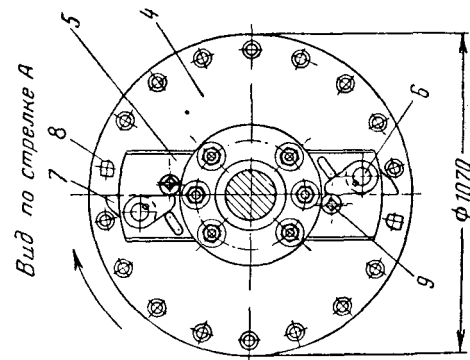
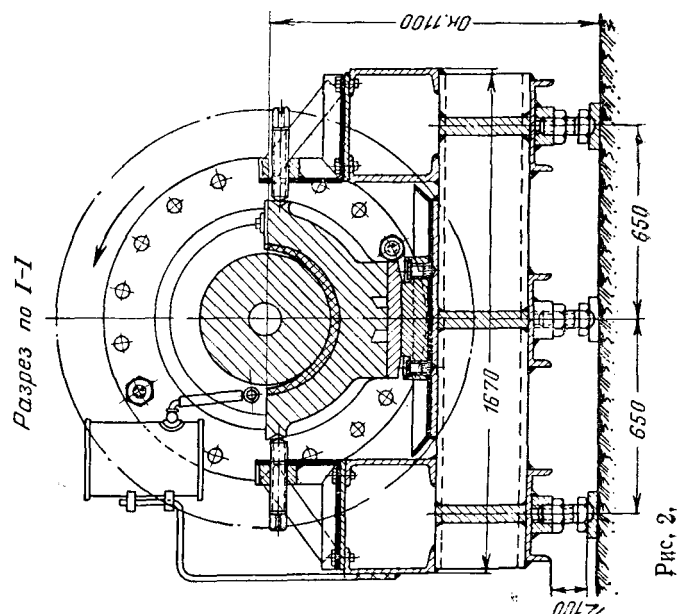
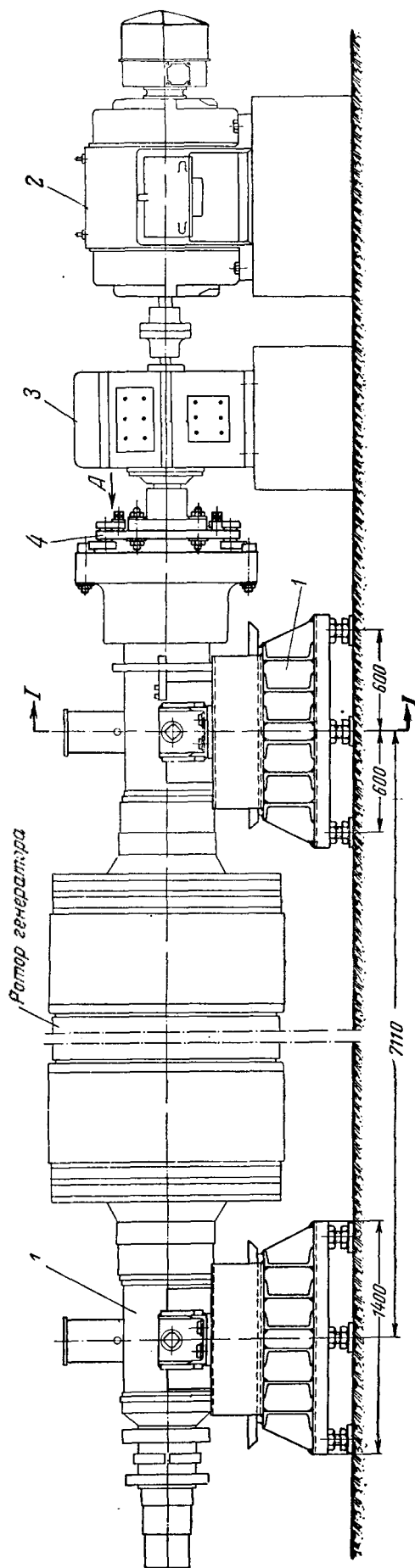


Рис. 1.

² Центральным экспериментальным сварочным мастерским Главислсдорда МХП под руководством инж. К. П. Вошанова и инж. Н. С. Бажанова.



2) оптимальная чувствительность станка при тех силах трения, которые возникнут между рабочими поверхностями качения при такой большой весовой нагрузке;

3) возможность разворота ротора без помощи людей или крана (в момент трогания с места) и удобного отключения от привода по достижению заданной скорости вращения.

Станок состоит (рис. 2) из двух мощных опорных стальных блоков 1, сваренных в виде решетчатых ферм из профильной и листовой стали. Каждый блок установлен на 8 установочных винтах диаметром 60 мм с мелкой резьбой, что облегчает точную регулировку блоков по высоте при их окончательной установке.

На каждом блоке уложена опорная стальная плита, выполненная во избежание деформаций толщиной 90 мм. На опорных плитах свободно уложены балансировочные головки, каждая из которых состоит из чугунного вкладыша с баббитовой заливкой, опирающегося на стальной цилиндрический сегмент.

Высота центра расточки вкладыша и радиус образующей цилиндрического сегмента, определенные специальным расчетом¹, обеспечивают заданную критическую скорость балансируемого ротора на станке и его оптимальную чувствительность.

Ротор приводится во вращение асинхронным двигателем 2480 кат. 1480 об/мин с фазным ротором через редуктор 3 с передаточным числом 1:7 (применен редуктор от шаровой мельницы) с помощью специальной кулачковой муфты 4.

Муфта состоит из специально проточенной шведлерной балки 5, прибалчиваемой к полумуфте двигателя и несущей на своих концах две оси 6 с наглухо надетыми на них кулаками 7.

Нормально в рабочем положении кулаки устанавливаются вдоль оси балки и при вращении двигателя ока-

¹ Ю. И. Азбуккин, Динамическая балансировка тяжелых роторов на станке с качающимися опорами, "Электрические станции", 1950, № 10.

зываются сцепленными с головками винтов 8, вставленных предварительно в отверстия полумуфты балансируемого ротора. Так как стопорные винты — эксцентрики 9, укрепленные на балке, препятствуют повороту осей с надетыми на них кулаками, развиваемый приводным двигателем крутящий момент оказывается приложенным к муфте ротора.

Для расцепления полумуфты достаточно отключить приводный двигатель. При этом из-за разности маховых моментов якоря двигателя и балансируемого ротора последний начнет опережать в своем вращении двигатель, и головки винтов полумуфты отойдут от рабочей поверхности кулаков.

По мере замедления скорости вращения якоря двигателя головки винтов полумуфты ротора подойдут к кулакам муфты с обратной стороны и отождут их в положение, перпендикулярное оси балки, так как повороту осей в этом направлении ничто не препятствует — муфта окажется расцепленной. Основные технические данные станка следующие:

Радиус образующей опорного цилиндрического сегмента	2 500 мм
Длина опорного цилиндрического сегмента	500 мм
Высота центра вала над опорной поверхностью	450 мм
Диаметр шейки вала	505 мм

Критическая скорость вращения ротора на станке составляет около 100—110 об/мин. Чувствительность станка — 10 г на радиусе 49,5 см вызывает вибрацию головки — 0,01 мм.

Балансировка производится нормально — методом обходного груза. Вес балансирующих грузов, установленных на роторе в результате балансировки, — 6,3 кг на радиусе 49,5 см. Амплитуда остаточной вибрации головок станка после балансировки — 0,2 мм, что соответствует остаточному небалансу 200 г на радиусе 49,5 см. При номинальной скорости вращения (1 500 об/мин) указанный остаточный небаланс разовьет усилие, равное 250 кг, что соответствует 0,4% от веса ротора.

Для смазки шеек вала применяется чистое цилиндрическое масло при 20+25°С.

