

621.3(05)
345
0-366566



П. Н. ЯБЛОЧКОВ
Пионер русской электротехники

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Двинуть вперед развитие промышленной электротермии	1
Г. Ф. Эдельштейн — Состояние и задачи техники советского реле- строения	3
В. С. Квашнин — Новые задачи промышленности электроизоляцион- ных материалов	4
Из "Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей"	7
А. И. Лурье — Искусственное повышение проводимости заземля- ющих устройств	9
А. С. Грамматчиков — О проекте новых правил устройства зазем- лений	16
В. П. Тихонов — Использование металлических конструкций здания, как заземления и рабочего нулевого провода	23
Л. П. Подольский — К вопросу о воздействии электрического тока на человеческий организм	27
С. А. Кукель-Краевский — Обобщенный метод выбора оптимальных параметров энергетических установок	30
Н. И. Булгаков — Технические требования к конструкциям печных трансформаторов	40
А. В. Донской — Изучение режима работы индукционных бессердеч- никовых печей	47
И. А. Торопов — Нагрев вихревыми токами металлических частей опорной конструкции индукционной печи	50
Р. Л. Аронов — Определение сопротивления для получения заданных условий работы	54
<i>Библиография</i>	54
<i>Рефераты</i>	54
<i>На обложке</i> — П. Н. Яблочкин, пионер русской электротех- ники	54

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1880 Г.

8
1940

АВГУСТ

ОРГАН НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ И АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144, тел. В 5-32-79
Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648

ДВИНУТЬ ВПЕРЕД РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИИ

Мощный рост социалистической промышленности за годы сталинских пятилеток вызвал необходимость создания новых производств и новых технологических процессов, широко использующих электронагрев. В черной и цветной металлургии, в химической промышленности, в машиностроении и металлообработке, в разных областях коммунального хозяйства и быта электропечи получили большое распространение. Этому содействовало в первую очередь широкое развитие электрификации СССР, обеспечившее внедрение электричества во все отрасли народного хозяйства.

Исключительно большое значение электротермические процессы и электропечи имеют для оборонных отраслей промышленности в третьей пятилетке, являющейся пятилеткой химии и качественной стали.

Советский парк электропечей обладает установленной мощностью около 1 миллиона киловатт-шпар. Расход электроэнергии для электротермических производств достигает в СССР нескольких миллиардов киловатт-часов в год. Но эти, сами по себе большие, цифры являются недостаточными для Советского Союза. Потребление электроэнергии для целей промышленного электронагрева составляет в СССР менее 10% общего производства электроэнергии в стране, в то время как еще накануне второй империалистической войны расход электроэнергии для нужд электрометаллургии и электрохимии составлял в Швейцарии 34%, в Германии — более 20%, в Италии — около 20%, во Франции — 15%.

Реализация задач третьей пятилетки требует смелого и решительного внедрения электротермических методов в специальные технологии, что должно сочетаться с максимальной экономией электроэнергии.

Области применения промышленного электронагрева должны быть значительно расширены.

Так например, более широкое распространение должна получить выплавка электростали дуплекс-процессом, при котором металл расплавляется обычно в мартеновской печи, а перед разливкой поддается для подогрева в электропечь, что содей-

ствует повышению однородности и других качеств металла.

В области цветной металлургии совершенно необходимым является осуществление в промышленном масштабе электротермического производства силумина (сплава алюминия с кремнием), обладающего высокими литейными и антикоррозийными свойствами, электротермического производства никеля из бедных руд, а также еще большее внедрение электротермии в производство цветных и легких металлов.

Подобные же задачи — по расширению применения электронагрева — стоят перед химической, машиностроительной и металлообрабатывающей промышленностью.

Серьезное внимание должно быть обращено на создание производственной базы электропечестроения, современное состояние которой не соответствует запросам народного хозяйства и уровню мировой техники электротермии.

Советская электротермия уже не может базироваться на импорте электропечей, который достигал за последнее время нескольких миллионов рублей в год.

Не может быть далее терпимо такое положение, когда продукция имеющихся на заводах «Электрик» в Ленинграде и «Уралэлектромаша» в Свердловске цехов электропечей вытесняется основной номенклатурой этих заводов.

Нельзя мириться с тем, что конструкторские бюро и лаборатории этих заводов ввиду своей технической слабости не обеспечивают потребностей развития цехов электропечей.

Производство дуговых электросталеплавильных печей в Советском Союзе в последние годы значительно возросло и освободило страну от импорта, но все же оно не обеспечивает в достаточной мере потребностей промышленности. Вместе с тем поставляемые заводом «Уралэлектромаша» дуговые печи еще не удовлетворяют в качественном отношении требованиям металлургической промышленности и уровню современной техники электропечестроения.

Выпуск технически несовершенных дуговых электроплавильных печей затрудняет получение высоких технико-экономических показателей и приводит к значительному перерасходу электроэнергии и к снижению производительности при эксплуатации установок.

Ввиду того что электрорудные термические процессы в третьей пятилетке получат дальнейшее расширение, должно быть развернуто, в необходимых размерах, производство рудно-термических электропечей.

Индукционные плавильные печи завоевали прочное место в промышленности СССР. Заводами электропромышленности эти печи вполне освоены и выпускаются емкостью до 4 т; освоено также необходимое к ним оборудование. Поверхностный электронагрев также начинает получать широкое применение во всех отраслях промышленности. Развитие этого новейшего достижения техники и внедрение его в промышленность является неотложной задачей.

Наряду с этим следует отметить крайне незначительный объем производства индукционных печей, что вызывает импорт их из-за границы, а также недостаточное развитие производства электрооборудования для индукционных печей и установок поверхностной электроразакалки.

Таким образом одной из важнейших задач наркомата электропромышленности СССР является создание производственной базы электропечестроения, для чего необходимо: закрепить и увеличить производство электропечей на заводах «Электрик» и «Уралэлектромашин» и усилить на этих заводах конструкторские бюро и лаборатории; форсировать проектирование и строительство нового электропечного завода; разработать типизацию и провести стандартизацию электропечей.

Далее, необходимо поставить на должную высоту производство специальных материалов для электропечестроения.

В особо неудовлетворительном состоянии находится производство графитированных электродов для дуговых электропечей и высокоомных сплавов для электропечей сопротивления.

Почти все современные дуговые сталеплавильные электропечи за границей работают не на угольных, а на графитовых электродах, обеспечивающих более высокую производительность и более высокое качество работы электропечей. Наша электродная промышленность отстает от этих запросов электротермии и лимитирует развитие производства специальных сортов стали, в частности нержавеющей стали.

Не лучше обстоит дело и с основными материалами для электропечей сопротивления: качество хромоникелевых сплавов и, в особенности, безникелевых сплавов сопротивления (фехраль, хромаль) не может быть признано достаточно удовлетворительным. Производство литых и профилированных нагревательных элементов, а также запасных элементов для электропечей сопротивления у нас не поставлено. Наркомат черной металлургии СССР не уделяет этому делу необходимого внимания.

Для того чтобы двинуть вперед дальнейшее развитие промышленной электротермии в нашей стране, необходимо обеспечить электропечестроение высококачественными материалами: графитированными электродами, высокоомными хромоникелевыми и безникелевыми сплавами сопротивления, литыми и профилированными нагревательными эле-

ментами, запасными частями, легковесным огнегором, алюндовыми изоляторами, жароупорными теплоустойчивыми сталью, линяной конденсаторной бумагой и рулонной алюминиевой фольгой (для статических конденсаторов всей группы индукционных электропечей).

Электрические печи требуют для своей эффективной работы высокого уровня автоматизации. К сожалению, следует отметить, что ни Наркомат электропромышленности СССР, ни Харьковский электромеханический завод, в частности, не занимаются по-настоящему вопросами автоматического регулирования дуговых печей, которое подчас упрощенно трактуется, как автоматическое передвижение электродов.

Автоматическая регулировка электропечи по системе ХЭМЗ не обеспечивает нужной величины средневзвешенного косинуса φ. Между тем совершенно необходимо сочетать задачи автоматизации регулировки с оптимальным электрическим режимом работы электропечи и высоким средневзвешенным косинусом φ, а также добиться автоматического зажигания и автоматического включения печи.

Перед приборостроительной промышленностью стоит задача — полностью обеспечить потребности электротермии в приборах и автоматических регуляторах для регулирования работы электропечей в программных регуляторах, электроконтактных часах, терморегуляторах и т. п. Производство некоторых из этих приборов должно быть поставлено заново, так как они до сих пор у нас вовсе не изготавливаются.

Многие вопросы теории и практики промышленной электротермии, связанные с поставленными выше задачами, должны быть включены в программу широкой научно-исследовательской работы, которую необходимо развернуть и возглавить руководством со стороны Академии наук СССР.

Все растущая и усложняющаяся техника промышленной электротермии требует большого количества инженеров и научных работников, которые должны готовить наши втузы. Подготовка кадров для электротермии должна быть организована первую очередь в Ленинградском индустриальном институте, в Московском энергетическом институте им. Молотова и в некоторых других вузах, целесообразно было бы всячески развивать специальность по электрическим печам.

Широко должна быть развернута во всех отраслях промышленности подготовка техников и мастеров по электрометаллургическим, электрохимическим процессам и электропечному оборудованию.

Все вышеизложенные вопросы были выдвинуты и освещены в материалах Всесоюзной конференции по электротермии и электропечам, созывавшейся еще в марте текущего года Академией наук СССР и систематизированной большой и разносторонней научно-технический опыт электротермических хов и лабораторий многих отраслей промышленности. Однако этот систематизированный ценный опыт не стал еще полностью достоянием заводов институтов и лабораторий, и результаты работы конференции по электротермии и электропечам внедрены в практику.

Народное хозяйство и оборона страны настолько требуют проведения мероприятий, направленных к созданию мощной и технически оснащенной промышленной электротермии, что может быть достигнуто объединенными усилиями электриков и металлургов СССР.

Состояние и задачи техники советского релестроения

Г. Ф. ЭДЕЛЬШТЕЙН

Харьковский электромеханический завод им. Сталина

До 1933 г. в СССР не было сколько-нибудь серьезной производственной базы реле для электросиловых установок. Выпускающиеся в то время заводом ХЭМЗ несколько примитивных типов реле совершенно не удовлетворяли потребностям быстро растущего энергетического хозяйства Союза, которому, соответственно его техническому уровню, нужны были значительно более совершенные типы, что была огромная диспропорция между техническим уровнем производства реле и уровнем энергетики Союза. Неотложнейшей задачей являлось техническое перевооружение производственной базы релестроения.

Такое перевооружение и было произведено в 1933 г. На заводе ХЭМЗ для производства реле выделен отдельный цех, который был полностью реконструирован.

В целях возможно более быстрого удовлетворения спроса на реле была принята, по нашему мнению, единственная правильная тогда, линия на максимальное использование мирового технического опыта.

Уже к началу 1935 г. был наложен выпуск довольно разнообразной номенклатуры реле защиты и автоматики, что дало возможность почти полностью прекратить импорт этих аппаратов.

С 1935 г. начинается новый этап в развитии советского релестроения. Если до этого времени основной задачей коллектива релейщиков завода было внедрить в производство возможно большее число необходимых народному хозяйству типов реле, решив, в основном, эту задачу, мы начали критически оценивать иностранный опыт и искать свои собственные пути.

Не случайно поэтому, что именно после 1935 г. на заводе серьезно развертывается творческая работа коллектива релейщиков и создаются новые и в этом зачастую оригинальные конструкции реле. В результате этой работы уже в 1939 г. в производстве почти не остается ни одного из типов реле индукционной серии, внедренной ранее. Она полностью заменена новой более добротной и технически более совершенной. Вводится в производство совершенно новых типов реле защиты и автоматики.

Состояние производства реле в настоящее время показывает, что освоенная номенклатура реле защиты и автоматики (138 типов и 622 исполнения) дает возможность защитить многочисленные объекты энергетических систем и автоматизировать целый ряд процессов в энергетике и других областях народного хозяйства Союза.

Используя освоенную заводом номенклатуру защитных реле, можно осуществить: полную защиту генераторов при внутренних повреждениях и перегрузках; полную защиту 2- и 3-обмоточных трансформаторов (при этом имеется возможность осуществить как быстродействующую, так и замедленную дифференциальную защиту); полную защиту электродвигателей при внутренних повреждениях и перегрузках; полную защиту линий и сетей различной конфигурации при междуфазных замыканиях и замыканиях на землю.

Освоенная заводом номенклатура реле автоматики

и автоматического регулирования позволяет осуществить: автоматическую синхронизацию генераторов с постоянным углом или с постоянным временем опережения; автоматическое повторное включение; автоматическое регулирование напряжения, тока, мощности, скорости; контроль числа оборотов, направления вращения, давления газов и жидкости, скорости протекания жидкости; различные схемы автоматической сигнализации.

В номенклатуре завода имеется большая группа механических и электромеханических реле времени, позволяющих получить выдержки времени от 0,25 sec до 30 min.

На работе по созданию всей этой номенклатуры выросли квалифицированные кадры конструкторов и исследователей: тт. Ступель, Штрафун, Туллин, Бреслер, Плешко и др.

Было бы, понятно, совершенно неправильным делать вывод, что техника релестроения удовлетворяет уже сегодня полностью требованиям народного хозяйства СССР.

Наоборот, советское релестроение не догнало еще уровня технического развития энергетики и в целом ряде очень важных областей стоит гораздо ниже этого уровня.

В области защитных реле это в первую очередь относится к быстродействующим реле. Значение таких реле для нашей энергетики общеизвестно. Номенклатура защитных реле завода дает возможность осуществлять только балансную токовую быстродействующую защиту линий. Что касается быстродействующих направленных (в частности с высокочастотной блокировкой) и дистанционных защит, то завод делает сейчас только первые шаги в деле освоения необходимых для этого типов реле. Эта задача стоит перед заводом как одна из самых актуальных и неотложных и подлежит непременно решению в 1940 г.

Решение задачи — создать быстродействующие направленные и реактивные реле — завод стремится найти по линии применения индукционного принципа, так как такой путь дает возможность создать целую серию реле, что с точки зрения общности, а следовательно, и повторяемости в производстве деталей, чрезвычайно важно.

Что касается быстродействующих импедансных измерительных органов, то здесь по линии применения индукционного принципа завод удовлетворительного решения пока не нашел.

Мы думаем, что сможем решить эту задачу с помощью электронной техники, использовав как работы завода в этой области, так и работы других организаций Союза и отдельных лиц (в частности, инженеров Воскресенских).

Внедрение в производство комплекта реле направленной защиты с высокочастотной блокировкой открывает перед заводом новые возможности. На базе реле этого комплекта можно будет разработать и внедрить ряд комплектов защиты других объектов энергетической системы, а главное, внедрение этих реле должно серьезно подтянуть уровень технологий производства, пока еще довольно низкий.

Нам кажется, что после решения этой основной задачи техплана 1940 г. и конструктивного улучшения ряда массовых типов реле, уже освоенных производством, советское релестроение в части защитных реле будет находиться на уровне требований народного хозяйства и соответствовать современному уровню релейной техники.

Если в области защитной релейной техники завод достаточно ясно представляет себе пути развития и более или менее хорошо знает требования народного хозяйства Союза, то в области реле автоматики и автоматического регулирования такой ясности у завода нет.

Определяется это, с одной стороны, тем, что проектные научно-исследовательские организации и потребители не выработали еще четкой номенклатуры реле автоматики, нет еще грамотных технических условий на ряд устройств, и, с другой стороны, тем, что нет ясности в отношении специализации электромашиностроительных заводов Союза в области аппаратуры автоматики.

Возможно, что решения этого комплекса вопросов в полной мере сегодня еще нельзя требовать, учитывая, что область автоматики начала широко развиваться только в последнее время.

Нам кажется однако, что и при существующем положении руководящие органы союзной электропромышленности могли бы значительно более точно определить нужное для народного хозяйства направление работы завода, ликвидировав имеющийся сейчас зачастую совершенно ненужный и излишний параллелизм в работе заводов и других организаций в области автоматики. Для этого нужно, чтобы технический совет наркомата электропромышленности СССР не от случая к случаю, а систематиче-

ски направлял бы работу по автоматике, определяя специализацию своих заводов. Нужно, чтобы заводы в рамках своей специализации получали базовые (работами исследовательских институтов и опытом эксплоатации) технические условия.

Ликвидировать указанное положение можно в час скорее, чем когда-либо раньше, так как электропромышленность подчинена теперь одному наркомату.

Нам кажется, что наркомат электропромышленности должен в ближайшее время рассмотреть также вопрос о местоположении релейного производства с точки зрения его технологической общности с другими производствами завода ХЭМЗ.

Серьезным тормозом в развитии техники союзного релестроения является отсутствие в Союзе производства в заводском масштабе ряда крайне необходимых новых материалов. Это в первую очередь касается таких материалов, как гиперугольные диски и шайбы, провод с кембрикоизоляцией, различные профили железа армко и без кембрикоизоляцией, например, уже сейчас вышенной чувствительности и др.

За годы сталинских пятилеток создана промышленная база (пока единственная в Союзе) союзного релестроения, освоена большая номенклатура реле защиты и автоматики, а главное, на заводах выросли квалифицированные кадры релейщики достаточно хорошо понимающих стоящие перед ми задачи и готовых и дальше бороться за создания новых, надежных, нужных нашей стране реле.

Необходимо, чтобы этому коллективу были даны и большее внимание, и большая помощь

Новые задачи промышленности электроизоляционных материалов

В. С. КВАШНИН
Москва

В мае с. г. в Москве происходило расширенное совещание по электроизоляционным материалам, организованное Московским отделением Всесоюзного научного инженерно-технического общества энергетики и электросвязи совместно с Всесоюзным электротехническим институтом (ВЭИ) и отраслевым бюро технической информации Главэлектромашпрома НКЭП.

Совещанием были заслушаны и обсуждены некоторые общие вопросы: о новейших достижениях электроизоляционной техники и наших задачах (докл. Б. М. Тареев), о состоянии научно-исследовательских работ по электрической изоляции в сильноточной электропромышленности (докл. Ю. В. Корицкий) и о производственной базе по выпуску электроизоляционных материалов (докл. В. С. Квашнин), а также ряд специальных докладов по отдельным видам электроизолирующих материалов: сжатый газ, как высоковольтная изоляция (докл. Б. М. Вул), новые типы электроизоляционных лаков, эмалей, паст и компаундов (докл. К. А. Андрианов и В. И. Калитвинский), электроизоляционные нефтяные масла и их заменители (докл. А. К. Варденбург), качество электроизоляционных бумаг и пути его

улучшения (докл. Б. Г. Милов), пути усовершенствования волокнисто-бакелитовой слоистой изоляции (докл. И. А. Ярославский), использование слюды для изоляции электрических машин и сырьевые сурсы по слюде (докл. А. В. Трабский и Е. Я. лубчин).

Кроме того, были заслушаны доклады представителей организаций, эксплуатирующих электрооборудование, о требованиях к качеству изоляции электрических машин и аппаратов (докл. С. И. Ля и М. И. Трехов).

Большой интерес, проявленный к совещанию стороны работников электроизоляционного дела различных организаций, привлек к участию в работах свыше 200 чел. Кроме представителей заводов электропромышленности, в работах союзного приняли участие сотрудники научных организаций различных отраслей промышленности и институтов Академии наук СССР, представители смежных отраслей, являющихся поставщиками сырья, фабрикатов и готовых изделий для электроизоляции и др.

В журнале «Электричество» № 4 за 1940 г. были предварительно помещены статьи на темы

новых докладов, поставленных на данном совещании. Краткое изложение сущности некоторых других докладов, а также основных выступлений по докладам приводится в настоящей статье.

Б. Г. Милов в докладе «Качество электроизоляционных бумаг и картонов и пути его улучшения» привел ряд примеров достижений мировой техники в производстве электроизоляционных бумаг за последние годы и проанализировал существующее положение на этом участке в нашей бумажной промышленности.

Отдельные инофирмы подвергают целлюлозу, предназначенную для высоковольтных кабельных бумаг, дополнительной химической обработке и промывке чистой водой. Целлюлоза при этом получает исключительно однородной, что иллюстрируется практикой набухания волокон в медно-аммиачном растворе. Бумага, изготовленная из дополнительно обработанной целлюлозы, содержит незначительное количество водорастворимых солей, снижающих электрические характеристики бумаг.

Конденсаторные бумаги вырабатываются толщиной 6—7 μ с содержанием золы 0,05—0,07%.

Отдельные марки целлюлозы для электроизоляционных бумаг отличаются исключительной чистотой и имеют содержание сернистых соединений в пересчете на серу 0,0016% (марка «прима-крафт»).

Применяются более усовершенствованные методы испытания целлюлозы и бумаг: диаграммы механической прочности в зависимости от степени размоля, проводимость водного экстракта и др. Специализируется оборудование для производства изоляционных бумаг и картонов.

Наша бумажная промышленность имеет определенные достижения в освоении производства новых марок электрокартонов, конденсаторной сульфат-целлюлозной бумаги и др. Наряду с этим наши электрокартоны часто недостаточно однородны по толщине, отличаются пониженной механической прочностью в поперечном направлении. Большим недостатком кабельных бумаг является повышенное содержание в них электролитов. Для устранения этого недостатка требуется специальное химическое обессоливание воды. Конденсаторные бумаги не отличаются требуемой чистотой (наличие костры, известиевых вкраплений и др.). Малинская фабрика недостаточно оснащена специальным оборудованием. Успешные результаты опытных выработок конденсаторной бумаги толщиной 6—8 μ должны быть закреплены в производстве. Разработанный способ получения длинноволокнистой бумаги для микалены не внедрен до настоящего времени в производство.

Для улучшения качества наших бумаг и картонов должен быть разработан новый стандарт на высококачественные изоляционные целлюлозы, определены и внедрены наилучшие режимы дополнительной химической обработки целлюлозы. Следует развивать большую специализацию соответствующих производств, с оснащением их современным оборудованием, добиваясь улучшения качества производственной воды. Должны быть усилены научно-исследовательские работы по улучшению качества сырья, изучению влияния состава целлюлозы на ее свойства, изучению и стандартизации технологических процессов.

Исключительно большое значение в изоляции электрических машин имеет слюда. Вопросам наиболее рационального использования слюды в электромашиностроении и сырьевым ресурсам по слюде

были посвящены доклады А. В. Трабского и Е. Я. Голубчина. Производство слюдяной изоляции недостаточно оснащено оборудованием и весьма слабо механизировано. Различные заводы часто применяют различные технологические процессы. Отсутствуют единые нормали применяемости слюд для различных видов слюдяной изоляции. Все это часто приводит к нерациональному расходованию слюды, а иногда и к снижению качества изоляции.

Весьма существенным является вопрос максимального использования слюд меньших размеров и пониженной сортности. Актуальное значение имеют работы по замене слюды флогопитом в связи с уменьшением добычи флогопита. Работы эти показали полную возможность такой замены для коллекторных, прокладочных, формовочных и части гибких мikanитов. Наибольшую трудность замена флогопита представляет в маслослойных гибких мikanитах и микафолии.

Уменьшение дефицита слюды может быть достигнуто использованием регенерированной слюды из отходов мikanитовой изоляции. Для изоляции обмоток электрических машин напряжением до 3300 В вместо микафолия и мikanита может быть применена черная лакоткань. Это подтверждается в частности опытом американских фирм. В тех случаях, когда к изоляционному материалу класса В не предъявляется высоких требований в отношении электрических характеристик и влагостойкости, слюдяные материалы (прокладочный, формовочный, коллекторный мikanиты) могут быть заменены асbestosвыми композициями (асбест-бакелит, асбест-глифталь и др.).

Качество поставляемых расщипанных слюд за последние годы значительно снизилось: имеет место большая неравномерность по толщине, наличие большого количества краевых дефектов и трещин в пластинках слюды. Весьма важным является увеличение выпуска тонкорасщипанных слюд (толщиной 0,015 mm), применение которых позволяет увеличить электрическую прочность изоляции.

Состояние сырьевой базы слюдяных месторождений требует резкого улучшения. Действующие разработки слюды имеют совершенно недостаточную техническую оснащенность. Большинство операций при горных работах производится малопроизводительным ручным трудом. Геологоразведочные работы по изучению и подготовке новых месторождений слюды производятся в недостаточном объеме. Обработка слюды также в основном производится вручную с помощью весьма примитивных инструментов. Требуется проведение больших работ по механизации труда в слюдяной промышленности по расширению геологических разведок новых слюдяных месторождений.

Докладчики С. И. Лезнов и М. И. Трехов привели многочисленные конкретные примеры различных условий работы отдельных видов электрооборудования и данные о сроке службы изоляции в зависимости от этих условий. Ряд примеров свидетельствует о наличии случаев недостаточно тщательного и аккуратного наложения изоляции и сборки электрических машин на наших электромашиностроительных заводах, что влечет за собой преждевременное разрушение изоляции и выход электрооборудования из строя. Такие случаи были отмечены, в частности, на генераторах завода «Электросила», где имели место пробой изоляции обмотки статора на корпус вследствие механического повреждения изоляции при укладке обмотки. Недостаточная теп-

ностойкость, влагостойкость, маслостойкость и химическая стойкость изоляции часто также является причиной преждевременного выхода из строя электрооборудования.

Существенным недостатком многих типов наших электрических машин является то обстоятельство, что изоляция их не предусматривает специфики условий работы этих машин и не приспособлена к заранее заданным конкретным условиям. Изоляция электродвигателей, работающих в металлообрабатывающих цехах, подвергается быстрому разрушению под воздействием металлической пыли, масла и эмульсии. В литейных и термических цехах изоляция электродвигателей подвергается сильным перегревам и как следствие ускоренному старению. Древесная пыль в деревообделочных цехах, смешиваясь с маслом или увлажняясь за счет водяных паров воздуха, превращается в липкую массу, которая весьма трудно удаляется с обмоток электродвигателей, если эти обмотки не имеют специальных прочных глянцевых покрытий электроизоляционными лаками. Наличие древесной пыли ухудшает теплопередачу обмоток и приводит к перегреву изоляции последних.

К электропромышленности предъявляются большие требования со стороны потребителей электрооборудования, заинтересованных в улучшении качества изоляции электрических машин и аппаратов. Особо серьезного внимания заслуживают требования химической промышленности и военно-морского флота.

В процессе обсуждения поставленных докладов был сделан ряд весьма интересных дополнительных сообщений о работах по новым электроизоляционным материалам, проводимых в различных организациях.

В Всесоюзном институте минерального сырья проводятся работы по получению искусственных пленок из бентонитовой глины (типа «alsifilm»). Полученные пленки полупрозрачны, гнутся, электрическая прочность их близка к прочности слюды. Однако пока еще пленки эти недостаточно прочны и отличаются хрупкостью. Не всегда удается получить пленку заданной толщины.

Н. В. Александров сообщил о проведенных в ВЭИ работах по применению неорганических веществ для клейки мikanитов (эмаль-мikanит). Применение эмаль-мikanита для лазовой изоляции позволяет значительно сократить габариты и увеличить надежность работы электрической машины. Эмаль-мikanит обладает вдвое большей теплопроводностью по сравнению с обычным мikanитом.

Ввиду сложности технологического процесса изготовления эмаль-мikanит в настоящее время может быть применен лишь в ограниченных случаях. Необходимо вести работу по упрощению технологии

изготовления эмаль-мikanита и его удешевлению с тем, чтобы можно было применять этот материал в нормальных асинхронных двигателях.

В. Т. Ренне (Ленинградский индустриальный институт) сделал сообщение о работах по получению отечественного материала типа «опалвакс», названного «колеоваксом», представляющего собой продукт гидрогенизации касторового масла. Олеовакс имеет весьма высокую диэлектрическую проницаемость (10—20). Применение олеовакса для пропитки телефонных конденсаторов взамен парафина позволяет увеличить вдвое емкость конденсаторов при тех же габаритах или уменьшить габариты при сохранении емкости. К недостаткам олеовакса относится повышенное значение $\tg \delta$.

Касаясь общих вопросов развития электроизоляционной техники и производственной базы по электроизолирующим материалам ряд участников совещания, — член-корреспондент Академии наук СССР проф. **А. Ф. Вальтер**, **В. И. Калитвинский** (ХЭМЗ), **Л. А. Эпштейн** (завод АТЭ-1) и др. решительно высказались за необходимость возобновления работ существовавшего ранее бюро по электрической изоляции. Создание такого бюро при наркомате электропромышленности СССР должно обеспечить наилучшую координацию и направление работы все большего количества предприятий и организаций, работающих по электрической изоляции и входящих в систему различных наркоматов.

В. Т. Ренне остановился на проблеме кадров специалистов электроизоляционного дела. Если подготовка инженеров-электриков в области электроизоляционной техники в какой-то мере производится в ЛИИ и МЭИ, то вопрос о подготовке инженеров-химиков в этой же области до настоящего времени не решен. Необходимо уделить большое внимание этим важнейшим вопросам.

В. И. Калитвинский (ХЭМЗ), ссылаясь на работы ХЭМЗ и американские данные, выдвинул вопрос пересмотре в сторону повышения существующих норм перегревов обмоток электрических машин в зависимости от режимов работы и реальной загрузки этих машин. Опыты ХЭМЗ показали, что, например, для машины, рассчитанной на работу при температуре 110° в течение 10 лет, при фактическом нахождении ее под режимом нагрузки вдвое большей сложности 2 года, могут быть допущены значительно более высокие температуры, т. е. может быть повышено использование мощности машины.

В принятых резолюциях совещание, отметив некоторые достижения в электроизоляционной технике СССР за последние годы, указало на имеющееся большое отставание в ее развитии и сформулировало важнейшие задачи заводов электропромышленности, смежных производств, вузов и научно-исследовательских институтов в области электроизоляционных материалов.

Вопросы устройства и эксплуатации заземлений при всей их важности для различных отраслей народного хозяйства до сих пор являются недостаточно изученными. В утвержденных недавно «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей» вопросам заземлений посвящена двадцать первая глава. Эта глава предусматривает наличие специальных подробно разработанных правил устройства заземлений. Однако следует отметить, что затянувшаяся в течение длительного времени разработка проекта новых правил устройства заземлений не сопровождалась их широким обсуждением, что не способствовало внесению ясности в многие спорные вопросы.

Ниже помещаются: двадцать первая глава «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей» и статьи инж. А. И. Лурье «Искусственное повышение проводимости заземляющих устройств», инж. А. С. Грамматчикова «О новых правилах устройства заземлений» инж. В. П. Тихонова «Использование металлических конструкций здания, как заземления и рабочего нулевого провода», освещающие ряд актуальных вопросов устройства и эксплуатации заземлений.

В одном из номеров 1940 г. редакция имеет в виду поместить подготовляемую к печати статью об основных положениях проекта новых правил устройства заземлений.

РЕДАКЦИЯ

Из «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей»

Заземление

Общие положения

§ 699. Электрические устройства и части оборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, должны иметь защищенные заземляющие устройства, выполненные в соответствии с правилами устройства заземлений.

§ 700. Защитному заземлению на электрических станциях и подстанциях подлежат следующие части электрической установки:

- а) станины, кожухи электрических машин, трансформаторов, выключателей и других аппаратов, сажи электродвигателей;
- б) приводы электрической аппаратуры;
- в) вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения, кроме случаев, предусмотренных в «Руководящих указаниях по релейной защите»;
- г) каркасы распределительных щитов и щитов управления;
- д) арматура изоляторов закрытых и открытых распределительных устройств;
- е) металлические конструкции открытых подстанций, корпуса кабельных муфт, металлические оболочки кабелей и проводов.

§ 701. Рельсовые пути, находящиеся на территории электрических станций или подстанций, не заземляются. В местах выхода рельсовых путей за контур заземления должны устраиваться изолирующие стыки.

§ 702. В качестве заземлителей должны быть использованы специально сооружаемые искусственные заземлители и подземные водопроводные сети (естественные заземлители).

§ 703. При использовании естественных заземлителей должны быть обеспечены:

- а) полная безопасность эксплуатации водопроводной сети;
- б) надежное присоединение заземлителей, обеспечивающее их расчетное сопротивление при всех экс-

плуатационных условиях и при ремонтных работах.

§ 704. При использовании водопроводной сети в качестве естественного заземлителя водопроводная сеть должна быть надежно заземлена у потребителей или должны быть приняты иные защитные меры, предотвращающие вынос потенциалов (изоляция фланцевых соединений и т. д.).

§ 705. Величина сопротивления заземления должна обеспечивать в любое время года нормами напряжения прикосновения и шаговые напряжения при прохождении через заземление расчетного тока однополюсного замыкания на землю.

§ 706. Защитное заземление, выполненное общим для нескольких систем напряжений, должно удовлетворять требуемым напряжениям прикосновения и шага для всех присоединенных установок при расчетных токах любой из них.

§ 707. Заземляющие провода и полосы, проложенные в помещениях, должны быть доступны для осмотра и предохранены от механических и химических повреждений.

§ 708. Открыто проложенные провода и полосы защитных заземлений должны быть окрашены в черный цвет, а заземленные нулевые провода — в фиолетовый с черными полосками.

§ 709. В сетях напряжением до 1000 в, в которых применено зануление (присоединение корпусов токоприемников к заземленному нулевому проводу) или в которых имеется неизолированный нулевой провод, доступный для прикосновения, применения защитных заземлений без одновременного присоединения к нулевому проводу (без зануления) не допускается.

§ 710. Соединения заземляющей проводки должны обеспечивать надежный контакт. Присоединение заземляющих проводов к корпусам аппаратов, машин и т. д. должно осуществляться надежными болтовыми соединениями или сваркой.

Присоединения заземляющих проводов к заземлителям и все прочие соединения заземляющей проводки должны осуществляться сваркой.

§ 711. От каждого заземляемого элемента должен идти отдельный заземляющий провод непосредственно к заземлению или к сборной заземляющей полосе, соединенной с заземлителем.

Последовательное включение в заземляющий провод нескольких заземляющих частей установки запрещается.

§ 712. По условиям механической прочности и удобства соединений все заземляющие проводники

должны быть при круглом сечении не меньше 6 при меди, 12 мм^2 при железе, а при прямоугольном соответственно 20 и 24 мм^2 . При проводниках в виде ленты необходимо иметь толщину последней не менее 3 при надземной прокладке и не менее 4 при подземной прокладке.

Заземляющие проводники, проложенные под землей и недоступные для наблюдения, должны иметь сечение для меди не менее 25 мм^2 , а для железа не менее 48 мм^2 . Сечения заземляющих проводных полос должны быть достаточны в отношении механической устойчивости.

Эксплоатация заземляющих устройств

§ 713. При приемке заземляющего устройства должны быть предъявлены:

- утвержденные проекты;
- исполнительные чертежи и схемы заземляющего устройства;
- акт на подземные работы по укладке заземлений;
- протоколы испытаний заземлений.

§ 714. Для проверки состояния заземлений должны проводиться следующие испытания и осмотры:

- измерение сопротивлений заземления;
- проверка состояния наружной части заземляющей проводки;
- снятие кривых распределения потенциалов на подходах, определение напряжения прикосновения и шага;
- проверка состояния устройств, предотвращающих вынос опасного потенциала за пределы контура заземления, а также внесение потенциала в пределы заземляющего контура.

§ 715. Испытания заземления должны производиться методами, предусмотренными типовой «Инструкцией по проверке заземляющих устройств в установках высокого напряжения».

§ 716. На электрических станциях и подстанциях изменения сопротивлений заземления, проверка потенциалов и проверка состояния наружной части заземляющей проводки должны производиться не реже одного раза в год.

§ 717. На линиях передачи высокого напряжения измерения сопротивления заземления опор и отдельно стоящих молниеотводов должны производиться один раз в два года.

На участках линий передач с металлическими опорами, проходящими в населенных местах, должны определяться также напряжения прикосновения и шага.

§ 718. Испытания заземляющих устройств должны производиться в периоды наименьшей проводимости почвы: летом при наибольшем просыхании или зимой при наибольшем промерзании почвы.

§ 719. Помимо полных испытаний и осмотров заземлений должны производиться:

- проверка надежности присоединения зазем-

ленного оборудования после каждого ремонта этого оборудования;

б) проверка надежности присоединения временных заземлителей после каждого ремонта заземлителей;

в) проверка состояния пробивных предохранителей в сетях напряжением до 1000 в — ежемесячно при наличии предположения о срабатывании их.