Пуск турбогенератора и опробование его под нагрузкой после проведения указанной балансировки дали положительные результаты. Вибрация подшипников генератора при всех режимах работы не превосходила 0,05 мм.

Выводы

Указанный станок вполне оправдал себя в работе и может быть рекомендован для балансировки тяжелых роторов в станционных условиях.

Применение муфты обеспечивает не только удобный пуск ротора (включение кнопкой без помощи крана, людей и пр.), но и автоматическое отключение ротора от привода по достижении заданной скорости его вращения.

Инж. Ю. И. Азбукин

О причинах плохого охлаждения турбогенераторов

В практике эксплуатации турбогенераторов имеют место случаи, когда они не развивают своей номинальной мощности из-за плохого состояния системы охлаждения.

Анализ работы системы охлаждения на ряде генераторов показал, что причиной плохой работы воздухоохладителей в большинстве случаев является несоблюдение технических условий при их изготовлении, монтаже и эксплуатации.

Так, например, на одной электростанции при приемодаточных испытаниях турбогенератора типа Т2-50-2 50 тыс. кВт было обнаружено, что температура холодного воздуха непосредственно за воздухоохладителем была на 5°С ниже температуры холодного воздуха перед вентиляторами генератора. Оказалось, что холодный воздух на своем пути из камеры воздухоохладителя к вентиляторам, омывая неизолированный короб выходящего горячего воздуха (выполненный из листовой стали), подогревался.

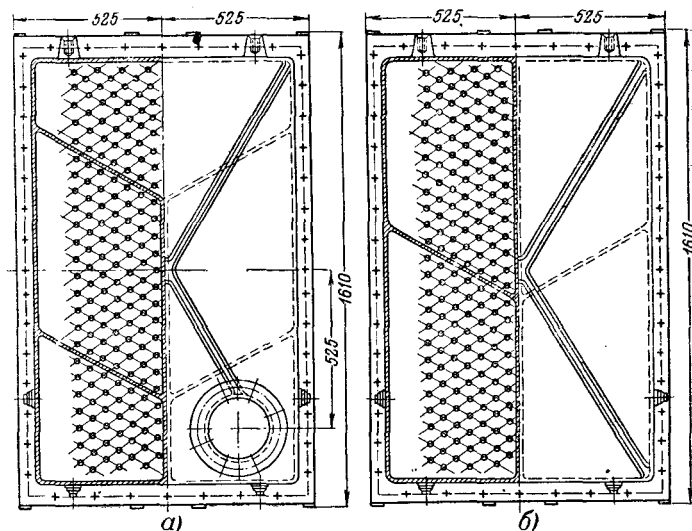
Было также установлено, что перепад температуры между холодным воздухом и холодной водой, входящей

в воздухоохладитель спирального типа ВОП-75 изготовления завода «Электросила» (при полностью открытых задвижках на трубопроводах охлаждающей воды), достигает 23°С вместо установленной по ГОСТ 533-41 10°С.

Однако генератор все же был включен в работу.

С наступлением весенне-летнего периода повысилась температура охлаждающей воды, что вызвало сильное ограничение мощности генератора, который был остановлен для отыскания и устранения дефектов охлаждения.

При вскрытии крышек одной секции воздухоохладителя было обнаружено, что между ребрами разделительных перегородок (см. рисунок), при помощи которых до-



Крышки воздухоохладителя.

а — передняя; б — задняя.

стигается желаемое количество ходов в секции, и трубными досками имелся зазор 2,5—3 мм и, следовательно, большая часть поступающей воды не попадала в трубки воздухоохладителя, а протекала мимо через зазоры на слив. При сборке воздухоохладителя резиновые прокладки были поставлены только по периметру; под перегородками же, по видимому, ошибочно они не были поставлены, в результате чего и образовались зазоры.

Силами работников электростанции для устранения указанных недостатков были выполнены следующие работы:

1. Установлены прокладки под перегородки в воздухоохладителе. При этом, так как завод-изготовитель не предусмотрел никакого крепления прокладок к перегородкам, то для закрепления их винтами в торцевых частях перегородок были просверлены отверстия и нарезана резьба.

2. Стенки короба горячего воздуха были изолированы листовым асбестом толщиной 3—4 мм. Поверх асбеста накладывалась листовая сталь толщиной 1,5 мм.

3. Устранены пропуски горячего воздуха в камеры холодного воздуха через неплотности между корпусами воздухоохладителей и разделительными стенками.

После устранения дефектов и включения генератора в работу были проведены испытания, показавшие следующие результаты:

P	47 800 кВт
$I_{ст}$	3 120 а
$I_{рот}$	578 а
$U_{ст}$	10,5 кВ
$t_{вх. воды}$	18°С
$t_{хол. воз}$	— 30°С
$\Delta t = t_{хол. воз} - t_{вх. воды}$	12°С

Как видно из этих данных, перепад между температурой холодного воздуха и входящей водой в воздухоохладитель снизился с 23 до 12°С.

Испытания проведены при полностью открытых задвижках на трубопроводах входящей и выходящей воды в воздухоохладители.

В процессе этих испытаний было, однако, установлено, что температура воздуха в верхней части секций воздухо-

охлаждателя выше, а в нижней части ниже. Температурная разница указывала на наличие пропусков воды через зазоры крышек.

В дальнейшем во время остановки турбогенератора на текущий ремонт крышки воздухоохлаждателей опять были вскрыты и было обнаружено, что в некоторых местах резиновые прокладки оказались вытесненными потоком воды из-под перегородок. Крепление прокладок было улучшено более частой установкой винтов (с интервалом 50—60 мм).

Результаты повторных испытаний, произведенных после текущего ремонта генератора, сведены в таблицу.

Часы суток	Активная нагрузка P , тыс. кВт	Ток статора $I_{ст}$, а	Ток ротора $I_{рот}$, а	Напряжение статора $U_{ст}$, кВ	Температура входящей воды $t_{вх. воды}$, °C	Температура холодного входящего воздуха $t_{холод. воз.}$, °C	Перепад температуры Δt , °C
17—00	50	3 200	590	10,0	30	39	9
18—00	50	3 200	590	10,0	30	39	9
19—00	50	3 200	590	10,0	31	40	9
20—00	50	3 200	590	10,0	31	40	9
21—00	50	3 200	590	10,0	30	39	9
22—00	50	3 200	590	10,0	30	39	9

Из таблицы следует, что устранение дефектов, обнаруженных в период текущего ремонта, дало хорошие результаты. Перепад между холодным воздухом и входящей водой составил 9° C, и мощность генератора не ограничивалась при температуре охлаждающей воды 30° C.

Выводы

Для обеспечения нормальной работы турбогенераторов, особенно в жаркие летние месяцы, необходимо постоянно поддерживать систему охлаждения в образцовом состоянии.

1. Стенки между камерами горячего и холодного воздуха должны быть хорошо уплотнены и иметь тепловую изоляцию, выполненную из листового асбеста, покрытую кровельной сталью.

2. Для измерения температуры входящей и выходящей воды из воздухоохлаждателей на трубопроводах каждой секции должны быть встроены гильзы для ртутных термометров.

3. На трубопроводе, подающем воду к воздухоохлаждателю, должны предусматриваться фильтры с обводной линией для периодической чистки.

4. В случаях интенсивного загрязнения водяной части воздухоохлаждателей должна проводиться систематическая их чистка в период текущих ремонтов.

Инж. Е. Н. Неворов

Применение метода абсорбции для контроля влажности изоляции

Практика контроля влажности изоляции обмоток высоковольтных генераторов, синхронных компенсаторов и электродвигателей показывает, что в ряде случаев применяется сушка машин без достаточных для этого оснований. Особенно часто это наблюдается в отношении генераторов и электродвигателей, включаемых в эксплуатацию после некоторого перерыва их в работе.