§ 720. Результаты испытаний и осмотров заземлений должны оформляться актами.

§ 721. В установках с незаземленной нейтралью или нейтралью, заземленной через большое сопротивление, обслуживающий персонал обязан немедленно по обнаружении замыкания на землю припинить к отысканию возникшего замыкания и обезопасить его устранение в соответствии с инструкцией по отысканию замыкания на землю.

В таких установках должны быть установлены приборы для контроля изоляции с соответствующей световой и звуковой сигнализацией.

§ 722. В качестве временных заземлений должны применяться специальные переносные заземлители на расчетный ток замыкания на землю. Сечения проводников должны быть не менее 25 мм^2 (медь).

§ 723. Устройство временных заземлений и короток должно производиться надежно и с соблюдением мер предосторожности, предусмотренных правилами по технике безопасности.

§ 724. Каждое заземление, находящееся в эксплуатации, должно иметь паспорт, содержащий

- основные технические данные заземления;
- основные расчетные величины: сопротивление заземлению, расчетные токи, наибольшие напряжения прикосновения и шага с указанием объекта участка, к которым они относятся;

в) результаты осмотров и испытаний при приемке заземлений в эксплуатацию с указанием методов измерений и атмосферных условий при производстве испытаний и в период, предшествовавший испытаниям;

г) результат осмотра и испытаний заземлений в процессе эксплуатации;

д) изменения требований к заземлениям и изменение расчетных величин;

е) изменения, внесенные в устройства заземления, объем произведенных ремонтов и пр.

Искусственное повышение проводимости заземляющих устройств

А. И. ЛУРЬЕ

Ленинградский индустриальный институт

Практика показывает, что обеспечить безопасность и надежность электрических установок высокого напряжения, расположенных на грунтах с удельным сопротивлением больше $5 \cdot 10^4 \Omega \text{ см}$ (на песках, на скале) при помощи заземлений обычного типа, как правило, не удается. В этом случае приходится прибегать:

а) К глубинным заземлителям — заземлителям, расположенным в зоне грунтовых вод.

б) К выносным заземлителям — заземлителям, расположенным на участках с хорошо проводящим грунтом, находящимся на более или менее значительном расстоянии от защищаемой установки (в близлежащем болотце и т. п.).

в) К заземлителям с искусственно повышенной проводимостью, у которых в грунт, окружающий заземляющие электроды, искусственно введены влага и соли.

Первые два типа «необычных» заземлителей могут быть применены далеко не всегда, и их устройство зачастую связано с весьма большими техническими и экономическими трудностями, в то время как искусственная обработка грунта солями никаких существенных затруднений не вызывает.

Однако в большинстве случаев пригодными для практики могут быть признаны далеко не все способы обработки грунта, а только те, которые обеспечивают повышение проводимости заземляющего устройства по крайней мере в 10 раз и которые гарантируют сохранение такого повышения проводимости в течение не менее 3—5 лет.

Искусственная обработка грунтов в целях повышения проводимости заземляющих устройств применяется уже давно. В настоящее время существует ряд самых разнообразных способов такой обработки. Из них наибольшее распространение получили способы, основанные: на введении в грунт раствора соли; на введении в грунт соли в твердом виде; на введении в грунт относительно хорошо проводящих нерастворимых веществ (кокс, древесный уголь), не смешанных или смешанных с солью. Устройство заземлений этими способами показано на рис. 1; а — обработка раствором соли. В грунт через отверстия в трубе одновременно вводится 10—40 kg соли в виде насыщенного раствора; б — обработка твердой солью. В грунт у верхнего конца трубы закладывается около 40 kg соли, которая при укладке смачивается примерно 60 l воды; в — обработка смесью кокса с солью. В грунт у верхнего конца трубы закладывается около 1 m³ кокса, смешанного примерно с 30—40 kg соли.

Что касается эффективности этих способов обработки, то по этому вопросу существуют противоположные мнения — от утверждения, что эти способы пригодны почти во всех случаях, до утверждения, что они совершенно непригодны.

При этом последнее мнение обычно мотивируется тем, что заземлители с искусственно повышенной проводимостью, с одной стороны, якобы не поддаются даже самому приближенному расчету (как с точки зрения увеличения проводимости, так и с точкой зрения продолжительности действия), и так как,

с другой стороны, они, якобы, приводят к быстрому разрушению заземляющих электродов вследствие усиленной коррозии.

Столь резкая противоречивость мнений, повидимому, объясняется тем, что авторы при разработке своих способов не учитывали физических свойств обрабатываемых грунтов и находящихся в них почвенно-грунтовых вод и подходили к решению задачи чисто эмпирически, а зачастую и просто интуитивно.

Критическое изучение многочисленных опытных данных показывает, что лучшие из существующих способов обработки грунтов могут повысить проводимость заземляющих устройств в 2—8 раз (большие цифры относятся к грунтам с большим удельным сопротивлением) и что продолжительность действия обработки может достигать двух-трехлетнего срока только в грунтах достаточно плотных (глине, суглинках), в то время как в рыхлых грунтах (например песках) она составляет всего лишь несколько месяцев. Поэтому существующие способы обработки для песчаных грунтов совершенно непригодны. А это, в свою очередь, приводит к тому, что значительное количество установок, расположенных на песчаных грунтах, фактически является и негрозоупорными, и небезопасными. Такое положение вещей настоятельно требует разработки нового способа, удовлетворяющего требованиям эксплуатации. Совершенно очевидно, что новый рациональный способ может быть разработан только на основе глубокого изучения и учета физических свойств грунтов и почвенно-грунтовых вод, так как последние определяют электропроводность грунта, а в конечном итоге и проводимость заземляющего устройства.

Свойства грунтов. Нас особенно будут интересовать гидрологические свойства грунтов, т. е. способность их удерживать и пропускать через себя влагу.

На эти свойства прежде всего влияют механичес-

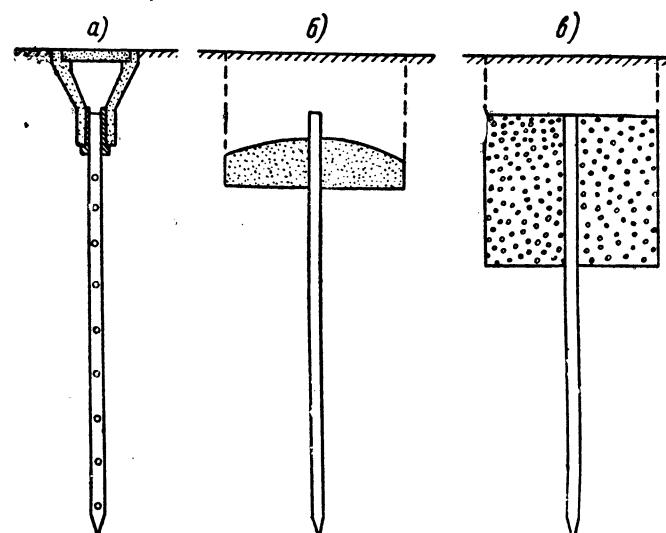


Рис. 1

ский, или, иначе говоря, гранулометрический состав грунта, его пористость и его водопроницаемость.

Под гранулометрическим составом грунта понимают процентное содержание в нем частиц различной крупности. От гранулометрического состава зависит суммарная поверхность частиц, находящихся в единице веса, которая в свою очередь определяет величину молекулярных сил, могущих удерживать влагу вокруг частиц грунта. От гранулометрического состава в значительной мере зависят также и пористость грунтов и их фильтрационные свойства. Ввиду этого в основу классификации грунтов положен именно его гранулометрический состав.

Следует различать классификацию частиц и классификацию грунтов.

Классификация частиц приведена в табл. 1.

Таблица 1

Наименование частиц	Размеры, м
Галька	100—60
Гравелистые	40—2
Песчаные	2—0,05
Пылеватые	0,05—0,005
Глинистые	<0,005

Сокращенная классификация грунтов приведена в табл. 2. Она в основном определяется содержанием в грунте глинистых частиц.

Таблица 2

Наименование грунта	Содержание глинистых частиц, %
Песчаный	До 3
Супесчаный	От 3 до 10
Суглинистый	" 10 " 20
Тяжелый суглинистый	" 20 " 30
Глинистый	>30

В табл. 3 приведены весьма характерные данные о поверхности частиц на один грамм веса.

Таблица 3

Наименование грунта	Удельная поверхность м ² /г
Песчаный	0,2
Супесчаный	6
Суглинистый	12
Тяжелый суглинистый	25
Глинистый	70

Пористость грунтов определяет количество влаги, которое может поместиться в грунте. Данные о пористости приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование грунта	Пористость, %
Пески	35—40
Суглиники	45
Глина	50
Торф	80
Инфузорная земля	90

С точки зрения способности грунтов пропускать через себя воду их делят на водопроницаемые, водоупорные и полупроницаемые.

Водопроницаемость грунтов характеризуется коэффициентом фильтрации, под которым понимают скорость фильтрации при градиенте напора, равном единице. Коэффициент фильтрации определяется не только гранулометрическим составом грунта и его пористостью, но и формой и взаимным расположением пор, а также наличием в нем набухающих глинистых частиц.

От фильтрации следует отличать способ просачивания, которое будет иметь место тогда, когда над грунтом нет свободной водной поверхности и когда не все поры между частицами заполнены водой. Скорость свободного просачивания примерно в 10—20 раз меньше скорости фильтрации при градиенте напора, равном единице.

В табл. 5 приведены данные о коэффициенте фильтрации и о скорости свободного просачивания для ряда грунтов. Эти данные частично заимствованы из литературы, а частично получены экспериментально.

Таблица 5

Наименование грунта	Коэффициент фильтрации, см/сек	Скорость свободного просачивания см/сек
Пески	5000—200	~100
Супески	~20	—
Суглиники	~5	~0,5
Глина	<0,1	—

Приведенные данные о грунтах показывают, что пески относятся к крупнозернистым грунтам, обладающим наименьшей удельной поверхностью и наибольшей водопроницаемостью, а глины, суглиники, черноземы — к мелкозернистым грунтам, обладающим большой удельной поверхностью и небольшой водопроницаемостью.

Свойства почвенно-грунтовых вод. Содержание влаги в грунте зависит от свойств грунта, количества выпадающих осадков, климатических условий рельефа местности и от времени года.

Влагу, содержащуюся в грунте, нельзя рассматривать как нечто однородное. Принято различать гигроскопическую, пленочную, капиллярную и витационную воду.

Под гигроскопической влагой понимаются молекулы воды, примикивающие непосредственно к частицам грунта. Когда эти молекулы образуют слойной одномолекулярный слой, то говорят, что влажность грунта равна максимальной гигроскопической.

Гигроскопическая влага может поглощаться грунтом непосредственно из воздуха силами молекулярного притяжения. Сила притяжения гигроскопической влаги к частицам грунта столь велика, что она может передвигаться только в парообразном состоянии.

Под пленочной водой понимается влага, обладающая относительно тонкую пленку поверхности гигроскопической воды, удерживаемую на грунте такими силами молекулярного притяжения. Эти силы же, чем для гигроскопической воды, но все же несравненно больше силы тяжести.

Силы молекулярного притяжения могут удерживать влагу вокруг частиц грунта водяную пленку тол-

определенной толщины, одинаковой для всех грунтов. Когда водяная пленка достигает наибольшей возможной толщины, говорят, что влажность грунта равна максимальной молекулярной влагоемкости, данные о которой приведены в табл. 6.

Таблица 6

Наименование грунта	Максимальная молекулярная влагоемкость %
Пески	2—3
Супески	5—8
Суглинки	8—16
Тяжелые суглинки	16—25
Глина	25—40

Пленочная вода может передвигаться и в жидким виде, но только под влиянием молекулярных сил. Пленочная вода будет передвигаться из слоев, где толщина пленки больше, к слоям, где она меньше, вне зависимости от влажности грунта. Передвижение будет происходить до тех пор, пока толщина пленки не выравнится.

Скорость передвижения пленочной воды зависит от плотности грунтов, от их влажности и от направления передвижения, но во всяком случае она значительно меньше, чем передвижение при свободном просачивании (от десятых до стотысячных долей мм/сутки).

Под капиллярной водой понимают влагу, которая следствие наличия в грунте тонких пор-капилляров поднимается с зеркала грунтовых вод в грунт на ту или иную высоту. Чем мелкозернистее грунт, тем больше высота капиллярного подъема.

Для песков она составляет 20—30 см, для суглинков — от 80 до 2 м, а для тяжелых глин до 10 м. Следует отметить, что под влиянием солей высота капиллярного подъема уменьшается.

Под гравитационной водой понимается влага, которая не может удерживаться в грунте силами молекулярного притяжения, вследствие уравновешенности последних гигроскопической и пленочной водой. Вследствие этого гравитационная вода должна передвигаться вниз под влиянием сил тяжести.

Таким образом гравитационная вода может иметь место только при влажности, превышающей максимальную молекулярную влагоемкость.

Распределение влаги в грунте. Если через колонну однородного грунта, опирающуюся на водяное ержало, фильтровать воду, то после прекращения фильтрации из колонны некоторое время будет происходить сток воды. После прекращения этого стока в грунте будет иметь место следующее распределение влажности.

В нижней части, соответствующей высоте капилляров подъема, будет иметь место повышение влажности, а выше этой зоны — влажность, соответствующая максимальной молекулярной влагоемкости.

Совершенно такое же распределение влажности будет и тогда, когда нижний конец колонны будет находиться не в воде, а в воздухе. Наличие в этом двух зон с большой влажностью объясняется тем, что на поверхности раздела грунт-воздух действуют силы поверхностного натяжения, которыедерживают в грунте некоторое количество гравитационной влаги.

Если же колонна будет состоять из неоднородного грунта, то после стекания воды будет иметь место распределение влаги, отличающееся от того, которое было в однородном грунте тем, что мелкозернистый грунт, находящийся в середине колонны, будет иметь влажность, превышающую его максимальную молекулярную влагоемкость. Это также объясняется наличием на поверхности раздела мелкозернистого-крупнозернистого грунта сил поверхностного натяжения, которые и будут удерживать в мелкозернистом грунте некоторое количество гравитационной влаги. Такая влага носит название подвешенной.

Весьма интересен вопрос о том, как происходит нарушение равновесия влаги в грунте. При добавлении в колонну грунта воды через некоторое время снизу начнется ее сток. Если до вливания дополнительной воды в колонне не было слоев с влажностью меньшей максимальной молекулярной влажности, то количество вытекшей воды будет равно количеству добавленной воды. Теперь спрашивается, является ли вытекающая влага той водой, которая была добавлена, или это вода, выжатая из нижних слоев.

Весьма тщательные исследования проф. А. Ф. Лебедева показали, что вытекающая влага является влагой, выжатой из нижних слоев грунта. При этом выжимание начинается только тогда, когда добавленная вода достигнет зоны повышенной влажности.

Если эта зона невысока и если грунт рыхл и крупнозернист, вытекание начнется тотчас же, как только вода дойдет до влажной зоны и будет продолжаться столько же времени, сколько продолжалось добавление воды. Если же толщина этой зоны значительна и если грунт мелкозернист, то стекание начнется не сразу, а через некоторый промежуток времени и будет продолжаться значительно дольше того времени, в течение которого происходило добавление воды.

Таким образом мелкозернистый грунт как бы регулирует вытекание из него гравитационной влаги, делая это вытекание более равномерным.

Приведенные данные о почвенно-грунтовых водах показывают, что мелкозернистые грунты по сравнению с крупнозернистыми имеют большую максимальную молекулярную влагоемкость, обладают большей высотой капиллярного подъема и, кроме того, регулируют вытекание из них гравитационной влаги.

Причины, делающие существующие способы обработки непригодными для песчаных грунтов. Рассмотрим картину движения влаги в песчаном грунте при обработке его раствором соли и солью в твердом виде.

Обработка грунта раствором соли¹. При введении раствора соли в грунт он сравнительно быстро заполнит поры между частицами грунта в некотором объеме, окружающем заземляющий электрод. Введение раствора делает влажность в указанном объеме значительно выше присущей ему максимальной молекулярной влагоемкости. Вследствие этого в грунте начинает происходить следующее передвижение влаги:

а) Часть введенного раствора, образующая гравитационную влагу, под влиянием силы тяжести начнет перемещаться вниз, при этом примерно через 2—3 дня она стечет в зону, лежащую ниже ниж-

¹ См. рис. 1, а.

него конца электрода, а в освобожденном от нее объеме грунта установится влажность, близкая к максимальной молекулярной влагоемкости.

б) При передвижении гравитационной влаги-раствора вниз пленочная вода, ранее находившаяся в объеме грунта, в который был введен раствор, сильно обогатится солью, что приведет к повышению удельной проводимости грунта. Это повышение удерживается даже после полного стекания гравитационной влаги-раствора. При этом следует иметь в виду, что по мере передвижения раствора вниз его концентрация будет уменьшаться и уже на уровне нижнего конца заземляющего электрода содержание соли в нем будет незначительным (около 5%). Таким образом гравитационная влага-раствор повышает проводимость преимущественно верхних слоев грунта, слабо сказываясь на проводимости слоев, лежащих ниже нижнего конца электрода.

в) После стекания гравитационной влаги пленочная вода, содержащая соль, из объема, по которому прошла гравитационная влага, будет выходить в окружающую среду до тех пор, пока не установится равновесие. Это приведет к значительному уменьшению количества влаги и соли около заземлителя, что в свою очередь вызовет постепенное понижение удельной проводимости грунта и соответствующее повышение сопротивления заземления.

В действительности нарастание сопротивления происходит гораздо интенсивнее, чем это вызывает выносом соли пленочной водой. Это объясняется попаданием в грунт жидких атмосферных осадков и талой воды, которые быстро вымывают соль, вынося ее в короткий срок в зону грунтовых вод. Вышеизложенным и объясняется, почему при обработке песчаного грунта раствором соли продолжительность действия обработки обычно не превышает 6—8 мес.