В настоящее время широко применяется удобный и простой способ определения степени увлажненности изоляции путем измерения зависимости сопротивления изоляции от времени, т. е. снятие кривых абсорбции. При этом практически достаточно измерить мегомметром сопротивление изоляции при отсчете через 15 и 60 сек. и определить отношение k (коэффициент абсорбции).

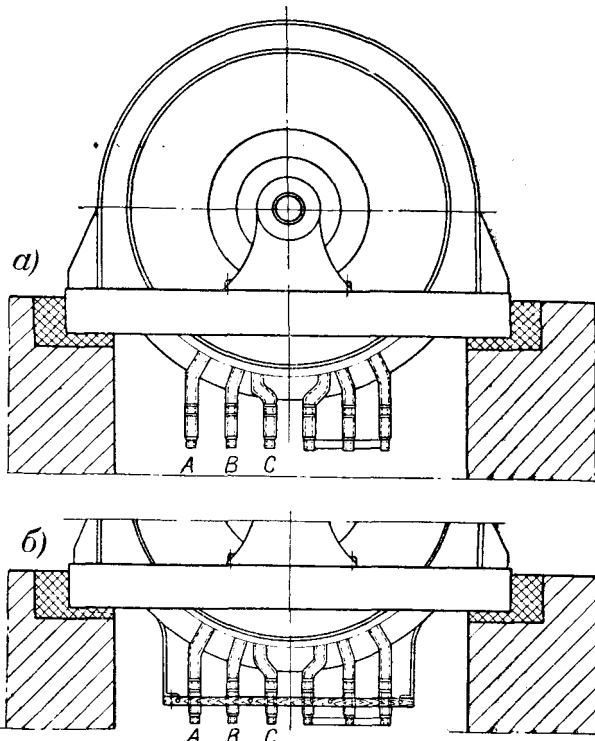
$$k = \frac{R_{60}}{R_{15}}$$

Ниже приводится случай из практики, когда сопротивление изоляции обмоток неувлажненного электродвигателя было значительно снижено деревянной траверзой, закрепляющей концы выводов обмоток статора.

Синхронный электродвигатель 1000 кВА, 6 кВ, 1500 об/мин был высушен методом индукционных потерь в роторе. К концу сушки отношение значений сопротивлений изоляции обмоток трех фаз статора равно было

$$k = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{250}{145} = 1,7 \text{ при } 30^\circ \text{C.}$$

При измерении сопротивления изоляции мегомметром напряжением 1000 В гибкие концы выводов обмоток статора не были закреплены деревянной траверзой (а на рисунке), затем была установлена траверза, и выводы обмотки статора были закреплены, как это показано на рисунке (б).



Выводы обмотки статора синхронного электродвигателя 1000 кВА, 6 кВ, 1500 об/мин.

а — при снятой траверзе; б — при установленной траверзе.

Так как по условиям эксплуатации по окончании сушки электродвигатель мог быть включен под напряжение только через месяц, то для предупреждения увлажнения изоляции был оборудован непрерывный подогрев обмоток специальными грелками.

Перед включением электродвигателя было измерено тем же мегомметром сопротивление изоляции обмоток статора при установленной траверзе и получено при 30° C:

$$k = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{60}{50} = 1,2,$$

т. е. было зафиксировано снижение абсолютной величины сопротивления изоляции обмоток в 4 раза и коэффициента абсорбции на 30%.

На основании результатов этих измерений казалось необходимо было провести повторную сушку электродвигателя.

Однако было не ясно, что могло послужить причиной такого значительного увлажнения электродвигателя, находившегося в машинном зале с температурой окружающего воздуха 25—30° C при наличии непрерывно включенных грелок. Было основание предположить, что такое понижение сопротивления изоляции обмоток получилось из-за деревянной траверзы, которая увлажнилась во время транспортировки электродвигателя и не была высушена до установки на выводы обмотки статора. После снятия траверзы повторные измерения сопротивления изоляции обмотки статора показали при 25° C:

$$k = \frac{R_{60}}{R_{15}} = \frac{300}{175} = 1,7,$$

т. е. подтвердилось, что причиной резкого снижения сопротивления изоляции была увлажненная деревянная траверза. Последняя была просушена, покрыта изоляционным лаком и после установки на выводы обмотки статора уже не снижала сопротивления изоляции обмоток электродвигателя, который был включен в эксплуатацию без дополнительной сушки.

Выводы

Следует широко применять метод абсорбции для контроля влажности изоляции обмоток статора электрических машин высокого напряжения, что позволит во многих случаях отказаться от их сушки.

Применение этого метода позволяет также выявить местные дефекты изоляции электрических машин.

Инж. С. А. Городецкий

Схема пофазного АПВ с использованием разряда конденсатора

В настоящее время широко внедряются устройства АПВ, разработанные ЦНИЭЛ и выпускаемые электроаппаратным заводом Министерства электропромышленности, в которых вместо реле времени с проскальзывающим контактом используется контур с конденсатором, разряжающимся на промежуточное реле¹. Аналогичная схема была выполнена на одной линии электропередачи 110 кВ энергосистемы для пофазного АПВ, как показано на рисунке.

Схема действует следующим образом. При замыкании на землю одной фазы после ее отключения срабатывает

¹ См. «Электрические станции», 1951, № 5.

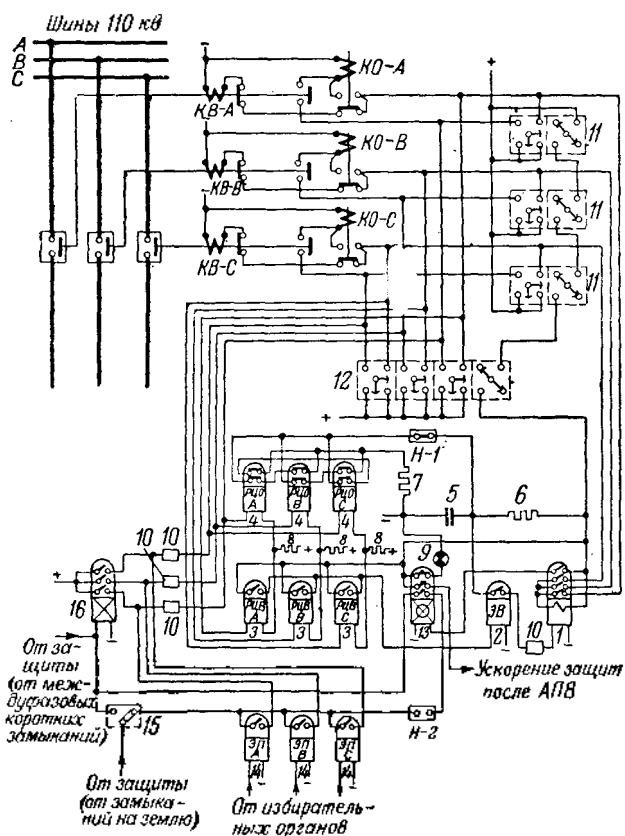


Схема устройства пофазного АПВ с использованием разряда конденсатора.

1 — двухобмоточное промежуточное реле; 2 — реле времени на длительные включения; 3 и 4 — промежуточные реле контроля исправности цепей включения и отключения выключателя; 5 — конденсатор 20 мкФ; 6 — сопротивление 1 мОм; 7 — сопротивление 700 Ом; 8 — сопротивление 750 Ом; 9 — сигнальная лампа; 10 — блинкеры; 11 — фазные ключи управления; 12 — общий ключ управления; 13 — промежуточное реле с замедленным возвратом; 14 — промежуточные реле избирательных органов; 15 — переключатель; 16 — выходное реле защиты; KB — катушки включения; КО — катушки отключения.