г) Что касается эффективности обработки (степень повышения проводимости заземления), то ее относительная незначительность (6—7) объясняется тем, что введенная в грунт соль попадает и некоторое время сохраняется преимущественно в объеме грунта, почти не выходящем за нижний конец электрода. Это равносильно увеличению диаметра электрода d , которое, как это видно из выражения (1), определяющего сопротивления трубчатого заземлителя, не может дать заметного снижения сопротивления:

$$R = \rho \frac{l_n \left(\frac{4l}{d} \right)}{2\pi l}, \quad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление грунта;

l — длина электрода;

d — диаметр электрода.

Вместе с тем выражение (1) также показывает, что значительное уменьшение сопротивления заземления может быть получено лишь путем увеличения длины электрода l , что в свою очередь может быть достигнуто посредством сильного увеличения проводимости грунта под заземляющим электродом.

Обработка грунта твердой солью². В этом случае вода, введенная в соль при ее укладке, образует раствор, который очень быстро стекает в естественный грунт, создавая в объеме грунта, примыкающем к заземляющему электроду, условия, близкие к имевшимся в рассмотренном выше случае обработки раствором соли.

Вследствие этого в рассматриваемом случае и

картина передвижения влаги и рассасывания соли будет почти такой же, как и при обработке грунта раствором соли.

Однако между способами обработки раствором соли и твердой солью имеется и существенное различие, которое заключается, во-первых, в том, что образовавшийся раствор соли не будет насыщенным, а во-вторых, в том, что выпадающие осадки проходя через запас твердой соли, его постепенно растворяют, а созданный при этом раствор, проходя в грунт, частично компенсирует происходящую убыль соли из грунта.

Опыты и подсчеты показывают, что в условиях Ленинграда, где в год в среднем выпадает около 650 мм осадков, весь запас соли будет растворен примерно через 10 мес. По истечении этого срока дождевая и талая вода будет уже уменьшать содержание соли в грунте, как это имело место при обработке грунта раствором соли.

Таким образом при применении твердой соли продолжительность действия обработки будет несколько выше, чем при обработке раствором соли, но же она недостаточна для практики.

Что касается эффективности обработки, то действие того, что в рассматриваемом случае соль попадает в объем грунта, несколько меньший, нежели при обработке раствором, то она будет еще меньше. т. е. повышение проводимости заземления будет меньше шестикратной величины.

Пути устранения недостатков существующих способов обработки. Из изложенного выше следует, что недостатки существующих способов искусственного повышения проводимости заземляющих устройств (недостаточная эффективность обработки, незначительная длительность действия обработки) объясняются прежде всего тем, что большая часть введенного в грунт раствора соли располагается преимущественно в объеме грунта, окружающего заземляющий электрод, и тем, что этот раствор вымывается из грунта весьма быстро.

Изучение свойств грунтов и почвенно-грунтовых вод показало, что для устранения этих недостатков следует заземляющий электрод и запас пред назначенной для обработки соли поместить не в естественный грунт (песок), а в относительно плотный и относительно хорошую проводящую среду с достаточно большой влагоемкостью и достаточно высоким коэффициентом фильтрации.

Искусственной средой, удовлетворяющей этим требованиям, с успехом могут служить мелкозернистые грунты, как, например, легкие и средние глиники, садовая или огородная земля, жирные почвы, обладающие большой влагоемкостью (~20%).

При окружении заземляющего электрода искусственно увлажненным слоем мелкозернистого грунта, смешанного с твердой солью, во-первых, будут созданы условия, устраивающие быстрое растворение и вымывание соли, как потоками гравитационной воды, так и водой, передвигающейся под влиянием молекулярных сил. Во-вторых, образовавший раствор соли будет проникать преимущественно в объем грунта, расположенный под заземляющим электродом, что равносильно удлинению электрода, вызывающему значительное уменьшение сопротивления заземления.

Эти выводы вытекают из рассмотрения картины распределения и передвижения влаги-раствора, которая при указанном способе обработки будет иметь следующий вид:

² См. рис. 1, б.

а) Влага, введенная в смесь мелкозернистого грунта с солью при ее укладке вокруг заземляющего электрода, с одной стороны, создает влажность, превышающую максимальную молекулярную влагоемкость мелкозернистого грунта, а с другой стороны, растворяет достаточно большое количество соли, образуя при этом почти насыщенный раствор.

б) Часть этой избыточной влаги вместе с содержащейся в ней солью под влиянием силы тяжести будет весьма медленно передвигаться вниз³, постепенно вытекая из мелкозернистого грунта в песок. Однако передвигаться вниз будет далеко не вся гравитационная влага. Это объясняется тем, что в нижней плоскости раздела мелкозернистый грунт-песок образуются силы поверхностного натяжения,держивающие в мелкозернистом грунте часть гравитационной влаги.

Таким образом в мелкозернистом грунте будет иметь место так называемая подвешенная вода, что в свою очередь приводит к тому, что влажность мелкозернистого грунта будет значительно выше присущей ему максимальной молекулярной влагоемкости.

в) При последующем проникновении в мелкозернистый грунт некоторого количества воды (дождевой или талой воды), ранее установившееся в нем равновесие будет нарушено, и из мелкозернистого грунта вытечет в находящийся под ним песок примерно такое же количество влаги, какое поступило в мелкозернистый грунт после установления равновесия.

Так как при равновесии влажность мелкозернистого грунта была значительно выше максимальной молекулярной влагоемкости, то вытекающая влага не будет водой, попавшей в него дополнительно. Это будет влага, выжатая создавшимся гидростатическим давлением из нижних слоев мелкозернистого грунта. Вследствие этого вытекание влаги начнет-ся значительно более короткий промежуток времени, чем это требуется для прохождения воды через весь столб мелкозернистого грунта.

Таким образом вода, попавшая в мелкозернистый грунт через его верхнюю поверхность, через некоторый промежуток времени вызовет вытекание из нижней поверхности почти такого же количества влаги⁴, содержащей соль в концентрации, близкой к насыщению. В свою очередь вновь попавшая в мелкозернистый грунт вода обогатится находящейся там солью.

г) Так как в рассматриваемом случае влажность мелкозернистого грунта больше присущей ему максимальной молекулярной влагоемкости, то при наличии соответствующих условий⁵ может иметь место передвижение пленочной воды с содержащейся в ней солью в окружающий песок.

Однако вследствие того, что применяемый мелкозернистый грунт обладает большой плотностью, а движение пленочной воды имеет направление из плотного грунта в относительно рыхлый (песок) скорость перемещения пленочной воды будет значительно меньше, чем это имело бы место, если бы мелкозернистый грунт для обработки не применялся.

³ Вследствие большой плотности мелкозернистого грунта скорость передвижения влаги будет меньше 0,5 см/сутки.

⁴ Часть дополнительно добавленной воды может пойти на покрытие потери влаги из верхних слоев грунта, вызванной испарением и передвижением пленочной воды.

⁵ При условии, что влажность окружающего песчаного грунта будет меньше присущей ему максимальной молекулярной влагоемкости.

ся. В тех же случаях, когда влажность окружающего песчаного грунта равна или больше присущей ему максимальной молекулярной влагоемкости⁶, передвижения пленочной воды вообще не будет.

д) Вне зависимости от влажности окружающей среды, из мелкозернистого грунта в песок будет происходить диффузия соли. При этом вследствие большой плотности мелкозернистого грунта ее скорость будет значительно меньше, чем это имело бы место, если бы он отсутствовал.

е) В отличие от старых способов обработки в настоящем случае вынос раствора соли будет происходить почти полностью в объем песка, лежащий под мелкозернистым грунтом. Так как при этом будет иметь место почти насыщенный раствор соли ($p \approx 20\%$) и влажность песка будет не меньше 10%, то слои песка, лежащие непосредственно под мелкозернистым грунтом, должны иметь весьма небольшое удельное сопротивление (порядка 200 Ω см). Однако по мере углубления содержание соли в рассматриваемом объеме песка будет постепенно уменьшаться, так как часть соли, находящейся в движущейся вниз гравитационной влаге, будет задерживаться вышележащими слоями песка и рассасываться в окружающую среду в результате диффузии. Вследствие этого с углублением удельное сопротивление слоев объема песка, лежащего под мелкозернистым грунтом, хотя и незначительно, но все же будет повышаться.

Новый способ обработки (способ автора). При разработке нового способа искусственного повышения проводимости заземляющих устройств ставилась задача путем соответствующей обработки добиться повышения проводимости заземления не менее чем в 10 раз и притом с тем, чтобы достигнутое повышение удерживалось в течение значительного срока — не менее, чем в течение пяти лет.

Новый способ обработки базируется на изложенных выше принципах, позволяющих, с одной стороны, устранить быстрое растворение применяемой для обработки соли и быстрое вымывание раствора этой соли, а с другой стороны — создать под электродом призму естественного грунта с очень большой проводимостью.

В естественном грунте (песке) вырывается котлован сечением около 1×1 м и глубиной, равной или несколько большей длины заземляющего электрода.

В этот котлован по его оси устанавливается трубчатый заземляющий электрод с наружным диаметром около 4 см и длиной 2—2,5 м, нижний конец которого остается открытым, а верхний закрывается пробкой. После установки электрода котлован до половины высоты засыпается смесью мелкозернистого грунта (суглинок, огородная земля, чернозем) с большим количеством поваренной соли. Эта смесь обильно смачивается водой (примерно 100 л) и утрамбовывается.

Общий вид заземления, устроенного указанным способом, приведен на рис. 2.

Выбор рода мелкозернистого грунта, рода соли и ее количества, а также габаритов котлована и способа расположения в нем мелкозернистого грунта и соли обосновывается нижеследующими соображениями.

⁶ Наблюдения показывают, что в песчаных грунтах в условиях Ленинграда влажность, меньшую максимальной молекулярной влагоемкости, могут иметь слои грунта, находящиеся на глубине до 1 м и притом в летние месяцы и при отсутствии дождей.

отвечает содержание 56 kg соли на 1 м³ грунта.

Что касается обеспечения высокой проводимости призме песчаного грунта, находящейся под мелкозернистым грунтом, то, полагая, что эта призма имеет сечение 1 × 1 м и высоту около 3 м и что ее влажность составляет около 20% при концентрации 10%⁷, содержание в ней соли должно быть равно 120 kg.

Полученные выше цифры дают возможность ориентировочно подсчитать количество соли, необходимое на один заземляющий электрод. Это количество составляет 176 kg.

Однако следует иметь в виду, что такое количество соли должно находиться в растворенном виде, если можно так выразиться, быть в работе.

Совершенно очевидно, что количество твердой соли, вводимой в мелкозернистый грунт, должно быть больше 176 kg, так как необходим запас соли для покрытия ее убыли от выноса в окружающую среду. Специальные подсчеты показали, что в условиях Ленинграда из мелкозернистого грунта ежегодно будет выноситься около 13 kg соли. Таким образом при создании запаса на 10 лет в мелкозернистый грунт, помимо указанных выше 176 kg, должно быть дополнительно введено еще 130 kg соли и общее количество соли на один трубчатый заземляющий электрод должно быть порядка 300 kg.

Размеры котлована и расположение в нем мелкозернистого грунта и соли. При выборе размеров котлована приходится исходить из надобности поместить в нем объем мелкозернистого грунта, который содержит в себе влагу и соль в количестве необходимом для образования достаточно мощной призмы песчаного грунта с высокой проводимостью и для обеспечения достаточной термической устойчивости заземления. Помимо этого, при выборе горизонтальных размеров котлована приходится учитывать необходимость иметь некоторые минимальные размеры, позволяющие вырыть котлован глубиной в 2—2,5 м.

Размером, удовлетворяющим оба эти требования является 1 × 1 м. Таким образом котлован должен иметь размер 2,5 × 1 × 1 м.

Из изложенного выше следует, что мелкозернистый грунт должен быть расположен в котловане так, чтобы он доходил до нижнего конца заземляющего электрода. При этом возникает лишь вопрос: следует ли мелкозернистый грунт укладывать самой поверхности земли. Нижеследующие сообщения показывают, что этого делать не следует. При укладке мелкозернистого грунта до самой поверхности земли прежде всего из него, как из гранита с большой плотностью, испарялось бы большее количество влаги, а это привело бы к подсушиванию его верхних слоев и к подъему к ним влаги снизу (для последующего испарения), что в засушливые годы в свою очередь привело бы к снижению влажности всего объема мелкозернистого грунта до его максимальной молекулярной влагоемкости и ниже. С другой стороны, при укладке мелкозернистого грунта до поверхности земли, он в своей верхней части соприкасался бы со слоями песка, а гущими иметь влажность меньше присущей ей максимальной молекулярной влагоемкости, что привело бы к передвижению пленочной влаги и содержащейся в ней соли из мелкозернистого грунта в окружающую среду. И, наконец, относительно

⁷ Приведенные цифры подтверждаются как расчетными, так и опытными данными.

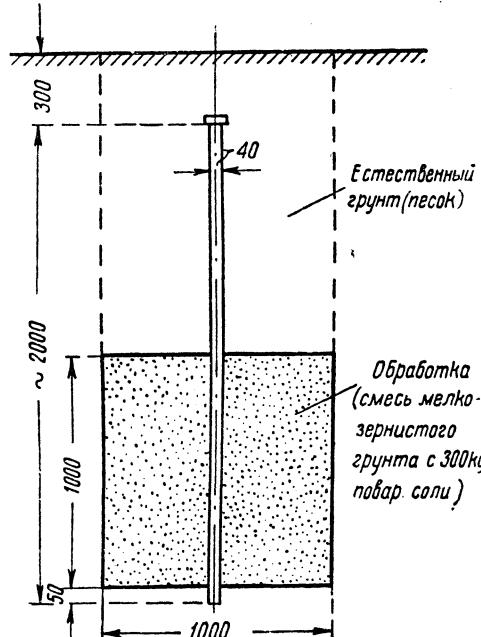


Рис. 2

Выбор рода мелкозернистого грунта. Выбор в качестве мелкозернистого грунта суглинка, огородной земли или чернозема, а не тяжелых глин, обладающих еще большей мелкозернистостью и влагоемкостью, объясняется тем, что последняя обладает таким малым коэффициентом фильтрации, при котором передвижение гравитационной воды практически происходит не будет, что в свою очередь исключит подачу соли в песок, находящийся под заземляющим электродом.

С интересующей нас точки зрения свойства суглинка, огородной земли и чернозема настолько близки друг к другу, что отдать предпочтение кому-либо из них затруднительно.

Род и количество соли. Пригодной для повышения проводимости заземляющих устройств можно считать такую соль, которая достаточно хорошо растворяется в воде, раствор которой имеет большую проводимость, которая не вызывает сильной коррозии железных заземляющих электродов и притом недефицитна и недорога.

Сравнение указанных свойств ряда солей (NaCl , CuSO_4 , FeSO_4 , MgSO_4 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 и CaCl_2) показало, что поваренная соль за исключением способности вызывать несколько повышенную коррозию обладает значительно лучшими показателями, чем другие соли.

Так как опыты показывают, что увеличение коррозии электродов от присутствия поваренной соли практически мало ощущимо, то можно считать, что поваренная соль является наиболее приемлемой для повышения проводимости заземляющих устройств.

К решению вопроса о количестве соли следует подходить, исходя из того, что оно должно быть во всяком случае не меньше, чем это требуется для обеспечения условий, при которых гравитационная влага-раствор, находящаяся в мелкозернистом грунте, не замерзала бы; для создания в лежащей под мелкозернистым грунтом призме песчаного грунта очень высокой удельной проводимости.

Подсчеты показывают, что в условиях средней полосы европейской части СССР для устранения замерзания гравитационной влаги последняя должна содержать соль с концентрацией 0,8 грамм-молекул на 1000 g растворителя. При влажности мелкозернистого грунта около 60% такой концентрации со-

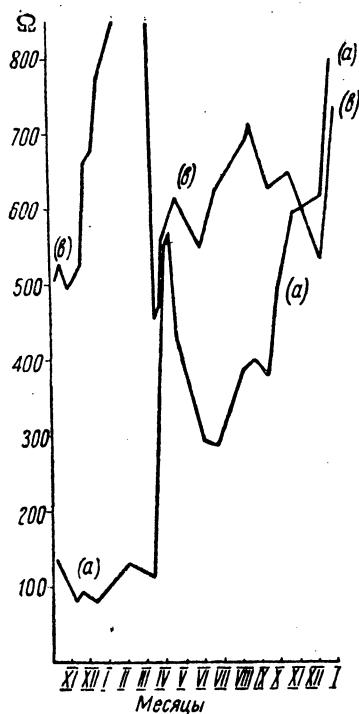


Рис. 3

большая влажность верхних слоев песчаного грунта и незначительная проводимость делают верхнюю часть электрода и окружающий его мелкозернистый грунт мало эффективным в создании проводимости заземляющего устройства.

Опыты, произведенные в естественных условиях, показывают, что при расположении мелкозернистого грунта до середины и до верха котлована, сколь бы ни существенного различия в сопротивлении заземления не наблюдается. Это позволяет нам считать, что мелкозернистый грунт следует укладывать в дна котлована примерно до половины его высоты.

Экспериментальная проверка нового способа. Для проверки в естественных условиях нового способа искусственного повышения проводимости заземляющих устройств, расположенных в песчаных грунтах, летом 1936 г. на территории Ленинградского индустриального института был устроен ряд (шт.) опытных одиночных трубчатых заземлителей, обработанных как старыми способами, так иенным выше способом автора, а также ряд небработанных контрольных заземлителей.

Участок, на котором расположены опытные и контрольные заземлители, представляет собой почвенно-горизонтальную площадку. Грунт этой площадки — средне- и крупнозернистый полевошпатовый щебек в слое мощностью до 20 м со средним удельным сопротивлением порядка $2 \cdot 10^5 \Omega \text{ см}$. При этом первый горизонт грунтовых вод расположен в глубине 3,5—5,5 м.

Как опытные, так и контрольные заземлители подвергались следующим испытаниям.

Регулярно производилось измерение сопротивления заземления с увязкой полученных результатов с температурой атмосферы и почвы, так и с количеством выпавших жидких осадков и со снежным покровом.

Производилось определение распределения потенциалов на поверхности земли вокруг заземлителей. Вокруг заземлителей было произведено определение удельного сопротивления песка и мелкозернистого грунта на разных глубинах⁸. При этом полу-

ченные результаты увязывались с влажностью и гранулометрическим составом, которые определялись попутно с измерением удельного сопротивления.

Результаты измерения сопротивления опытных и контрольных заземлителей представлены в виде кривых, приведенных на рис. 3 и 4. При этом на рис. 3 приведены данные для заземлителя, обработанного старым способом⁹ (кривая a) и для расположенного около него необработанного контрольного заземлителя (кривая b). На рис. же 4 — для заземлителя, обработанного способом автора (кривая c) и для расположенного в 2,5 м от него необработанного контрольного заземлителя (кривая d).

Эти данные, с одной стороны, подтверждают не-пригодность старых способов обработки для песчаных грунтов, а с другой стороны, показывают, что при обработке новым способом примерно через 6 мес. после обработки сопротивление опытного заземлителя опускается до величины 12—13 Ω, которая затем остается стабильной, несмотря на изменения атмосферных условий и резкие изменения сопротивления контрольных заземлений. При этом величина отношения сопротивления контрольного заземления к сопротивлению опытного заземления (коэффициент эффективности обработки) колеблется от 25 до 50.

Другие опытные заземлители, обработанные по новому способу, но расположенные на другом участке в более сухом песчаном грунте с большим удельным сопротивлением, показали несколько большее сопротивление заземления (порядка 60—70 Ω), однако при этом стабильность сопротивления и коэффициент эффективности обработки остался таким же, как и для указанного выше заземлителя.

Измерения удельного сопротивления образцов грунтов, вынутых из объема, окружающего заземлитель, обработанный по новому способу, показали наличие под мелкозернистым грунтом призмы естественного грунта (песка), сильно обогащенного раствором соли и обладающего весьма малым удельным сопротивлением (200—250 Ω), в то время как удельное сопротивление песка, примыкающего к боковым граням мелкозернистого грунта, составляет около $1 \cdot 10^5 \Omega \text{ см}$ и более.

Таким образом опытные данные, полученные в естественных условиях, подтверждают сделанные выше предположения о характере распределения

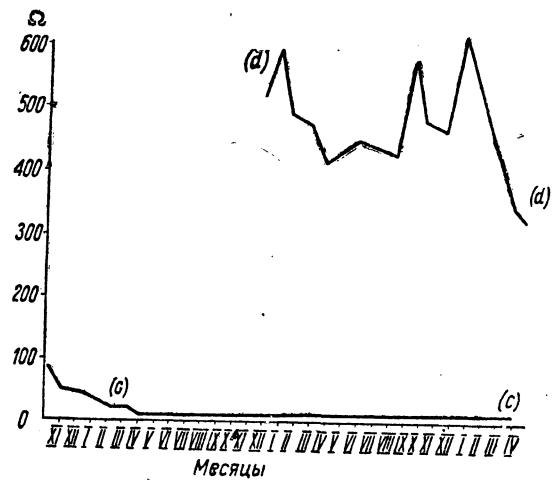


Рис. 4

⁹ 60 kg твердой соли на один трубчатый заземлитель.

влаги-раствора, о ее медленном и равномерном передвижении вниз почти исключительно по сечению мелкозернистого грунта, а также об образовании под заземляющим электродом призмы естественного грунта, обладающего весьма малым удельным сопротивлением.

Распределение потенциалов вокруг заземлителей. Теоретические соображения, полностью подтвержденные нашими экспериментальными исследованиями, проведенными в естественных условиях, показали, что распределение потенциалов на поверхности земли вокруг заземлителей, обработанных по новому способу, является более плавным, чем у заземлителей, обработанных старыми способами.

Как известно, более плавное распределение потенциалов сказывается положительно на величинах напряжения прикосновения и шага и отрицательно — на коэффициенте использования сложного заземления. Однако для заземляющих устройств с искусственно повышенной проводимостью некоторое уменьшение коэффициента использования существенного значения не имеет, так как достигнутое искусственной обработкой снижение сопротивления в десятки раз перекрывает увеличение сопротивления, вызванное усилием взаимного экранирования электродов.

Коррозия электродов в заземляющих устройствах, обработанных по новому способу. Как известно, железные неоцинкованные электроды в необработанных заземляющих устройствах подвергаются действию коррозии весьма незначительно; при этом образовавшийся на электродах слой продуктов коррозии не приводит к сколь-нибудь заметному увеличению сопротивления. Последнее объясняется тем, что продукты коррозии имеют удельное сопротивление меньше удельного сопротивления естественного грунта.

Исходя из электрохимической теории коррозии, были основания предполагать, что железные электроды, помещенные в грунт, — содержащий большое количество соли и влаги, что и имеет место при искусственном повышении проводимости заземляющих устройств, — будут подвергаться более интенсивной коррозии. Однако проведенные опыты (черная газовая труба $d = 1\frac{1}{4}$ " и $l = 2$ м находилась в течение 2,5 лет в котловане размером

$1 \times 1 \times 2$ м, засыпанном смесью песка с морской солью¹⁰) не подтвердили эти опасения. Тщательный осмотр опытного электрода показал, что он покрыт слоем окислов толщиною всего лишь в 2—3 мм и что никаких заметных разрушений стенок электрода не имеется.

Ожидать усиления коррозии в дальнейшем также не приходится, так как образовавшийся на железе слой окислов, как это показывают многочисленные опыты ряда авторов, значительно замедляет дальнейшую коррозию. Таким образом, при устройстве заземлений, обработанных по новому способу опасаться усиленной коррозии не следует.

Выводы. 1. Произведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что новый способ обработки, разработанный с учетом физических свойств грунтов и законов передвижения поверхностно-грунтовых вод, дает возможность добиться искусственного повышения проводимости заземляющих устройств, расположенных в песчаных грунтах примерно в 25 раз, и что достигнутая проводимость сохраняется в течение не менее трех лет (длительность наблюдения). При этом есть все основания предполагать, что продолжительность действия обработки будет значительно больше указанного срока.

Таким образом новый способ обработки удовлетворяет требованиям практики и может быть применен в самых ответственных случаях.

2. Сравнительно ограниченное число имеющихся распоряжений автора опытных заземлителей, обработанных по новому способу, еще не позволяет окончательно установить расчетный коэффициент эффективности обработки. Для этого необходимо устроить несколько десятков опытных заземлений разных пунктах СССР и вести за ними регулярные наблюдения в течение достаточно продолжительного срока.

3. Однако в необходимых случаях уже теперь возможно рекомендовать применять новый способ повышения проводимости заземляющих устройств, расположенных в песчаных грунтах, считая при этом, что он дает снижение сопротивления заземления примерно в 10 раз и что продолжительность действия обработки будет около трех лет.

¹⁰ При этом содержание соли составляло 25% от веса песка.

О проекте новых правил устройства заземлений¹

А. С. ГРАММАТЧИКОВ

Москва

Основной исходной величиной при проектировании защитных заземляющих устройств является напряжение прикосновения — напряжение, под которым может оказаться человек, прикасающийся к части электрической установки, нормально не находящейся под напряжением, но попавшей под напряжение в результате аварии. Принимаемое в качестве расчетного напряжение прикосновения должно исключать всякую возможность поражения током. Обращаясь к данным статистики, мы видим, что хотя и не вполне безопасными, но во всяком случае не

смертельными являются напряжения, не превышающие 40 V; конечно, при некоторых, особенно благоприятных условиях ожоги возможны и при напряжениях ниже 40 V.

Минимальное напряжение прикосновения — 65 V, предлагаемое проектом «Правил устройства заземлений в установках, работающих при напряжении ниже 1000 V», и регламентируемое действующим в настоящее время «Руководящими указаниями для наиболее неблагоприятных условий неприема». Прежде всего при напряжениях порядка 65 V статистика ежегодно отмечает несчастные случаи, нередко со смертельным исходом. В нашем раз-

¹ В порядке обсуждения. Ред.

режении имеется фактический материал, указывающий, что, например, с 1 января 1937 г. по 1 июля 1938 г. в Москве было зарегистрировано 6 случаев поражения током при напряжении 65 V, сопровождавшихся ожогами, потерей сознания и т. п.; эти случаи имели место в самых разнообразных условиях при производстве сварочных работ.

Также необосновано соображение проекта «Правил» (§ 33) о том, что при напряжении 220/127 V допускаемое напряжение прикосновения должно быть 40 V, а при напряжении 380/220 V — 65 V. Опасность для человека, прикасающегося к корпусу прибора, определяется не рабочим напряжением, а напряжением прикосновения. Если напряжение 65 V опасно при рабочем напряжении 220/127 V, то при тех же свойствах производственного помещения оно столь же опасно и при рабочем напряжении 380—220 V.

Не менее важен вопрос о выборе напряжения прикосновения, обеспечивающего безопасность установок так называемого высокого напряжения или по новой терминологии установок, работающих при напряжении выше 1000 V. Действующие «Правила» регламентируют основное напряжение прикосновения 150 V для установок высокого напряжения совершенно независимо от условий их эксплоатации. По нашему же мнению, именно условия эксплоатации являются решающим фактором при выборе напряжения прикосновения, как это, впрочем, считается проектом новых «Правил».

При определенных условиях как действующие «Руководящие указания», так и проект «Правил» допускают значительное увеличение расчетного напряжения прикосновения путем деления основного напряжения прикосновения на соответствующие коэффициенты прикосновения, могущие изменяться в пределах от 0,2 до 0,75 (§ 26 проекта «Правил»). Таким образом получены эти коэффициенты и к каким конструкциям заземляющих устройств они относятся, из пояснения к § 26 проекта не вполне ясно. Положение это возражений не встречает. Однако, буквально понимая соответствующие пункты «Руководящих указаний», до сего времени нередко считают, что независимо от специфических свойств производственных помещений, где располагаются заземляемые части электрических установок, независимо от условий эксплоатации и от большей или меньшей вероятности и длительности прикосновения к ним не только квалифицированных, но и неквалифицированных работников, расчетное напряжение прикосновения может быть 150 V, даже при формально высоких напряжениях 380 и 500 V. Мы уже не говорим о выборе такого напряжения прикосновения при напряжениях 3000 и 6000 V.

При таких напряжениях прикосновения опасность может оказаться вполне реальной для расположения высоковольтных приводных электродвигателей в специальных запертых помещениях, которые в ряде случаев, конечно, совершенно неправильно относятся к числу замкнутых электромашинных помещений (причем самые установки неправильно относятся к числу установок без длительного прикосновения). Неверно это потому, что высоковольтные электродвигатели, служащие для привода крупных производственных механизмов, подобных прокатным станам, шаровым мельницам, вентиляторам и т. п., почти всегда имеют металлическое соединение с исполнительными механизмами с помощью редукторов или жестких металлических муфт. Благодаря этому при повреждении изоляции электродвигателя одновре-

менно с его корпусом под напряжение попадают все части производственного механизма, прикосновение к которым может оказаться опасным. Поэтому в условиях работы фабрично-заводских установок напряжение прикосновения должно выбираться одинаковым при всех напряжениях так, чтобы оно не превосходило безопасной величины 40 V. Эта точка зрения более или менее разделяется проектом новых «Правил», где § 22 для некоторых помещений регламентирует напряжение прикосновения 65 V, независимо от рабочего напряжения.

Чтобы особенно подчеркнуть недопустимость напряжения прикосновения 65 V и выше в производственных помещениях, следует вспомнить никем не оспариваемое положение о применении исключительно по соображениям безопасности напряжения 36 V для местного освещения станков, несмотря на то, что для этого приходится устанавливать дорогостоящие понизительные трансформаторы, нередко на каждом станке. На том же станке, на котором располагается лампа, работающая при напряжении 36 V, монтируется и приводной электродвигатель, работающий, например, при напряжении 500 V и имеющий защитное заземление, рассчитываемое в соответствии с проектом «Правил», исходя из напряжения прикосновения 65 V или даже 150 V. Следовательно, в момент аварии корпус электродвигателя, металлически соединенный с ним станок и соединенная со станком арматура лампы для местного освещения (хотя и работающей при напряжении 36 V) окажутся под опасным напряжением по отношению к земле. Спрашивается, какой смысл вводить напряжение 36 V для местного освещения, если напряжение прикосновения составляет 65 или 150 V?

Наконец, соображения о значении возможного времени прикосновения к находящимся под напряжением частям, излагаемые в п. 28 проекта «Правил», по нашему мнению необоснованы, потому что по данным опыта имеет значение не длительность прохождения тока через тело человека, а совпадение момента прохождения тока с определенной фазой сердечной деятельности.

Таким образом мы приходим к выводу, что выбор напряжения прикосновения в зависимости от того, относится ли напряжение системы по формальному признаку к числу высоких или низких, ничем не оправдывается. В качестве признака, определяющего выбор расчетного значения напряжения прикосновения, следует принимать условия эксплоатации электрического оборудования. Для всех установок, в соединении с которыми находится большое количество работающих людей (при всех рабочих напряжениях), напряжение прикосновения должно приниматься 65 V в случае производственных помещений без повышенной опасности и 40 V во всех остальных случаях.

Для аппаратуры, располагающейся в замкнутых электромашинных помещениях, куда вход разрешается только лицам, имеющим достаточно высокую квалификацию, где работают вдвоем, где имеются изолированные подставки и резиновые ковры, где пользуются изолированными штангами, щипцами, перчатками, галошами и ботами, где невозможно длительное прикосновение к лопавшим под напряжение частям и т. п., напряжение прикосновения можно сохранить 65, 100 или 150 V с введением коэффициентов, допускающих при определенных условиях их повышение (§ 26 проекта «Правил»).

В отношении методов расчета защитных заземля-

ющих устройств все системы трехфазного тока разбиваются на системы с изолированными и системы с заземленными нулевыми точками. В свою очередь системы с заземленными нулевыми точками можно разделить на системы без нулевого провода и системы с заземленным нулевым проводом.

Ввиду того что отнесение электрических установок к числу установок низкого напряжения, как и к числу установок, работающих при напряжениях до 1000 V, ровно ничего не говорит об их безопасности, а методы расчета заземляющих устройств не зависят от напряжения, автор считает целесообразным отказаться от существующего в настоящее время деления заземляющих устройств на заземляющие устройства в системах низкого напряжения и заземляющие устройства в системах высокого напряжения. Нет и не может быть разницы в методах расчета заземляющих устройств в системах с изолированной нулевой точкой работающих, например, при низком напряжении 220 V или при высоком напряжении 500 V (по действующей в настоящее время терминологии) или при напряжениях 220 V и 550 V и при напряжении 3000 V (по терминологии, предлагаемой проектом).

Во всех случаях задачей расчета является определение сопротивления растеканию заземлителей, необходимого для того, чтобы напряжение прикосновения не превосходило заданной величины.

Решение вопроса о заземляющих устройствах в установках, работающих при напряжениях до 1000 V с изолированными нулевыми точками, очень часто осложняется отсутствием критерия, указывающего на их необходимость или на возможность отказа от них. В частности, споры обычно возникают при рассмотрении случаев при напряжениях 220 и 127 V. Однако критерий несомненно существует и им является ток, могущий пройти через тело человека, прикасающегося в момент аварии к корпусу прибора. В этом случае фактором, значительно увеличивающим опасность поражения током, является емкость кабельных сетей, несколько большая у кабелей, работающих при напряжениях ниже 1000 V. $(0,3 \div 0,4 \frac{\mu F}{km})$ и меньшая у кабелей, работающих

при напряжениях 1000 V $(0,2 \frac{\mu F}{km})$ и выше.

Ток, проходящий через тело человека, в сетях, не обладающих сколько-нибудь заметной емкостью, можно определить по формуле:

$$I' = \frac{U_A \sqrt{3}}{3R + r_u} . \quad (1)$$

В сетях, емкостью которых пренебречь нельзя, ток определяется по формуле:

$$I' = \frac{U_A \sqrt{3}}{\sqrt{\frac{(3R + r_u)^2 + (3Rr_u \omega C_0 l 10^{-6})^2}{1 + (r_u \omega C_0 l 10^{-6})^2}}} , \quad (2)$$

где C_0 — емкость сети в $\frac{\mu F}{km}$, а l — длина кабельной сети в km.

Если ток I' превосходит 0,04 A, т. е. может оказаться смертельным, заземляющие устройства необходимы. При токах, меньших 0,04 A, можно, вообще говоря, ставить вопрос об отказе от них. Определение емкости сети затруднений не пред-

ставляет, если известна длина кабельной сети или ее емкостный ток. Сопротивление тела человека во всех случаях принимается 1000 Ω , наиболее вероятное при самых неблагоприятных условиях. С наибольшими затруднениями связано конечно, определение сопротивления изоляции.

Даже для сети, находящейся в полном порядке и сильно разветвленной, т. е. состоящей из большого количества включенных параллельных ответвлений, результирующее сопротивление изоляции может оказаться настолько низким, что ток I' , проходящий через тело человека, достигнет опасной величины. Так как в соответствии с требованиями „Правил“ каждая группа приемников тока должна иметь сопротивление изоляции не меньше 1000 Ω на 1 V, сопротивление изоляции r_u при n параллельных группах составит

$$r_u = \frac{1000 U_A}{n} .$$

Так как активное сопротивление утечки, а следовательно, и опасность поражения током, определяются числом параллельных групп, очевидно, нет никаких оснований объединять распределительные сети, присоединяемые к стороне низшего напряжения нескольких параллельно работающих трансформаторов.

Для определения тока I' , проходящего через тело человека при наличии защитного заземлителя, сопротивление растеканию которого равното, служат формулы:

$$I' = \frac{U_A \sqrt{3}}{3R + \frac{r_u}{a}}$$

без учета емкости сети и

$$I' = \frac{U_A \sqrt{3}}{\sqrt{\frac{(3R + \frac{r_u}{a})^2 + (3Rr_u \omega C_0 l 10^{-6})^2}{1 + (r_u \omega C_0 l 10^{-6})^2}}} \quad (3)$$

с учетом емкости сети, где

$$a = \frac{r_1}{R + r_1} .$$

На основании формул (3), (4) и (5) можно сделать вывод, что как в случае внутризаводских воздушных, так и кабельных сетей протяженностью не более 20 km заземлитель, сопротивление растеканию которого не превосходит 20 Ω , обеспечивает безопасность даже при 100 \div 200 параллельных включенных группах приемников тока. Практическое осуществление заземлителей, сопротивление растеканию которых составляет 20 Ω , не представляет никаких затруднений. В большинстве случаев практики для этого вполне достаточно забить в землю 3 трубы диаметром $(37 \div 65)$ mm и длиной $(2,5 \div 3)$ m на расстоянии 3 m одна от другой. Сопротивление растеканию 20 Ω достаточно и для обеспечения безопасности при напряжениях до 110 V включительно, при условии, однако, не слишком большой емкости сети. Подсчеты по формуле показывают, что при напряжениях до 1000 V (емкость кабеля $0,3 \div 0,4 \frac{\mu F}{km}$) опасность вплоть

фельна уже при суммарной длине кабелей 3 км, в то время как на ряде промышленных предприятий длина кабельных сетей превосходит 10–20 км. Поэтому при кабельных сетях заземляющие устройства необходимы почти всегда.