реле 3 данной фазы и запускает реле времени 2. Замыканием контакта реле времени 2 конденсатор включается и разряжается на обмотку промежуточного реле 1. Конденсатор предварительно заряжен через соединенные последовательно контакты ключей управления (общего и трех каждой фазы), замкнутые в положении «включено».

Промежуточное реле 1, сработав, замыкает свои контакты в цепях включения всех трех фаз выключателя и самоудерживается через свою сервисную обмотку. Происходит включение отключившейся фазы и при этом реле 1 и 2 отпадают.

Через 20 сек. — время, необходимое для заряда конденсатора, АПВ опять готово к действию.

В случае неустранившегося короткого замыкания после вторичного отключения выключателя срабатывание реле 3 и реле времени 2 не приводит к срабатыванию реле 1, так как конденсатор уже разряжен, чем и обеспечивается однократность действия устройств.

При отключении всех трех фаз выключателя и установленной накладке Н-1 происходит мгновенный разряд конденсатора через контакты реле 4 любых двух фаз, и повторного включения не происходит. При снятой накладке Н-1 и отключении трех фаз происходит трехфазное повторное включение. АПВ происходит также при самопроизвольном и ошибочном (помимо ключа) отключении выключателя.

С установленной накладкой Н-2 после АПВ на неустранившиеся повреждения происходит отключение всех трех фаз, а при снятой накладке Н-2 — отключение только поврежденной фазы с ускорением защиты в обеих случаях.

Когда линия выключается ключом управления на короткое замыкание, АПВ не происходит, так как конденсатор разряжен и зарядится только через 20 сек. после включения.

Дистанционное управление выключателем выполнено при помощи трех ключей типа КСВФ завода «Электропульт», по одному на каждую фазу, а одновременное включение и отключение всех трех фаз — с помощью общего ключа управления, переделанного из трех ключей типа КСВФ. В схеме не показаны контакты реле контроля целости цепей включения (РЦВ) и отключения (РЦО).

Предусмотренный в схеме переключатель 15 служит для перевода действия защиты от замыканий на землю с трехфазного отключения на пофазное и обратно.

Инж. Н. Е. Геворкян

Схема самоудерживания выходного реле защиты через ключ управления

Для надежной работы газовой защиты трансформаторов и блоков генератор-трансформатор применяется схема самоудерживания выходного промежуточного реле через кнопку с нормально замкнутыми контактами. Деблокировка реле после срабатывания производится вручную нажатием этой кнопки.

На трансформаторах собственных нужд обычно выполнялось общее выходное промежуточное реле, на которое действуют все виды защит, в том числе и максимальная.

Противоаварийными циркулярами № 4/Э 1950 г. и № 2/Э 1951 г. предписывается в таких случаях выделение газовой защиты на отдельные промежуточные реле с тем, чтобы остальные защиты действовали на другое реле без самоудерживания.

Это требует установки дополнительного промежуточного реле и сохраняет ручную деблокировку цепи самоудерживания газовой защиты, что связано с определенными неудобствами. Дежурный персонал всегда должен помнить, что после срабатывания защиты необходимо деблокировать реле при помощи кнопки. Кнопка деблокировки располагается на релейной панели около промежуточного реле. В аварийной обстановке для деблокировки необходимо дополнительное время и возможны ошибки. На одной электростанции был случай, когда при ликвидации аварии было задержано включение выключателя. Релейные панели расположены во втором ряду (за панелями управления) и дежурный в спешке ошибся и нажал кнопку на соседней панели другого трансформатора.

По предложению автора на электростанции осуществлена на трансформаторах собственных нужд и на блоках генератор-трансформатор схема самоудерживания через

ключ управления типа КВФ-1а (УК) 4.6а.4а.2а (ПУИ) (см. рисунок).

Из схемы ключа управления видно, что через контакты 9—10 и 9—12 при положении ключа «предварительно включено», «операция включения» и «включено» на контакт реле подается плюс. При всех прочих операциях плюс с контакта реле снимается.

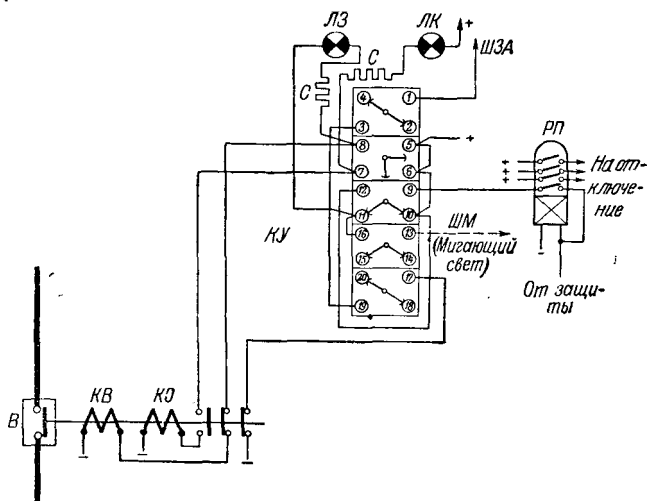


Схема самоудерживания реле через ключ управления.

При положении несоответствия ключа и выключателя дежурный квитирует ключ и тем самым автоматически снимает самоудерживание с катушки реле.

После квитирования ключа дежурный должен определить по положению блинkers, какая защита произвела отключение, после чего производит дальнейшие операции. Это положение должно быть отмечено в инструкции по ликвидации аварий.

Инж. Н. В. Решетникова

ОТ РЕДАКЦИИ

Схема с включением самоудерживания выходного реле защиты через ключ управления позволяет не ставить дополнительное реле и имеет некоторые эксплуатационные преимущества. Эту схему можно применять в тех случаях, когда не требуется автоматическая деблокировка (например, для АПВ трансформатора), а конструкция ключа позволяет обеспечить предварительный разрыв цепи самоудерживания реле при операции дистанционного включения выключателя.

Контроль состояния высоковольтных вводов

В результате систематически и широко проводимых профилактических испытаний изоляции удельный вес аварий в энергосистемах вследствие повреждения изоляции электрооборудования значительно снизился. Однако для некоторых видов оборудования (аппаратные изоляторы масляного и конденсаторно-масляного типов) повреждаемость изоляции остается еще сравнительно высокой.

Опыт эксплуатации показал, что основными недостатками в указанных изоляторах являются дефекты в мастике: отслоение ее от фарфоровой рубашки или бакелитового сердечника, каверны и газовые включения. Дефекты в мастике плохо обнаруживаются принятыми в настоящее время для изоляторов методами испытаний: измерением угла диэлектрических потерь и испытанием повышенным напряжением.

В 1947 г. доц. И. К. Федченко предложил применить для обнаружения дефектов в изоляторах метод рентгеновского просвечивания, при котором на пленке получается изображение изолятора и фиксируются неоднородности в виде трещин, воздушных включений, каверн в фарфоре, мастике и бакелите¹.

Для создания достаточной контрастности снимка позволяющей обнаружить небольшие дефекты, необходимо вести просвечивание при возможных меньших напряжениях, увеличивая для получения удовлетворительных рентгенограмм время просвечивания.

Метод рентгеновского просвечивания был применен для исследования изоляторов выключателей ВМ-35-Н, установленных на подстанциях, а также снятых с эксплуатации.

Просвечивание изоляторов производилось без их демонтажа при помощи портативной переносной рентгеновской установки, безопасной в электрическом отношении и позволяющей производить просвечивание на высоте до 2,5 м от земли.

Для просвечивания изоляторов была использована после незначительных изменений установка РУ-560 с напряжением 70 кВ макс и рентгеновской трубкой БДМ-75.

Просвечивание этой установкой производилось при полном снятии напряжения с испытуемого оборудования и при соблюдении всех правил безопасности, установленных для подобных работ. При этом был выбран следующий режим:

Напряжение на трубке	$U = 60 \text{ кВ макс}$
Ток в трубке	$i = 5 \text{ ма}$
Фокусное расстояние	$F = 3 \text{ см}$
Время просвечивания	$t = 3 \text{ мин.}$ при применении двух усиливающих экранов

Большая длина изолятора заставила проводить просвечивание в три приема.