По-иному обстоит дело в случаях присоединения потребителей тока — крупных приводных электродвигателей, работающих при напряжении 3,6 и даже 11 кВ — непосредственно к районным кабельным сетям. Пользуясь уравнением (2) и подставляя в него длину кабельной сети порядка 100 и больше километров, мы можем сделать заключение, что благодаря весьма малым реактивным сопротивлениям кабельной сети получить напряжения прикосновения не только 40 или 65 В, но и 150 В практически невозможно ни при сопротивлении растеканию защитных заземлителей 20 Ом, ни при их сопротивлении растеканию 200 Ом. Между тем необходимость снижения напряжений прикосновения исключительно актуальна: 1) при электрификации промышленных предприятий, 2) при электрификации собственных нужд электрических станций и 3) при обеспечении безопасности работы трансформаторных пунктов и фидерных подстанций в кабельных сетях.

Казалось бы, наиболее простым средством для облегчения устройства заземлителей является компенсация емкости сети. Однако практически полный резонанс токов недостижим, и часть емкостного тока всегда остается некомпенсированной ввиду возможности периодических, хотя бы кратковременных, отключений части сети. Кроме того, условия защиты сетей требуют включения между нулевой точкой трансформатора и землей сопротивлений, необходимых для работы защиты. В зависимости от местных условий ток заземления может колебаться в пределах от 45 до 100 А. Как бы то ни было компенсация емкости сети прощает устройство заземлителей. Так например, в кабельной сети длиной 100 км, изоляция которой находится в безукоризненном состоянии (при $r_a = \infty$), а некомпенсированная часть емкости составляет 20% от ее полной емкости, ток, проходящий через тело человека, можно определить по формуле (6), полученной простым преобразованием формулы (4):

$$I' = \frac{U_A \sqrt{3} \omega C_0 / 10^{-6}}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + (3R\omega C_0 / 10^{-6})^2}}. \quad (6)$$

При напряжении сети 6600 В и при сопротивлении растеканию защитного заземлителя $r_1 = 20 \Omega$ ток, проходящий через тело человека, $I' = 0,268$ А. При сопротивлении растеканию защитного заземлителя 1 Ом и, следовательно, $a = 0,001$, ток $I' = 0,014$ А уже не может представить смертельной опасности для человека.

Приведенные соображения полностью распространяются только на установки фабрично-заводского типа. При необходимости заземления аппаратуры, расположенной в замкнутых электромашинных помещениях, компенсация емкости кабельной сети облегчает устройство защитных заземлителей.

При электрификации промышленных предприятий совершенно правильное решение о широком применении приводных электродвигателей, работающих при напряжении 3,3 и 6,6 В, упирается в затруднения, связанные с устройством защитных заземлителей. Особенно сложен этот вопрос

при питании электродвигателей высокого напряжения непосредственно от районной кабельной сети. Не говоря уже о нежелательности непосредственного присоединения силовых приемников тока к районной сети ввиду возможности нарушений ее нормальной работы при авариях приводных электродвигателей, устройство защитных заземлителей часто оказывается технически совершенно невыполнимым. Выходом из положения могут явиться разделительные трансформаторы с коэффициентом трансформации 1:1 или 1:2. В этом случае емкость кабельной сети, определяющая ее длиной в пределах предприятия, в большинстве случаев не может превзойти 15–20 км; поэтому сопротивление растеканию 15–20 Ом вполне обеспечивает безопасность даже при напряжении 11 кВ.

Соображения о большей опасности систем, работающих при напряжениях 380 В с изолированными нулевыми точками, по сравнению с системами 380/220 В с заземленными нулевыми точками, основанное на том, что при обрыве одного из линейных проводов и его падении на землю человек, прикасающийся к другому проводу или к корпусу прибора с неисправной изоляцией, может оказаться вместо фазного под линейным напряжением, по мнению автора, не имеют достаточных оснований. Дело в том, что в системах с изолированными нулевыми точками напряжение, под которым окажется человек, определяется соотношением сопротивления тела человека и сопротивления растеканию упавшего на землю провода. Практически сопротивление тела человека составляет сотни Ом, т. е. настолько велико, что при линейном напряжении 220 В человек, прикасающийся к заземленному корпусу прибора, внутри которого произошло повреждение изоляции, и сопротивление растеканию заземлителя которого составляет 20 Ом, не попадает под опасное напряжение, если сопротивление растеканию провода, лежащего на земле, превышает 90 Ом. Другими словами, практически человек почти ни при каких условиях не может оказаться под напряжением, превышающим фазное.

Этим объясняется, что системы с изолированными нулевыми точками оказались относительно безопасными, несмотря на наличие однополюсных замыканий на землю, продолжительность которых измерялась не только часами, но даже днями и неделями.

Наибольшую, пожалуй, опасность может представить одновременный пробой изоляции на разных фазах двух приемников тока, имеющих одинаковые защитные заземлители. Тогда, независимо от абсолютной величины сопротивлений растеканию заземлителей корпусов, на каждом из них появятся напряжения прикосновения, равные половине линейного. Опасность таких аварий практически сводится к нулю в тех случаях, когда несколько приемников тока имеют один общий заземлитель; при таких условиях в результате одновременного пробоя на корпус изоляции двух различных фаз появится ток короткого или почти короткого замыкания, и установка отключится. Фактически, напряжения, появляющиеся на корпусах приемников тока, окажутся значительно ниже половины линейного напряжения. В тех случаях, когда сопротивления заземляющих проводов, соединяющих оба приемника тока, равны сопротивлению линейных проводов, потенциал каждого

из корпусов по отношению к земле не превзойдет $\frac{1}{6}$ линейного напряжения.

В системах с изолированными нулевыми точками опасность попасть под напряжение, близкое к линейному, реальна только при весьма маловероятном падении обгоравшегося провода непосредственно на хорошо заземленный предмет и одновременном с этим прикосновении человека к другому проводу.

В свое время одним из основных мотивов введения системы 380/220 В с заземленной нулевой точкой служила необходимость экономии металла, а также желание включать в одну и ту же сеть электродвигатели, работающие при линейном напряжении 380 В, и лампы, работающие при фазном напряжении 220 В по отношению к земле.

Однако широкое распространение короткозамкнутых электродвигателей, каждое включение которых сопровождается миганием ламп, заставило отрицательно отнестись к практике питания электродвигателей и ламп от одной и той же сети. В настоящее время при электрификации фабрично-заводских предприятий стремятся применять раздельные трансформаторы для силовой и осветительной нагрузок, отказываясь от заземления нулевых точек сетей, питающих только силовых потребителей тока.

Вполне логичным как с точки зрения экономики, так и с точки зрения безопасности является по мнению автора переход в ряде случаев с напряжения 380/220 В с заземленной нулевой точкой для питания силовых потребителей на напряжение 500 В с изолированной нулевой точкой: это позволяет уменьшить расход металла в 1,7 раза. Условия безопасности при этом не ухудшаются, потому что сопротивление растеканию защитных заземлителей 20 Ω обеспечивает безопасность почти во всех случаях практики, даже при большом числе параллельно включенных групп приемников и при сравнительно широко развитых кабельных сетях. Несмотря на принадлежность по формальным признакам системы 500 В, имеющей всегда изолированную нулевую точку, к системам высокого напряжения, она на практике зарекомендовала себя, как система менее опасная, по сравнению с системой 380/220 В с заземленной нулевой точкой. Недостатком этой системы является невозможность включения ламп в силовую сеть и необходимость иметь специальные осветительные трансформаторы. Возражения, что система эта может представить очень большую опасность в тех случаях, когда при заземлении одного из линейных проводов человек прикоснется к другому линейному проводу и, таким образом, окажется под напряжением 500 В, как мы видели, недостаточно обоснованы.

В отличие от систем с изолированными нулевыми точками системы с заземленными нулевыми точками характеризуются тем, что даже в нормальных условиях работы человек, прикасающийся к любому из находящихся под напряжением линейных проводов, всегда оказывается под полным фазным напряжением. Повреждения изоляции сопровождаются как появлением больших или меньших напряжений прикосновения на корпусах приборов, так и опасными повышениями потенциала исправных линейных проводов по отношению к земле. В системе 380/220 В при напряжении прикосновения 40 В эти повышения потенциала могут достигнуть 347 В.

Поэтому аварийный режим должен быть кратко-

временным, и установка должна иметь защищающие устройства, обеспечивающие отключение тока медленно вслед за аварией. Следовательно, аварийный ток I , проходящий через заземлители, должен обеспечивать мгновенное перегорание плавких предохранителей или отключение автоматических выключателей. Между тем опыт свидетельствует том, что выключение тока при авариях происходит не всегда; это объясняется очевидно, что аварии не всегда сопровождаются металлическим коротким замыканием и, следовательно, предохранители своевременно перегорают далеко всегда. Отсюда делается понятным, почему система 380/220 В с заземленной нулевой точкой в практике зарекомендовала себя как одна из наиболее опасных.

Однако отказаться от этой системы нельзя, в частности потому, что, например, в условиях рабочих распределительных сетей в местностях, где интенсивность нагрузки мала, экономия материала проводов, даваемая этой системой, получается весьма значительной.

Как уже отмечалось, основным соображением, силу которого в свое время было принято решение заземлить нулевую точку, являлось желание по формальному признаку отнести эту систему к числу систем низкого напряжения. Теория и опыт узывают на неправильность этого предположения потому что линейные провода во время аварийных режимов оказываются под формально высоким потенциалом по отношению к земле.

Если по данным Эльзасского общества владельцев паровых котлов² при изолированной нулевой точке повышение потенциала линейных проводов по отношению к земле выше фазного имеет место в 7% всех аварий, то при заземленной нулевой точке такие повышения потенциала вероятны в 10% всех аварий. Следовательно, практически, обе системы с этой точки зрения почти равнозначны. Поэтому автор считает вполне возможным и своевременным выдвинуть положение о целесообразности применения системы 380/220 В с нулевым проводом, но с изолированной нулевой точкой. При таких условиях однофазные и, в частности, осветительные приемники тока могут включаться между линейными проводами и изолированным нулевым проводом, а трехфазные — между линейными проводами. При этом сечение нулевого провода с точки зрения безопасности не имеет значения. Заземление трехфазных приемников тока должно осуществляться так же, как в системах с изолированными нулевыми точками. Само собой разумеется, в таких случаях подвеска нулевых проводов должна выполняться так же тщательно, как и подвеска линейных.

Возражением против выдвигаемого предложения может служить соображение о недопустимости работы осветительных приемников при формальном высоком напряжении. По мнению автора, это выражение не имеет с точки зрения безопасности какого значения, и такие системы приемлемы для при электрификации в сельских местностях.

Как известно, число несчастных случаев при высоких напряжениях значительно выше, чем при низких и потому деление напряжений на высокие и низкие ничего не говорит о меньшей опасности

² L. Müller, La mise à la terre du point neutre des réseaux triphasés en étoile à basse tension. RGE, v. XXXVI, 8, IX № 1934.

нижних напряжений. Больше того, отнесение тех или других напряжений к числу низких по нашему мнению лишь демобилизует внимание, потому что у многих до сего времени существует убеждение об их безопасности. Можно показать, что в системах с заземленными нулевыми точками и с нулевыми проводами наивыгоднейшие с точки зрения безопасности условия имеют место при равенстве r_0 (сопротивления растеканию заземлителей нулевой точки) и r_1 (сопротивления растеканию защитного заземлителя). Однако задача продолжает оставаться неопределенной ввиду отсутствия данных для определения общей проводимости обоих заземлителей или их эквивалентного сопротивления.

Чтобы сделать эту задачу определенной, рассмотрим вопрос о способах обеспечения безопасности в случае перехода высшего напряжения на обмотку низшего напряжения трансформатора. В этом случае в сети высшего напряжения появляется ток, определяющийся эквивалентным сопротивлением растеканию R_s всех параллельно включенных заземлителей нулевого провода и емкостью сети высшего напряжения, или сопротивлением растеканию заземлителя нулевой точки (рис. 1 и 2).

Так как по условию нулевая точка со стороны низшего напряжения заземлена, ее потенциал по отношению к земле $U_0 = IR_s$, где I — ток заземления.

Ясно, что одновременно с нулевой точкой такой же потенциал U_0 по отношению к земле получит весь нулевой провод, а следовательно, и корпуса всех «зануленных» приемников тока. Поэтому напряжение U_0 не должно превышать 40 В. Действующие в настоящее время «Руководящие указания» допускают $U_0 = 125$ В⁸.

В зависимости от схемы сети высшего напряжения возможны два случая:

1. Нулевая точка источника высшего напряжения изолирована.
2. Нулевая точка источника высшего напряжения заземлена.

Предположим, что нулевая точка изолирована. При расчетах заземляющих устройств обычно задается или емкость сети или емкостный ток I_c , т. е. ток, появляющийся при коротком замыкании на землю одной фазы, когда сопротивление растеканию заземлившегося провода равно нулю. Зная емкостный ток и напряжение сети, можно найти емкостное сопротивление

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{U_0 \sqrt{3}}{I_c}. \quad (7)$$

При напряжении 6600 В и емкостном токе $I_c = 100$ А имеем:

$$X_c = \frac{6600 \sqrt{3}}{100} = 114 \Omega.$$

⁸ §33 проекта «Правил» требует введения в расчет для определения сопротивления растеканию рабочего заземления (r_0), наименьшего возможного переходного сопротивления в месте замыкания на землю одного из фазных проводов в 0^Ω. Это требование ставит проектировщиков в очень тяжелое положение, потому что более или менее близкое к истине определение этой величины недостижимо; можно говорить лишь о ее порядке. § 34 для систем с занулениями требует, чтобы потенциал нулевой точки не превосходил 65 В, независимо от того, обеспечивается или нет отключение в момент аварии линии высшего напряжения.

Емкостные сопротивления X_c включены последовательно с сопротивлением R_s , в соответствии с чем ток в каждой из фаз:

$$I_{c1} = \frac{U_0}{\sqrt{R_s^2 + \left(\frac{X_c}{3}\right)^2}}. \quad (8)$$

Второе уравнение получим, задаваясь потенциалом нулевой точки и нулевого провода

$$U_0 = I_{c1} R_s. \quad (9)$$

Подставляя в уравнения (8) и (9) приведенные выше данные и решая их, находим $R_s = 0,40 \Omega$ и, следовательно, при двух заземлителях нулевого

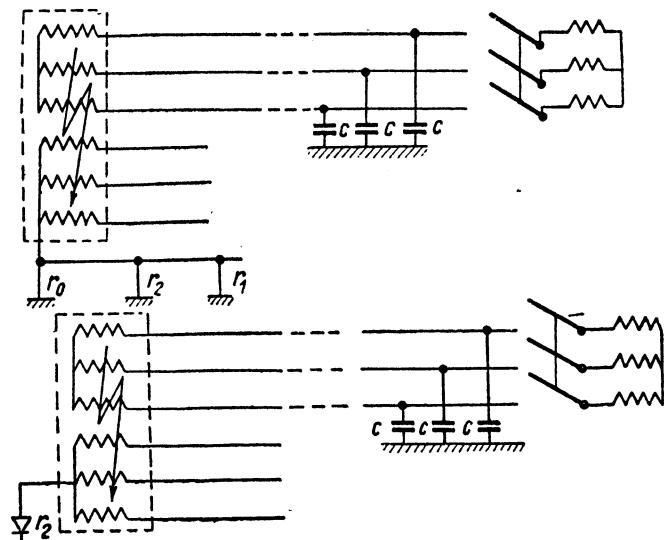


Рис. 1 и 2

проводка сопротивление растеканию каждого из них должно быть 0,8 Ω. Предположив, что ток I_c задан и что эквивалентное сопротивление R_s невелико по сравнению с сопротивлением X_c , имеем:

$$U_0 = I_c R_s \quad (10)$$

и

$$R_s = \frac{U_0}{I_c}. \quad (11)$$

При емкостном токе $I_c = 100$ А и $U_0 = 40$ В получим:

$$R_s = \frac{40}{100} = 0,4 \Omega$$

и, следовательно,

$$r_1 = r_0 = 0,8 \Omega.$$

В тех случаях, когда ток выключения автоматов I_a меньше тока I_c , расчет можно вести по току I_a .

Устройство заземлителей значительно упрощается при компенсированных сетях, когда в качестве расчетного можно принимать ток, составляющий 20% от полного емкостного тока.

При заземленной нулевой точке сети высшего напряжения сопротивление растеканию заземлителя нулевой точки определяется сопротивлением растеканию r_{01} заземлителя нулевой точки сети высшего напряжения.

В случае изолированной нулевой точки на стороне низшего напряжения для обеспечения безопасности необходим пробивной предохранитель. Вопрос о выборе напряжения прикосновения должен решаться теперь с учетом того, что переход высшего напряжения на обмотку низшего напряжения не сопровождается повышением потенциала на корпусах защищаемых приборов, а связан с повышением потенциала линейных проводов и, следовательно, с повышением потенциалов только изолированных частей. Такое повышение потенциала проводов представляет меньшую опасность, потому что прикосновение к ним, маловероятное в условиях нормальной эксплуатации, может считаться исключительным во время аварии. Поэтому, выбирая потенциал U_0 , следует учитывать лишь возможность повреждений изоляции. Во всяком случае напряжение 125 V не вызывает сомнений.

Проект новых "Правил" стоит, очевидно, на той же точке зрения, допуская для систем с изолированными нулевыми точками $U_0 = 150$ V. Мы считаем возможным выбирать U_0 так, чтобы результирующий потенциал проводов низшего напряжения по отношению к земле не превосходил 150% от номинального. Соображения эти мы считаем возможным распространить на любые сети; например, повышение потенциала проводов сети, работающей при напряжении от 6 kV до 11 kV, не сможет повредить их изоляцию. Неизбежные при этом значительные повышения потенциалов на территории распределительных устройств при надлежащем устройстве заземлителей опасности не представляют.

Дальнейшие расчеты для определения r_0 следует вести так же, как в предыдущем случае.

В случае сети высшего напряжения, имеющей изолированную нулевую точку, мы, зная емкостный ток I_c , находим емкость C и емкостное сопротивление X_c , ток I_{c1} , проходящий через пробивной предохранитель

$$I_{c1} = \frac{U_0}{\sqrt{r_2^2 + \left(\frac{X_c}{3}\right)^2}}.$$

Если $I_c = 200$ A и $U_0 = 125$ V, то

$$X_c = \frac{6600 \sqrt{3}}{200} = 57 \Omega,$$

$$I_{c1} = \frac{6600}{\sqrt[3]{r_2^2 + \left(\frac{57}{3}\right)^2}}$$

и

$$I_{c1}r_2 = 125 \text{ V.}$$

Решая эти уравнения, имеем:

$$r_2 = 3,96 \Omega.$$

Таким образом в данном случае обеспечение безопасности даже в некомпенсированных сетях, обладающих большой емкостью, в отличие от сетей с заземленными нулевыми точками на стороне низшего напряжения, не представляет затруднений.

Выводы: 1. Необходимо раз навсегда отказаться от деления напряжений на высокие и низкие, исключив из проекта «Правил» самые термины высокое и низкое напряжение как вредные с точки

зрения безопасности и вносящие путаницу в проприорование и в вопросы охраны труда.

2. Необходимо отказаться от деления методом расчета заземляющих устройств на две группы 1000 V и выше 1000 V и создать единую систему расчета, не зависящую от напряжения: различные методах расчета заземляющих устройств должны определяться исключительно системой трехфазного тока.

3. Необходимо установить для всех без исключения электрических установок, в соприкосновении с которыми находится большое количество рабочников, единое напряжение прикосновения 65 V для помещений без повышенной опасности и 40 V для всех остальных. Для замкнутых электромашинных помещений изменять действующие в настоящее время напряжения прикосновения нет необходимости.

4. Необходимо отказаться от метода выбора расчетных значений напряжений прикосновения с учетом вероятности длительного прикосновения и времени действия защиты и для всех случаев электрификации фабрично-заводских предприятий принимать напряжение прикосновения равным 40-65 V.

5. Необходимо отказаться от требования обязательного заземления нулевых точек осветительных установок, работающих при напряжении 380/220 V с нулевым проводом и допустить применение этой системы с изолированной нулевой точкой во всех без исключения случаях, при условии монтажа нулевых проводов столь же тщательного, как и линейных.

6. Отменить действующее в настоящее время распоряжение об обязательном выборе во всех случаях для освещения фабрично-заводских предприятий напряжения 380/220 V и предоставить прокурорам право выбора наиболее безопасной и экономически выгодной системы. В связи с применением при электрификации фабрично-заводских предприятий напряжения 500 V считать целесообразным применение трансформаторов 500/127 V.

7. Установив, что в системах 380/220 V с заземленной нулевой точкой и с нулевым проводом возможно обеспечить безопасное напряжение прикосновения, регламентировать расчет сопротивлений растеканию заземлителя нулевой точки, исходя из максимального потенциала нулевой точки 40 V,ющего появиться при пробое изоляции обмоток трансформаторов и переходе высшего напряжения на обмотки низшего напряжения; сопротивление стеканию повторных заземлителей должно быть одинаковым с сопротивлением растеканию заземлителя нулевой точки.

8. Регламентировать допустимые напряжения прикосновения при переходе высшего напряжения на обмотки низшего напряжения трансформаторов 40 V в системах с заземленными нулевыми точками и с нулевыми проводами и превосходящие в 10 раз потенциал линейных проводов по отношению к земле в системах с изолированными нулевыми точками. В качестве расчетного тока принимать или емкостный ток системы высшего напряжения или ток выключения автоматов на стороне высшего напряжения.

9. Регламентировать применение разделительных трансформаторов для присоединения фабрично-заводских высоковольтных приемников тока 3-11 kV к распределительным сетям, особенно бельным, обладающим значительной емкостью.

устройство заземлений при непосредственном присоединении к районным сетям затруднительно или технически невыполнимо.

10. Уточнить случаи, когда установки, работающие при напряжениях $110 \div 127$ В и 220 В с изолированной нулевой точкой, должны иметь зазем-

ления. Регламентировать в качестве критерия, определяющего необходимость устройства заземлителей, величину тока, вычисляемую по формулам (1) и (2). При токах выше 0,04 А заземляющие устройства обязательны, при токах меньше 0,040 А заземляющие устройства необязательны.

Использование металлических конструкций здания как заземления рабочего нулевого провода¹

В. П. ТИХОНОВ

Горьковский автомобильный завод им. Молотова

Вопрос использования металлических конструкций зданий, как сетей заземления, встает неизбежно перед каждым проектировщиком цеховых сетей, когда эти сети прокладываются в здании с металлическими или железобетонными колоннами и фермами. Выполнение сети заземления или зануления, независимо от конструкций здания, приводит к тому, что по всему зданию, рядом с массивными металлическими частями здания, прокладываются полоски сети заземлений, сечения которых исчисляются десятками квадратных миллиметров.

В противовес этой кажущейся несообразности, можно указать только то, что эти полоски легко отдаются расчету, тогда как металлическим конструкциям зданий присущ ряд особенностей, вносящих многое неопределенного. К ним относятся: различие температурных швов, нарушающих и искающих связь всей системы, отсутствие связи между системами разных пролетов, беспрепятственные изменения сечений во всех направлениях и неоднородность соединений между собой отдельных элементов. Правда, широкое внедрение за последние годы сварки при изготовлении и сборке металлических конструкций несколько уменьшает влияние последнего фактора.

Действующие «Электротехнические правила и нормы» (§ 107) категорически воспрещают замену отдельных участков как заземляющей или зануляющей сети, так и рабочего нулевого провода конструкциями зданий. Проект «Правил устройства заземлений и занулений в установках низкого напряжения» («Электричество» № 9, 1934) в противоположность нормам разрешает такую замену заземляющей или зануляющей сети, не сопровождая это положение никакими оговорками. Вопрос же о рабочем нулевом проводе в этом проекте остается открытым. В судовых установках подобное использование корпуса судна санкционировано стандартом. Невольно возникают вопросы, насколько правильны указания действующих «Электротехнических правил и норм» и не представится ли возможным при определенных условиях пойти на подобные замены, что позволит не только снизить затраты и расход меди на нулевой рабочий провод, но и повысить надежность работы.

Основными элементами металлических конструкций здания при наиболее широком применении являются (рис. 1): колонны 1, связи между колоннами 2 (прогоны), фермы 3, связи между фермами 4 и прогоны, несущие кровлю 5.

Элементы 2, 4 и 5 создают проводимость вдоль здания, элементы 3 — поперек него, а элементы 1, создавая связь между фермами двух соседних пролетов, повышают проводимость поперек цеха. При железобетонных и деревянных несущих конструкциях перекрытий непрерывные массы железа отсутствуют, и вопрос об их использовании для целей заземления и зануления отпадает.

В многопролетных зданиях фермы одного пролета обычно не имеют прямой связи с фермами соседнего, и проводимость может иметь место только через колонны, на которые они опираются. При железобетонных колоннах и раздельных подушках под фермы с этой проводимостью практически нельзя считаться, и фермы двух пролетов следует рассматривать как разобщенные. При железных колоннах имеется связь между фермами двух пролетов через колонну, и величина проводимости зависит от того, насколько покрыты ржавчиной фермы и колонны.

Температурные швы также делят весь массив металлических частей здания на отдельные части, которые следует считать практически разобщенными друг от друга.

В итоге, здание сколь-нибудь значительных размеров в отношении проводимости будет представлять комплекс отдельных, практически взаимно разобщенных звеньев.

Проводимость каждого звена практически зависит от способа его соединения, так как сечения отдельных элементов, ферм, связей и колонн весьма велики и их сопротивлением можно пренебречь. Соединения при помощи сварки, при правильном исполнении обеспечивают проводимость места сварки не ниже целого места. Склепывание и сболтывание практически производится уже при окрашенных, а иногда и покрытых ржавчиной конструкциях и место соединения представляет значительное сопротивление.

В свете изложенного выше представляется совершенно очевидным, что проводимость металлической конструкции зданий в целом, как и было указано ранее, не может быть определена расчетно. Поэтому целесообразно ознакомиться с опытными материалами по определению сопротивления металлических конструкций² зданий отдельных цехов ГАЗ им. Молотова, используемых с 1938 г. в качестве сетей зануления, и на основе анализа этих материалов сделать выводы.

¹ В порядке обсуждения. Ред.

² Колонны — железобетонные, кроме колонн корпусов, сооруженных из железа.

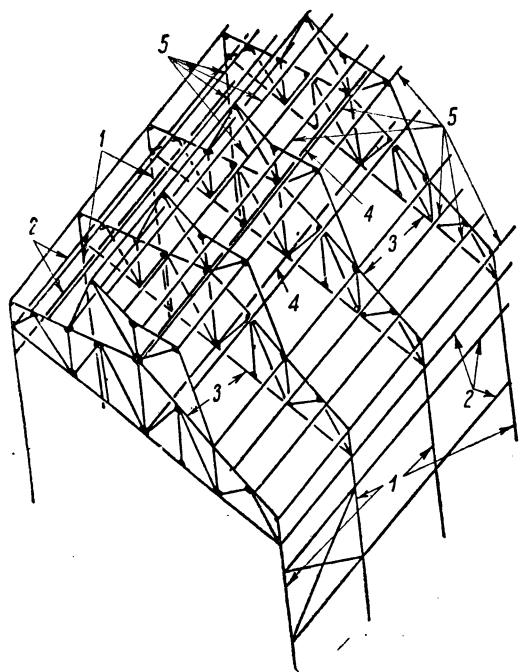


Рис. 1

Краткая характеристика используемых конструкций приведена в табл. 1

Таблица 1

Характеристика цепи тока

№ кривых на рис. 2	Литер корпуса	Число разрывов конструкций		Длина пути тока, м			Примечание
		температур. швы	между пролетами	в плане по прямой	в плане по ортогональм	спуски в сумме	
1	А	4	4	261	322	18,5	Перемычки поставлены не на всех разрывах
2	А	2	4	119	166	18,5	Кроме конструкций проложена сетка из полосового железа под шашкой
3	А	1	4	110	154	18,5	Сетка колонны имеет шаг не 6 м, а 12 м, а фермы стоят через 6 м на специальных продольных фермах
4	В	2	4	155	218	27	Спуск
5	В	2	4	170	236	27	
6	С	0	6	105	144	20	
7	С	1	6	92	108	20	
8	С	2	6	136	192	20	
9	Д	1	2	79	111	15 + ?	Никаких перемычек нигде не поставлено
10	Е	4	1	136	192	?	

Для обеспечения проводимости между отдельными звеньями конструкций в используемых конструкциях были предусмотрены перемычки по температурным швам — во всех звеньях, и между отдельными пролетами — только в цехах с железобетонными колоннами. Испытания проводились электролабораторией отдела главного энергетика ГАЗ им. Молотова методом нагрузки от вспомогательного трансформатора токами порядка 250—300 А (с целью максимального приближения к условиям практической работы конструкций здания, как цепи зануления). В качестве вспомогательных проводов для нагрузки и измерительных приборов использовались питающие фидера. Результаты ис-

пытаний в виде кривых представлены на рис. 2. Рассмотрение этих кривых позволяет сделать выводов.

Кривые изменения полного и активного сопротивлений по своему характеру аналогичны также кривым для отдельных железных проводов. При некотором значении тока имеет место повышенное значение импеданса, постепенно сдающее. В отдельных случаях имеют место горбые кривые (кривые 1, 2 на рис. 2, а), что объясняется преобладающей ролью в общем сопротивлении для какого-то значения тока одного из участков различного сечения.

На испытанных участках максимум значения сопротивления (полного, активного и реактивного) лежит в области токов ниже 120 А для всех случаев, а для большинства оно ниже 80 А. При токах выше 120 А имеет место во всех случаях снижение или постоянство импеданса.

Полученные кривые активного сопротивления (рис. 2, а) могут быть разбиты на 3 группы: высоких значений сопротивления (кривые 1, 2, 3) — арматурно-радиаторному корпусу, что может быть объяснено далеко не достаточным количеством перемычек; средних значений сопротивления (кривые 6, 7, 8, 9 и 10) в цехах с наличием металлических колонн и дополнительных ферм, связывающих основные; низких значений сопротивления (кривые 4 и 5 по цеху мотора № 2), что может быть объяснено прокладкой под шашкой довольно густой сетки из железных полос для удобства заземления корпусов станков тщательным выполнением перемычек. Как общий вывод, можно сказать, что вполне достижимы значения активного сопротивления порядка $0,04 \div 0,07 \Omega$ при токах $200 \div 400$ А.

Импеданс во всех экспериментально найденных кривых (рис. 2, в) лежит в пределах $0,16 \div 0,08$ при токах $200 \div 400$ А, при условии хорошего выполнения перемычек (что не было выполнено для кривых 1, 2, 3). При тщательном выполнении можно считать достижимым импеданс $0,06 \div 0,01$ для токов $200 \div 400$ А.

Необходимо теоретически и экспериментально проработать вопрос о сопротивлении металлических конструкций зданий и путях тока по ним при токах погрузки до $600 \div 800$ А.

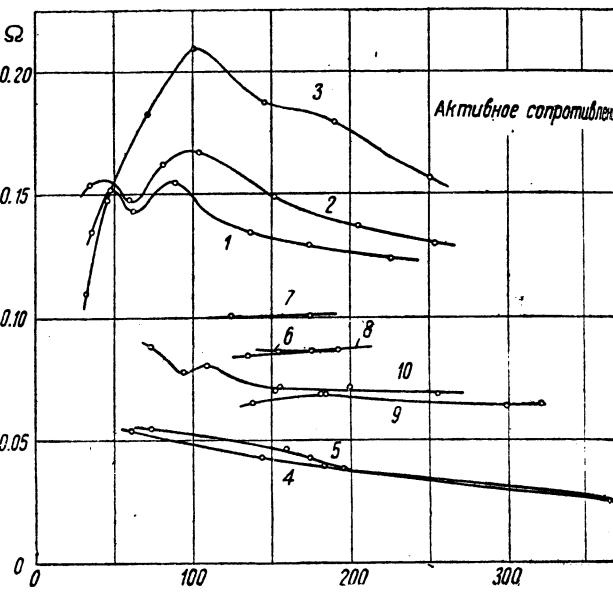


Рис. 2а

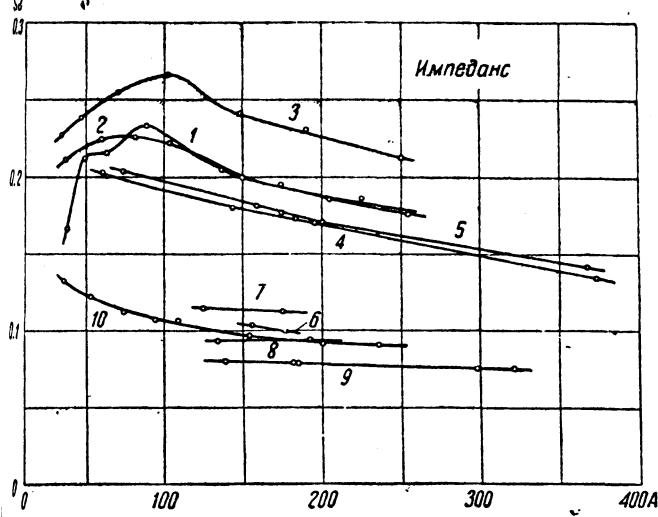


Рис. 2б

Конструкции цехов промпредприятий, в зависимости от степени уверенности в их непрерывности, можно разбить на 4 категории.

Первая категория — конструкции, непрерывность которых безусловно может быть обеспечена, и, следовательно, пригодные к использованию в качестве замены защитного и рабочего нулевого проводов и отдельных сетей заземления. К этой категории можно отнести только железные фермы перекрытия и подкрановые пути.

Вторая категория — железные колонны зданий, для которых характерно наличие слоя краски и жавчины на поверхностях соприкосновения с другими металлическими конструкциями, а также характерен обычный способ соединения (клепкой и болтовой), не дают уверенности в осуществлении хорошего электрического контакта, затем — общепромышленные магистрали пара, отопления, сжатого воздуха, холодной и горячей воды, имеющие прокладки во фланцевых соединениях. Этую категорию можно использовать лишь в качестве дополнительных защитных проводников заземления и зануления.

Третья категория — конструкции, непрерывность которых, вообще говоря, достаточная, может быть нарушена без ведома и согласия работников электрохозяйства (например, при частичной реконструкции или рационализации производства) — металлические фундаменты под оборудование, конвейеры и рольганги, бункеры и трубопроводы производственного назначения. Возможность их использования — та же, что и категории второй. Кроме того, их можно применить и в качестве основных защитных проводников заземления и зануления корпусов непосредственно на них расположенных электродвигателей и пусковых приборов, при условии их непрерывности и надежного соединения с основными проводниками заземления и зануления.

Четвертая категория — конструкции, непрерывность которых явно сомнительна. К этой категории принадлежат: арматура железобетонных конструкций и разного рода металлические перегородки (для создания в цехе кабинок, кладовых и т. п.). Использование этих конструкций даже в качестве защитных проводников заземления и зануления бесполезно.