На полученных рентгенограммах можно было обнаружить дефекты в фарфоре, мастике и бакелите в виде каверн, воздушных включений, трещин и расслоений.

С помощью рентгеновского просвечивания не только устанавливается наличие дефектов, но и определяются их количество, размеры и расположение, благодаря чему можно судить о степени опасности дефектов. Просвечивание изоляторов в эксплуатации целесообразно проводить раз в год при осмотрах оборудования. Изоляторы, в масляном заполнении которых обнаружатся значительные дефекты, должны быть подвергнуты перезаливке. Качество перезаливки может быть также проверено путем рентгеновского просвечивания.

При обнаружении небольших дефектов в мастике изолятор должен быть взят под наблюдение. Обнаружение дефектов в фарфоре требует его замены.

Таким образом, рентгеновское просвечивание в сочетании с другими методами испытаний позволит наиболее полно определять состояние мастиконаполненных изоляторов.

В дальнейшем нами предполагается исследовать применение импульсного метода просвечивания, отличающегося чрезвычайной краткостью времени экспозиции, и разработать соответствующую установку для этой цели.

Канд. техн. наук М. Е. Иерусалимов
и канд. техн. наук И. К. Федченко

ОТ РЕДАКЦИИ

Примененный авторами метод отыскания дефектов в изоляторах путем рентгеновского просвечивания редакция рекомендует проверить в энергосистемах.

¹ Теоретическое обоснование метода см. «Электричество», 1952, № 10. Ред.

В Техническом управлении Министерства

О контрольном нагреве и включении трансформаторов после монтажа и ремонта

В ряде энергосистем во время монтажа для решения вопроса о необходимости сушки производится контрольный нагрев трансформаторов, по всем показателям удовлетворяющих требованиям эксплуатационного циркуляра Технического управления № 3/Э от апреля 1951 г. «Определение необходимости сушки трансформаторов», и, следовательно, являющихся сухими. Проведение контрольного нагрева в этих случаях является лишним, задерживает ввод в работу смонтированного трансформатора, требует затраты средств и рабочей силы.

Имеют место такие случаи, когда в энергосистеме с целью испытания трансформатора поднятием напряжения с нуля специально изменяется схема коммутации, причем понижается надежность работы отдельных потребителей, а иногда и всей энергосистемы. Между тем подъем напряжения с нуля не предотвращает возможных повреждений. Размер повреждения при наличии быстродействующей и газовой защиты, действующих на отключение, практически будет таким же, как и при подъеме напряжения с нуля или при включении трансформатора толчком.

Необходимо также учесть, что некоторые дефекты трансформатора могут быть выявлены только при включении его толчком.

Учитывая изложенное, Техническое управление предлагает (эксплуатационный циркуляр № 8/Э от 2 декабря 1952 г.) при решении вопроса о необходимости контрольного нагрева и подъема напряжения трансформаторов во время и после окончания монтажа руководствоваться следующим:

1. Контрольный нагрев трансформаторов любой мощности и на любое напряжение до 60—70°С производится только в случае, предусмотренном п. 1 указанного выше эксплуатационного циркуляра № 3/Э.

2. Подъем напряжения с нуля на электростанциях производится лишь для трансформаторов, смонтированных по схеме блока с генератором. Включение всех других трансформаторов производится толчком на полное напряжение независимо от места установки. При этом должна быть включена мгновенная защита (дифференциальная, дифференциальная, отсечка со стороны питания и т. п.), а газовая защита должна действовать на отключение.

О реакторном пуске синхронных компенсаторов

Техническое управление МЭС в своем решении № 24/Э от 1 октября 1952 г. отмечает положительный опыт использования нормальных бетонных реакторов для пуска синхронных компенсаторов.

Указывая далее на имевшие место неоднократные повреждения масляных реакторов, обычно применявшихся ранее для пуска синхронных компенсаторов, и учитывая сложность эксплуатации и высокую их стоимость, Техническое управление МЭС предлагает при выборе реактора для пуска синхронного компенсатора руководствоваться следующим:

а) Напряжение на синхронном компенсаторе в начальный период пуска в зависимости от имеющихся в наличии реакторов и допустимого снижения напряжения на шинах подстанций, к которым подключается компенсатор, должно быть в пределах 30—70% от номинального.

б) Номинальный ток реактора для синхронных компенсаторов всех мощностей как с воздушным, так и с водородным охлаждением выбирается из расчета 20% от номинального тока компенсатора.

В заключение Техническое управление МЭС рекомендует масляные пусковые реакторы в существующих установках заменять воздушными.

В Производственно-техническом управлении по строительству и монтажу

О проектировании теплоснабжения, отопления и вентиляции гидростанций

Производственно-техническим управлением по строительству и монтажу МЭС рассмотрена и утверждена «Инструкция по проектированию теплоснабжения, отопления и вентиляции сооружений гидроэлектрических станций» составленная институтом «Гидроэнергопроект» на основе обобщения опыта проектирования гидросооружений и систематизации проверенных практикой нормативов и расчетов данных.

Инструкция распространяется на вновь строящиеся и реконструируемые сооружения гидроэлектростанций: здания гЭС, здания цита управления и распределительных устройств, здания турбинного и изоляционно-масляных хозяйств и здания судоходных шлюзов.

Инструкция содержит основные требования к планировке и строительным конструкциям, вопросы строительной теплотехники ограждающих конструкций и определение тепловых потерь, методику проектирования теплоснабжения, отопления и вентиляции в сооружениях гЭС, а также вспомогательные материалы для расчетов.

О нормах на сортамент и детали трубопроводов

Производственно-техническим управлением по строительству и монтажу МЭС и Главкотлотурбопромом Министерства тяжелого машиностроения СССР рассмотрены и утверждены междуведомственные нормы на сортамент и детали трубопроводов, разработанные Бюро стандартизации и нормализации Главкотлотурбопрома при ЦКТИ им. Ползунова и Ленинградским филиалом Конструкторского бюро Главэнергомонтажа Министерства электростанций.

Междуведомственные нормы составлены на: «Сортамент труб трубопроводов», «Детали гнутые трубопроводов $P_y = 100 \text{ кг/см}^2$ », «Фланцевые соединения трубопроводов $P_y = 25 \text{ кг/см}^2$ », «Фланцевые соединения трубопроводов $P_y = 40 \div 100 \text{ кг/см}^2$ ». Эти нормы утверждены как обязательные к применению с 1 августа 1952 г. для всех предприятий и организаций Министерства электростанций СССР и всех предприятий и организаций Главкотлотурбопрома Министерства тяжелого машиностроения СССР.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

М. Д. Каменский, Электрические системы, издание второе, переработанное и дополненное, Госэнергоиздат, 1952, 248 стр.

Рецензируемая книга в основном посвящена методике экономического распределения нагрузок между агрегатами электростанций и между электростанциями в энергетической системе (гл. 2, 3, 4, 5 и 10), а также вопросам регулирования частоты (гл. 6) и напряжения (гл. 14, 15 и 16). В ряде глав рассматриваются вопросы расчета сетей (гл. 7, 8, 9, 11 и 13).

Таким образом, в книге освещены лишь некоторые вопросы, которые принято называть «системными». Ряд системных вопросов, относящихся к надежности работы электрических систем (статическая и динамическая устойчивость, ограничение коротких замыканий и т. д.), в книге не разобраны. Главы, относящиеся к электрическому расчету сетей, помещены среди глав, освещающих вопросы экономического распределения нагрузок между электростанциями, регулирования напряжения и т. п.

Мотивы выбора последовательности изложения, при которой автор, не закончив одного вопроса, переходит к другому, остаются неясными. В результате создается впечатление недостаточной стройности и систематичности изложения.

Автор предназначает свою книгу для читателей-энергетиков и предполагает достаточное знакомство их с основными вопросами, касающимися электрических сетей и линий электропередачи. Одной из задач своей работы автор считает «выявление конкретной связи между технико-экономическими методами и основами регулирования и управления энергосистемы в целом, с одной стороны, и с методами чисто электрических расчетов сложных сетей электросистемы и регулирования ее параметров» (предисловие), с другой.

Так как других задач работы не указано, то можно считать, что сформулированная цель является главной или во всяком случае наиболее важной. Таким образом, автор поставил себе цель не только рассмотреть каждый метод и каждый вопрос в отдельности, но и дать их решение во взаимосвязи с другими вопросами.

Действительно, разработка режима сложной современной энергосистемы требует решения большого количества вопросов, каждый из которых в настоящее время достаточно полно освещен в нашей литературе.

Трудности состоят не столько в решении каждого из этих вопросов в отдельности, сколько в принятии решения, позволяющего в достаточной степени удовлетворить различные, а иногда и противоречивые требования обеспечения надежности и экономичности электроснабжения при надлежащем качестве энергии.

В соответствии с поставленной автором задачей можно было ожидать, что он, не углубляясь в описание хорошо известных и разработанных приемов расчета, обратит особое внимание на совместное, комплексное их применение для разработки режимов системы. К сожалению, книга не оправдывает таких ожиданий.

Основное внимание в ней уделено изложению отдельных вопросов и почти не показаны приемы применения всего комплекса изложенных методов для решения взаимосвязанных задач разработки режима энергосистемы.

Там, где связи между отдельными вопросами уделено несколько строк, рекомендации носят случайный характер, указывают трудности, но не дают метода их преодоления, а иногда и просто неправильны. Например, на стр. 167 (гл. 10) автор указывает, что осуществление наиболее выгодного распределения нагрузок между электростанциями, полученного из расчета, может привести к неприемлемым напряжениям в отдельных точках системы, а мощность отдельных электростанций может оказаться недостаточной для покрытия этих нагрузок.

Из этого автор делает вывод, что такие расчеты нужны только для того, чтобы «дать возможность работникам групп режимов яснее представить себе, возможно ли при-

менить на практике теоретические положения о наиболее выгодном распределении нагрузок».

Указаний, как поступать в том случае, если возникнут противоречия между решениями о регулировании напряжения и экономическим распределением нагрузок, автор не дает, несмотря на то, что приемы расчета наиболее выгодного распределения нагрузок с учетом любых ограничений, могущих встретиться на практике, давно разработаны.

Подобные «рекомендации» (а их в книге немало) создают у читателя ложное представление, будто бы описываемые методы неприменимы на практике и вместо пропаганды правильного применения дискредитируют их.

Значительную часть книги занимают вопросы наиболее выгодного распределения активных нагрузок, покрытия графика нагрузки системы и разбиения его между электростанциями (гл. 2, 3 и 4). В этой части книги имеются серьезные принципиальные ошибки.

Так, например, характеристики турбин всюду строятся в единицах расхода пара, а не тепла, что, как известно, может привести к грубым ошибкам, поскольку агрегаты, возвращающие в котельную много тепла с подогретой водой, могут расходовать больше пара, чем менее экономичные агрегаты с малоразвитым регенеративным циклом.

В книге ничего не сказано о характеристиках котлов и построении характеристик электростанций в целом, что может создать у читателя представление о допустимости сравнения характеристик турбин различных электростанций без учета котлов.

На стр. 25 автор утверждает, что «применительно к турбинам» минимальный расход тепла получается при равенстве производных «расхода подведенной мощности» по нагрузке (относительных приростов). Между тем ранее на стр. 20 показано, что характеристики паровых турбин обращены выпуклостью вверх, а в этом случае, как известно, равенство относительных приростов дает максимум, а не минимум расхода тепла. С этой ошибкой связана, в частности, неправильная рекомендация загружать турбоагрегаты с одинаковыми относительными приростами одинаково (стр. 30).

В ряде случаев вместо простого общего правила автор разбирает несколько частных случаев, не исчерпывающих вопроса. Это относится, например, к § 10, где для агрегатов с линейной характеристикой разобраны частные случаи и не дано правило загружать их в порядке возрастания относительных приростов.

В § 12 автор предлагает ограничить применение метода относительных приростов только электростанциями, работающими длительно с постоянной нагрузкой, и не применять его для электростанций с меняющейся нагрузкой и для теплофикационных станций ввиду ухудшения экономичности машин при изменениях нагрузки.

Такая рекомендация, по существу исключающая возможность практического применения метода, глубоко ошибочна, так как ухудшение экономичности машин при неполных нагрузках учитывается самими характеристиками и окупается повышением экономичности других машин, получающих при правильном применении разбираемой методики более высокую нагрузку.

Что касается теплофикационных машин, то после обеспечения им минимальной нагрузки, позволяющей пропустить через них весь пар, необходимый потребителям, дальнейшее увеличение их нагрузки производится за счет пропуска пара в конденсатор. Следовательно, при таком режиме они не имеют никаких преимуществ перед конденсационными.

В § 23 рекомендуется «для избежания штормовщины» проводить капитальные ремонты оборудования тепловых станций круглый год. Подобная рекомендация, даваемая без учета сезонных изменений нагрузки потребителей и мощности гидростанций, не может быть признана правильной.

В § 24 сказано, что будто бы всегда стремятся держать турбины на экономических нагрузках, составляющих 80–85% от номинальных, и что в связи с этим автоматически

решается вопрос о вращающемся резерве в системе. Это мнение является очевидным заблуждением.

Прежде всего, учитывая колебания нагрузок и недопустимость как из экономических соображений, так и из соображений надежности, частых пусков и остановок агрегатов, приходится в часы провалов разгружать турбины значительно ниже экономической мощности, а в часы максимумов они загружаются выше экономической мощности.

Кроме того, во всякой реальной энергосистеме наряду с новыми экономичными агрегатами работают и старые малоэкономичные. При этом наиболее экономичные агрегаты оказывается выгодным грузить выше экономической мощности.

В связи с этим поддерживать вращающийся резерв на уровне 15—20% в реальных энергосистемах никогда не бывает экономически выгодным, и вопрос о величине вращающегося резерва, который необходимо поддерживать вопреки требованиям экономичности, является важным и сложным вопросом.

Между тем в § 24, посвященном этому вопросу, кроме разобранного ошибочного положения и ссылки на то, что одни авторы считают необходимым иметь резерв 10%, а другие 15%, не дано конкретных указаний, как подходить к решению вопроса.

Вопросы регулирования реактивных нагрузок энергосистемы и напряжения (гл. 5, 9, 14, 15, 16) излагаются в книге без надлежащей связи друг с другом. Зависимость реактивной нагрузки потребителей от напряжения не рассмотрена, что не дает возможности правильно подойти к определению потребности энергосистемы в реактивной мощности.

Вне связи с реактивными нагрузками изложен такой важный и часто неправильно решаемый в энергосистемах вопрос, как рациональный выбор установки ответвлений повышающих и понижающих трансформаторов (гл. 9, § 40).

В разделе о регулировании напряжения посредством трансформаторов (§ 69) добавочные трансформаторы рассматриваются главным образом как средство местного регулирования напряжения. Автор не уделит внимания вопросу о местных дефицитах и избытках «запертых» реактивных мощностей, образующихся в ряде энергосистем, и методам ликвидации этих узких мест; в частности, остался неразработанным вопрос о применении добавочных линейных трансформаторов для связей между районами и для установления правильного распределения нагрузок между электростанциями.

Сравнивая статические конденсаторы и синхронные компенсаторы (§ 70), автор подходит к вопросу одностороннее, только с точки зрения регулирования напряжения, не учитывая вопросы баланса реактивной мощности и снижения потерь, а потому слишком решительно становится на сторону синхронных компенсаторов.

Неудовлетворительно освещены остро стоящие в настоящее время вопросы о выборе компенсирующих устройств. Излагается только метод выбора синхронного компенсатора для случая электростанции, работающей на длинную линию электропередачи. Технико-экономические расчеты рекомендуется производить, сравнивая установку компенсатора с сооружением новой линии (§ 73), что неправильно.

Практические методы определения выгоды и выбора мест установки компенсирующих устройств в реальной энергосистеме, в частности метод экономических эквивалентов, не разобраны.

Имеются досадные отдельные неточности: так, на стр. 226 автор считает предельно допустимым для трансформаторов напряжение, соответствующее напряжению основного вывода повысительных трансформаторов. В действительности предельное повышение напряжения ограничивается не классом изоляции: для трансформаторов не допускается повышение напряжения более чем на 5% от напряжения отключения, на котором трансформатор работает (§ 25 ГОСТ 401-41 и § 533 «Правил технической эксплуатации»). Автор для подтверждения своего положения ссылается не на ГОСТ, а на старые издания (1934 и 1939 гг.) книги проф. А. Я. Рябова.

Регулированию частоты в системе автор не уделил должного внимания. Гл. 6, посвященная этому вопросу, содержит лишь простейшие положения, известные из всех учебников. Автор не счел необходимым осветить вопросы динамики изменений частоты, разгрузки системы по частоте и выбора уставок, разгрузочных устройств. Им не ука-

заны осложнения, возникающие в процессе регулирования частоты при наличии слабых связей в энергосистеме, и методы предотвращения перегрузок этих связей.

Лучше других изложены методы расчета сетей (гл. 7, 8, 9, 13). Автор излагает материал в более обобщенном и в более удобном для практического применения виде, чем это делается в учебниках по сетям электрических систем.

Следует отметить наличие в книге значительного числа мелких ошибок и неточностей. Например, на стр. 9 неправильно указано, что государственный план энергосистемы утверждается Госпланом СССР; в действительности он утверждается Советом Министров СССР. На стр. 10 автор утверждает, что диспетчерские графики нагрузки должны быть заданы электростанциям накануне до 13 час.; в действительности согласно «Правилам технической эксплуатации» они должны быть выданы до 15 час. На стр. 46 к числу торфяных электростанций отнесена Среднеуральская грэс, работающая на угле.

Во многих местах книги применяется термин «станция ограниченной мощности» (стр. 35, 36 и далее). Этот термин очень неудачен, так как электростанций неограниченной мощности, как известно, не существует.

На стр. 155 сказано, что уменьшение активной нагрузки машины может привести к вынужденным ограничениям ее реактивной мощности; это положение неправильно, так как при уменьшении активной мощности снижается только кажущаяся мощность, а реактивная всегда увеличивается.

В § 51 и 53 распределение нагрузок между электростанциями с учетом как их характеристики, так и потерь в сети названо распределением «при минимуме потерь», хотя сам автор указывает, что потери в этом случае выше минимально возможных.

В заключение отметим еще один вопрос, который нам представляется принципиальным, — это вопрос о терминологии. Автор, как и в первом издании, вместо термина «энергетическая система» применяет термин «энергоснабжающая система». Нельзя оспаривать право автора предложить новый термин, если существующий он считает неудачным, невыразительным или неправильно передающим сущность понятия, которое он определяет. Однако, автор обязан предупредить о такой замене терминов читателя и объяснить, чем вызвана замена. М. Д. Каменский не только этого не делает, но при введении нового термина дает ссылку на «Правила устройства электротехнических установок», несмотря на то, что в этих правилах термин «энергоснабжающая система» не применяется (стр. 10, ссылка [Л. 1]).

Мы считаем, что нет никакой необходимости в замене получившего широкое распространение термина «энергетическая система» термином «энергоснабжающая система», в которой функции снабжения как бы отдается предпочтение перед функцией производства и передачи энергии. Необоснованное введение новых терминов может вредно сказаться на установлении общепринятой терминологии.

Нельзя признать удачным и другое нововведение автора: в определении понятия энергетической системы, данного «Правилами устройства», автор ввел указание на приемники тепловой энергии и тепловые сети (стр. 9). По нашему мнению, наличие тепловых сетей не является характерным признаком для энергетической системы как таковой, не отражается на общности режима и резерва и непрерывности процесса производства, характеризующих энергетическую систему. В определение следует включать лишь основные, наиболее существенные признаки для того, чтобы определение было кратким и выразительным. Поэтому попытки автора поправить «Правила устройства» следует признать неудачными.

Автор пользуется термином «частичный удельный расход», заявляя, что так принято называть отношение «приращения подведенной мощности (тепла) к приращению полезной мощности». Такое утверждение не точно, так как в значительной части (если не большей) работ, рассматривающих вопросы экономических режимов, применяются и другие термины: «относительный прирост» и «удельный прирост» (расхода тепла).

Расхождение в основной терминологии заслуживает упоминания, а принятие одного из спорных терминов нуждается в мотивировке. Термины «относительный» или «удельный» прирост представляются более выразительными и краткими, и один из них следовало бы принять, несмотря на то, что за термином «частичный удельный расход» может быть и имеется некоторый приоритет.

Оценивая книгу в целом, следует признать, что лицам, работающим в области режимов энергетических систем, книга не дает чего-нибудь нового ни по содержанию, ни по характеру изложения материала. Полезность же книги для остальных работников энергосистем и для сту-

дентов значительно снижается из-за неточности и неполноты освещения ряда важных вопросов работы энергетических и электрических систем.

Канд. техн. наук В. М. Горнштейн

ОТ РЕДАКЦИИ

Помещая рецензию В. М. Горнштейна на книгу М. Д. Каменского, редакция обращается с просьбой высказаться по этой книге и другим читателям.

О тематике журнала „Электрические станции“ на 1953 г.

Перед журналом «Электрические станции» в 1953 г. стоит важная задача — содействовать энергетикам Советского Союза в выполнении и перевыполнении заданий, установленных директивами XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану. Усиление темпов наращивания мощностей электростанций и увеличение их мощностей примерно вдвое обязывают редакцию журнала уделить еще большее внимание освещению вопросов проектирования, строительства и монтажа новых электростанций и электросетей и расширения действующих, в особенности в части типизации проектов, скоростных методов строительства и монтажа, а также методики пуска и наладки новых установок.

Редакция обязана также усилить свою работу по пропаганде передовых методов эксплуатации энергетического оборудования и устройств, использования новой и усовершенствованной техники и по освещению передового опыта предприятий.

Одним из важнейших направлений журнала остается автоматизация электростанций и сетей и телемеханизация энергетических систем. Директивы XIX съезда партии предусматривают широкую автоматизацию производственных процессов на электростанциях, завершение полной автоматизации гидростанций и начало работ по телемеханизации энергосистем. Этот раздел должен занять видное место в содержании журнала в этом и последующих годах.

В связи с указаниями о дальнейшем развитии теплосетей и теплофикации редакция усилит освещение опыта строительства и эксплуатации тепловых сетей.

В области эксплуатации тепловой части электростанции основное внимание будет уделяться, как и в прежние годы, освоению и улучшению работы всех видов оборудования высокого давления, разработке и внедрению рациональных режимов и методов эксплуатации котлов и турбинных агрегатов среднего и высокого давления и их вспомогательного оборудования.

Будет продолжаться освещение опыта механизации топливных складов, методов размолва и сжигания топлива; водного режима котлов высокого давления и борьбы с коррозией металла. Найдут должное отражение и опыт работ химических цехов электростанций. Большое внимание будет уделено вопросам очистки дымовых газов от летучей золы и сернистых соединений, что имеет важное значение для санитарно-гигиенического состояния наших городов и промышленных поселков.

В журнале должен получить более полное отражение опыт проектирования наладки и эксплуатации устройств

автоматизации горения и других процессов тепловых электростанций.

В области эксплуатации электрической части должное место найдет освещение вопросов бесперебойной работы основных видов электрооборудования: генераторов, особенно с водородным охлаждением, трансформаторов, воздушных выключателей, электродвигателей, эксплуатации подстанций без дежурного персонала.

Внимание читателей будет привлекаться к внедрению новых методов профилактического испытания оборудования, повышению уровня изоляции и защиты от перенапряжений.

Особое внимание будет уделено повышению технико-экономических показателей электрических станций и систем: снижению удельного расхода топлива и расхода электроэнергии на собственные нужды, снижению потерь энергии во всех звеньях электрических систем и повышению коэффициента мощности.

Необходимое отражение получают вопросы скоростных ремонтов, производства ремонтов на линиях электропередачи под напряжением, организации проведения ремонтов централизованным методом.

Одним из важных разделов журнала остается системная автоматика и релейная защита, в частности, вопросы автоматического повторного включения и автоматического регулирования напряжения и частоты.

Наряду с освещением опыта эксплуатации тепловых электростанций будет освещаться и опыт эксплуатации автоматизированных и телеуправляемых гидростанций и подстанций.

Внедрение хозрасчета, снижение себестоимости энергии и снижение удельной численности персонала продолжают являться одними из наиболее актуальных вопросов энергетического хозяйства, и в соответствии с этим будет отведено необходимое место в журнале для их обсуждения и обмена опытом.

Редакция призывает читателей к широкому участию в работе журнала как помещением своих статей, сообщением о передовом опыте, информацией об осуществленных рационализаторских предложениях, так и в обсуждении статей, помещаемых в журнале. Критика читателей будет содействовать успешному решению многочисленных и важных задач, стоящих перед энергетиками Советского Союза в 1953 г. — третьем году пятой сталинской пятилетки.

Редакция



ПОПРАВКА

В № 12 журнала «Электрические станции» за 1952 г. в статье Н. С. Пеклера «Применение антенного отбора напряжения для целей АПВ» на стр. 38 под рис. 3 выполнение по первому способу показано внизу (б) и по второму способу — наверху (а).

Вниманию авторов

При подготовке статей для журнала «Электрические станции» авторам необходимо выполнять следующие требования:

1. Объем статей не должен превышать 10—15 страниц текста, *напечатанного на машинке на одной стороне листа через два интервала (обязательно первый экземпляр)*. В виде исключения статьи могут быть представлены четко написанными от руки на одной стороне листа.

2. Формулы и иностранный текст должны быть написаны разборчиво. В формулах обязательно выделять прописные и строчные буквы, индексы писать ниже строки, показатели степени — выше строки; на полях рукописи делать отметки, каким алфавитом в формулах обозначены буквы, и давать другие пояснения к формулам.

3. Статьи иллюстрировать фотографиями и чертежами, однако число их должно быть минимально необходимым. Чертежи выполнять тушью или карандашом, надписи и обозначения писать четко. Снимки направлять четкие и контрастные размером не менее 9×12 см, в двух экземплярах.

В тексте статьи обязательно делать ссылки на рисунки, причем обозначения в тексте должны строго соответствовать обозначениям на рисунках.

Каждый чертеж или фотография должны иметь порядковый номер, соответствующий его номеру в тексте, и подпись.

Чертежи и фото в текст не вклеивать, а прилагать отдельно, составив на них опись.

4. В табличном материале точно обозначать единицы измерения. Наименования давать полностью, не сокращая слов. Не давать слишком громоздких таблиц.

5. Иностранные единицы измерения обязательно переводить в принятые у нас в Союзе меры длины, веса и др.

6. В конце рукописи указывать полностью имя, отчество и фамилию автора, домашний адрес, занимаемую должность, год рождения, номер и место выдачи паспорта.

7. Материал для журнала направлять по адресу: Москва, Восточный пер., здание ГУМ, III корпус, I этаж, помещ. 165, редакции журнала «Электрические станции».

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
Москва, Шлюзовая наб., 10

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1953 год

НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЖУРНАЛЫ:

„ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ“

Орган МЭС СССР

Год издания 24-й

Подписная цена: на год 96 руб.
на 6 мес. 48 руб.

12 номеров в год

Журнал рассчитан на инженерно-технических работников проектных и строительных организаций, электростанций и сетей Министерства электростанций, а также на энергетиков предприятий других министерств.
Годовым подписчикам на журнал будет выслана в качестве приложения справочная книжка энергетика на 1953 г.

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Орган Академии наук СССР, МЭС и МЭП СССР
Основан в 1860 г.

12 номеров в год

Подписная цена: на год 96 руб.
на 6 мес. 48 руб.
на 3 мес. 24 руб.

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников, ведущих работу в различных областях электротехники.

Годовым подписчикам на журнал будет выслан в качестве приложения справочник-календарь «Электричество» на 1953 г.

„ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО“

Производственно-технический и экономический журнал МЭС СССР

Год издания 22-й 12 номеров в год

Подписная цена: на год 48 руб.

Журнал рассчитан на инженерно-технический персонал, работающий на гидротехнических строительствах, в проектно-изыскательских организациях, научно-исследовательских институтах и на студентов вузов.

Годовым подписчикам на журнал будет выслана в качестве приложения справочная книжка строителя гидростанций на 1953 г.

„ТОРФЯНАЯ промышленность“

Орган МЭС СССР

Год издания 30-й

12 номеров в год

Подписная цена: на год 48 руб.
на 6 мес. 24 руб.

Журнал рассчитан на инженерно-технических работников торфяной промышленности.

„ПРОМЫШЛЕННАЯ энергетика“

Орган Госинспекции по промышленности и энергонадзору при МЭС СССР

Год издания 10-й 12 номеров в год

Подписная цена: на год 48 руб.
на 6 мес. 24 руб.
на 3 мес. 12 руб.

Журнал предназначен для инженеров и техников, работающих в отделах главного энергетика, главного механика, в производственных цехах предприятий и заводских лабораторий.

Годовым подписчикам на журнал будет выслана в качестве приложения справочная книжка энергетика на 1953 г.

„РАБОЧИЙ ЭНЕРГЕТИК“

Массовый производственно-технический журнал МЭС СССР

Год издания 3-й

12 номеров в год

Подписная цена: на год 24 руб.
на 6 мес. 12 руб.

Журнал рассчитан на широкие круги рабочих-энергетиков: котельщиков, машинистов, механиков, электромонтеров, мастеров и техников, работающих на электростанциях, электрических и тепловых сетях, в промышленных предприятиях, строительстве и монтаже энергетических установок.

„ЗА ЭКОНОМИЮ МАТЕРИАЛОВ“

Орган Госснаба СССР

Год издания 2-й

12 номеров в год

Подписная цена: на год 60 руб.
на 6 мес. 30 руб.

Журнал рассчитан на хозяйственные кадры и инженерно-технических работников министерств, заводов, конструкторских бюро и научно-исследовательских институтов, работников снабжения и сбыта, средний технический персонал предприятий и квалифицированных рабочих.

ПОДПИСКА ПРИНИМАЕТСЯ: ГОРОДСКИМИ И РАЙОННЫМИ ОТДЕЛЕНИЯМИ СОЮЗПЕЧАТИ, ВО ВСЕХ КОНТОРАХ, ОТДЕЛЕНИЯХ И АГЕНТСТВАХ СВЯЗИ И ОБЩЕСТВЕННЫМИ УПОЛНОМОЧЕННЫМИ ПО ПОДПИСКЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, В ОРГАНИЗАЦИЯХ И УЧРЕЖДЕНИЯХ.