При использовании металлических конструкций зданий в качестве цепей защитного заземления и

зануления могут быть предъявлены два требования: напряжение прикосновения при токах отключения автомата или перегорания плавких предохранителей не должно превышать 65 В в обычных производственных помещениях и 40 В в помещениях с повышенной опасностью. Как видно из рис. 3, это требование практически удовлетворяется, а из изложенного можно заключить, что диапазон токов, при которых оно удовлетворяется, может быть расширен. Второе требование сводится к достаточной термической устойчивости при токах короткого замыкания. Правила и нормы IX ВЭС (§ 22) считают для этой цели достаточным железный проводник сечением 100 mm^2 . Практически же, по соображениям получения достаточной проводимости, сечение наиболее слабых мест — перемычек, значительно превышает этот минимум, поэтому вопрос термической устойчивости следует в данном случае считать не актуальным.

К рабочему нулевому проводу предъявляется как основное требование, чтобы падение напряжения, вызванное небалансированным током, не превышало известных пределов. В случае использования металлических конструкций в качестве нулевого рабочего провода только в распределительной сети, в удовлетворении этого требования можно быть всегда уверенным, как это видно по результатам исследований, проведенных в одном из цехов ГАЗ им. Молотова (табл. 2).

При использовании конструкций зданий как нулевого рабочего провода питательной сети дело обстоит несколько сложнее. Обычно расфазировка однофазных потребителей (группа ламп), включаемых между нулем и фазными проводами, достаточно совершенна, и вряд ли может идти речь о токе небаланса, превышающем 40—50 А.

Можно сделать следующие выводы по вопросу использования металлических конструкций зданий как нулевого рабочего провода.

Для мелких однофазных потребителей (лампы и однофазные вентиляторы) такое использование представляется возможным.

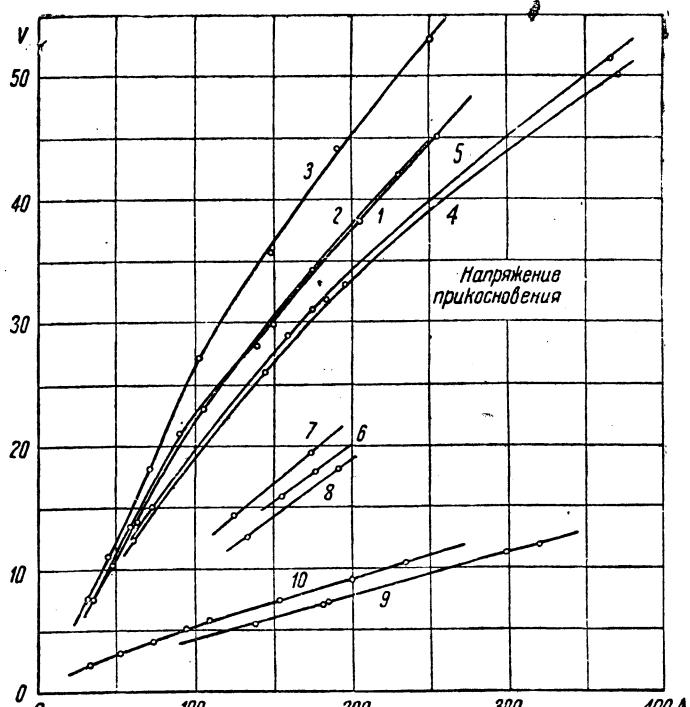


Рис. 3

Таблица 2

Напряжения	Обычная распределительная сеть	Нулевой провод заменен конструкцией здания
Напряжение на групповом щитке, В	233	232
Напряжение у наиболее удаленной линии, В	227,8	229,7
Потеря напряжения, В	5,2	2,3

Особое внимание должно быть обращено на получение достаточной проводимости соединения металлических конструкций здания с нулевой шиной подстанций. В отдельных случаях следует пойти на то, чтобы это соединение (длиной порядка 10—15 м) выполнять медным проводом, и тем сэкономить четвертую (нулевую) жилу по всей сети.

Возможность присоединения крупных однофазных потребителей (электропечи, трансформаторы и машины контактной сварки) представляется сомнительной.

Рассматриваемое использование зданий сопряжено с некоторыми опасными явлениями. При недостаточной проводимости зданий, а тем более — при нарушении их непрерывности неизбежно появление на них напряжений, значительно отличающихся от напряжения земли, и, следовательно, возникает опасность поражения током для всех лиц, стоящих на земле и касающихся этих конструкций.

При нарушениях нормального режима силовой и осветительной сетей в виде замыкания фазы на землю (нуль), ввиду падения напряжения в сети заземления (зануления), напряжение нулевого провода вблизи места аварии смещается. При этом однофазные потребители, включенные между фазными проводами и нулем, оказываются в ненормальных условиях, что может на них отразиться.

При прохождении тока по металлическим конструкциям возможны действия на них тока — тепловые, химические и т. п., что может вредно отразиться на их целости.

При нарушениях нормального режима в силовой и осветительной сети в виде однофазного замыкания на землю по заземляющей системе протекает ток короткого замыкания и вызывает в ней падение напряжения. При правильно рассчитанной и выполненной системе заземления (зануления) это падение не может превышать длительно 65 В. Кратковременно, до момента перегорания плавких предохранителей или отключения фидерных автоматов, допустимы и большие значения. Длительность подобных режимов практически не может превышать 1,5—2 сек.

Подобного рода падение напряжения вызывает смещение нулевой точки вблизи места аварии.

В наиболее неблагоприятном случае в си 380/220 В возможно длительное смещение нулевой точки на 65 В. Кратковременный же (1,5—2 сек) мыслим со смещением нулевой точки на 200 В. Это сопряжено (при $\cos \phi = 0,7$ у зануления) с повышением напряжения однофазных потребителей в первом случае до 130%, во втором — до 73%.

Такого рода повышения не вызывают существенных опасений. Опыт работы временной сети смещения в одном из цехов ГАЗ им. Молотова с использованием конструкций здания в качестве резерва нулевого провода в течение нескольких месяцев 1939 г. позволяет сказать, что, несмотря на значительное количество коротких замыканий, влияние существенно не ощущалось.

Явления коррозии теоретически вполне возможны, так как при неполном контакте и налипании окислов меди всегда можно ожидать выпрямляющего действия в отдельных местах цепи нулевого провода. При этом выпрямленный ток может идти по тому пути, который никак нельзя предусмотреть. Ток может проходить по конструкциям зданий, по трубопроводам, по земле и в отдельных местах может дать электролитический эффект, где этого зачастую нельзя и предусмотреть.

Предотвратить подобное явление можно только одним способом, — обеспечить полную изоляцию, не только рабочих проводов, но и рабочего заземленного провода. Видимо, этими соображениями объясняется требование § 21 «Руководящих указаний для установок 380 В», чтобы изоляция рабочего нулевого провода была такая же, как и фазного. Казалось бы, что все это говорит против возможности использования металлических конструкций здания как цепи рабочего нулевого провода. Однако, как мы указывали, ток небаланса по подстанции в целом обычно не превышает 40—50 А. Считая для ориентировки с грубым преувеличением, что 25% будет выпрямлено и растечется, имеем общую утечку за год (8760 h) 43 800 А·h. Такое количество электричества вызовет разложение 30,6—44,3 kg железа — величина весьма скромная по сравнению с естественной коррозией. Следует ожидать, что напряжение, при котором будет иметь место подобные явления, невелико — порядка не более 2—3 В.

Тем не менее было бы ошибкой пренебречь этим явлением, так как легко может случиться, что коррозия проявит себя как раз там, где ее меньше всего будут ждать. Поэтому явления коррозии требуют к себе постоянного внимания и им должно быть уделено значительное место в общей программе изучения вопроса. В данный же момент вопросы экономии меди настолько актуальны, что можно и необходимо пойти на разрушение некоторого количества железа, чтобы сэкономить мед. Необходимо только знать, где будет происходить это разрушение, его предвидеть и парализовать вредные последствия.

К вопросу о воздействии электрического тока на человеческий организм¹

Л. П. ПОДОЛЬСКИЙ

Москва

Прохождение электрического тока по проводнику всякого рода, как известно, сопровождается нагревом. Прохождение тока через растворы водит, кроме того, к электролизу, т. е. расщеплению молекул электролита. Человеческое тело состоит из твердых проводников, проводников и растворов. При прохождении тока через тело имеет место как выделение тепла, и электролитическое разложение крови и других жидкостей, пропитывающих ткани и заполняющих сосуды.

Какое же из указанных воздействий обуславливает поражение?

Если принять, что сопротивление тела человека составляет примерно 1500Ω и что через него прошел ток силой $0,1 \text{ A}$ при длительности прохождения 1 sec , то окажется, что количество выделившейся теплоты составляет всего лишь 15 W/sec и $3,6$ малых калорий. Само собою разумеется, что выделение в человеческом организме такого чрезмерного количества теплоты ни в какой мере объясняет возникновение тех тяжелых последствий, которые в большинстве случаев влечет за собой прохождение через тело человека тока порядка $0,1 \text{ A}$.

Необходимо отметить, что эффективность электролиза за время процесса поражения в количественном отношении также ничтожна: например, в постоянном токе в $0,1 \text{ A}$ длительностью в 1 sec , электролиз воды сопровождается выделением только около $1,5 \text{ mg}$ водорода. Смертельная доза сильнодействующих ядов превосходит это количество. Однако раздражающее действие продуктов электролитического расщепления крови и других жидкостей, находящихся в организме человека, на нервную систему не подлежит сомнению.

Электролиз имеет место не только при прохождении через тело человека постоянного тока, но и при прохождении переменного тока, если только эта последнего не превосходит определенного предела. Объясняется это тем, что выделившиеся в определенных местах за время одного полупериода (при обычной промышленной частоте 50 Hz — $0,01 \text{ sec}$) частицы не полностью вступают во взаимодействие с частицами противоположного знака, выделяющимися в тех же местах, во время второго полупериода. Эти частицы могут в той или иной степени образовать новые соединения, растворяться или же уноситься системой кровообращения, ставясь некоторое время в свободном состоянии.

При весьма значительной частоте, электрический ток уже не оказывает на нервную систему немедленного эффекта. Как известно, при применении термии через человека в целях глубинного пропаривания тканей пропускаются высокочастотные токи порядка нескольких ампер. Безопасность этих токов объясняется, повидимому, тем, что при больших частотах электролитические воздействия противоположного характера имеют незначительную

длительность и расщепления молекул либо не происходит вовсе, либо освобождающиеся ионы немедленно соединяются с ионами, выделившимися в течение предыдущего полупериода и вновь образуют исходное вещество, не успев оказать специфического раздражающего действия на нервную систему. Кроме того, токи высокой частоты вытесняются в связи с явлением поверхностного эффекта из внутренних частей тела, и поэтому ток минует места с большими сосредоточенными сопротивлениями, где происхождение больших токов могло бы вызвать недопустимое повышение температуры (сочленения и т. п.).

Отсчеты по амперметру при переменном токе не могут непосредственно служить характеристиками эффективности процесса электролиза за один полупериод, так как амперметр показывает среднее квадратичное значение тока, между тем как количество продуктов разложения зависит от среднего арифметического значения величины тока за полупериода. Последняя величина при синусоидальном токе меньше первой в $1,11$ раза.

Некоторые авторы [4] в качестве измерителя, определяющего эффективность прохождения тока через человеческое тело, предлагают принять количество электричества (в кулонах), протекающего через тело за время поражения, причем при переменном токе оно определяется путем умножения количества электричества, протекающего за полупериода, на число полупериодов, в течение которых прохождение тока имело место.

С такой точкой зрения нельзя согласиться. Если бы опасность прохождения тока, при прочих равных условиях, определялась бы исключительно количеством свободных ионов или ионов, образовавших вредные для здоровья химические соединения, то постоянный ток оказывал бы более сильное воздействие, чем переменный, так как при одинаковом количестве электричества, протекающего через электролит, количество выделяющихся продуктов электролиза при постоянном токе несомненно значительно больше, чем при переменном частотой 50 Hz . Между тем, наоборот, переменный ток (по крайней мере при напряжениях до 500 V) опаснее, чем постоянный. Очевидно, что значение имеет не только количество электричества, но и длительность прохождения тока: так например, по некоторым литературным данным [9] ток силой $0,1 \text{ A}$, частотой 50 Hz опасен только в том случае, если он длится более $0,2 \text{ sec}$. Во всяком случае вряд ли ток в $0,01 \text{ A}$ длительностью в 4 sec обладает той же степенью опасности, как ток в $0,1 \text{ A}$ в течение $0,4 \text{ sec}$, хотя в обоих случаях количество электричества остается одинаковым.

Вообще трудно ожидать, чтобы соотношение между раздражающим фактором и производимым им в человеческом организме эффектом могло бы быть выражено при помощи элементарного уравнения первой степени.

Таким простым соотношениям не удовлетворяют за пределом упругости даже деформации, с кото-

¹ Некоторые положения статьи Л. П. Подольского редакция имеет дискуссионными.

рыми мы сталкиваемся в сопротивлении материалов. Несомненно, что и в данном случае реакции человеческого организма подчиняются значительно более сложным законам, чем простая пропорциональность количеству протекшего электричества.

Большая опасность для человека переменного тока по сравнению с постоянным при одинаковом напряжении и одинаковой длительности протекания может быть объяснена следующими причинами: при переменном токе максимальное мгновенное значение тока поражения в $\sqrt{2}$ раза больше, чем при постоянном; при переменном токе имеют место повторные воздействия противоположного знака с частотой, равной частоте тока. В качестве грубой аналогии можно привести специфическое действие нагрузок противоположного знака на материалы, приводящее к «усталости» материала и его разрушению.

Прохождение тока через человеческое тело сопровождается либо ослаблением (вплоть до паралича) деятельности нервных центров, от которых зависят жизненные функции организма, либо, наоборот, кратковременным усилением ее. При параличе нервов, управляющих дыханием, сердце может некоторое время продолжать свою работу. Если время не будет упущено и к искусственноному дыханию будет приступлено до полного прекращения деятельности сердца, то пострадавший может быть возвращен к жизни.

Alvensleben [6] считает возможным за низшую границу величины смертельного тока при обычных путях его в организме принять 0,1 A, основываясь на исследованиях несчастных случаев со смертельным исходом, которые произошли на выключенных воздушных линиях, находящихся под воздействием линий высокого напряжения. Эти случаи представляют большой интерес, так как они поддаются точному анализу путем расчетов и измерений. Наименьшее значение установленного этим путем смертельного тока составляет 0,11 A. В одном несмертельном случае, сопровождавшемся, однако, потерей сознания, выявленная величина тока поражения составляла 0,04 A.

Само собой разумеется, что имеющиеся в литературе данные об экспериментах, касающихся воздействия электрического тока на человеческий организм, в основном, относятся к токам, сравнительно безопасным для человека. Ниже мы приводим результаты некоторых из этих экспериментов.

1. До сих пор не потеряли интересов опыты, произведенные проф. Weber над самим собой еще в 1897 г. [11].

Электродами каждый раз служили две проволоки, к которым подводилось напряжение и которые Weber охватывал руками. Подводился переменный ток частотой 50 Hz. Напряжение регулировалось ступенями через 10 V. Условия этих опытов хотя и не соответствуют обстановке, имеющей место в обычных условиях эксплоатации электрических установок, однако, они пригодны для характеристики воздействий на человека различных токов. Результаты экспериментов следующие:

Влажные руки. Напряжение — 10 V: слабое дрожание пальцев; ток 1 mA.

Напряжение — 20 V: очень сильное сокращение мускулов; руки легко освобождаются; ток 2—2,4 mA.

Напряжение — 30 V: обе руки, включая и плечи, почти парализованы; освободить руки можно лишь с трудом; очень сильные боли в пальцах и руках;

ток терпим не более 10 sec; величина тока — 15 mA.

Напряжение — 40 V: обе руки полностью парализуются; боли нестерпимы; освободить руки не удается; выносимо не более 5 sec; ток 19—22 mA.

Напряжение — 50 V: все мускулы пальцев и парализованы; боль нестерпима, произвести от тока не удалось. Дальнейшее повышение напряжения при влажных руках не производилось опасное для жизни.

Сухие руки. Напряжение — 10, 20 и 30 V: никакого, либо весьма слабое воздействие; величина тока вследствие ее незначительности измерить удалось.

Напряжение — 40 V: слабое щекотание в пальцах; величина тока попрежнему ничтожна.

Напряжение — 50 V: слабое сокращение мускулов пальцев и кисти; ток — меньше 0,1 mA.

Напряжение — 60 V: сокращение мускулов кисти и предплечья, ток около 0,8 mA.

Напряжение — 70 V: сильное сокращение мускулов рук, включая и локти; двигать ими затруднительно; ток — 1,8 mA.

Напряжение — 80 V: воздействие значительно сильнее, чем при 70 V; руки до локтей онемели; сильная боль; освободить руки можно лишь особым усилием; ток 9—11 mA.

Напряжение — 90 V: руки полностью парализованы; освободить их невозможно; боли нестерпимы (экспериментатор не мог удержаться от крика); при обратном переходе к напряжению 80 V воздействие показалось несравнимым с воздействием при 90 V.

2. Freiberger [1] производил опыты над 25 людьми. Ток, как и у Weber, пропускался от руки к руке, причем испытуемые накладывали руки на электроды (а не охватывали их). Оказалось, что постоянный ток менее 6 mA почти нечувствителен. Между 8 и 15 mA — слабая чувствительность (ощущение нагрева). При 20 mA возникает судорога в мускулах предплечья.

При переменном токе ощущения значительно сильнее. Уже при 3 mA возникает слабый, а при 6 mA сильный судорога. Судорога появляется при 12 mA.

3. В Швейцарии производились опыты над 25 людьми [10] путем пропускания тока от руки к руке. Опыты показали, что ощущимым является ток, начиная от 0,8 mA. При 3,5—4,5 mA появляется боль; при 4—5 mA судорога в руках; при 4,5—5,5 mA — судорога достигает предплечья, при 8,5—9,5 mA — верхней части рук, а при 11—12 mA — плечей. При 13—14 mA — освободить руки можно лишь с трудом, а при 15 mA не удается. Ток в 15 mA можно выдержать лишь 15 sec. Надо отметить, что ощущения различных лиц в сильной степени совпадали. Характерно, что ток порядка 15 mA даже у людей, у которых в связи с характером работы, кожа на руках том и мозолиста, выступила на руках пот.

4. В Физико-техническом институте в Берлине производились опыты над 76 мужчинами и 26 женщинами, имевшими целью установить наименьшую величину переменного тока, кратковременное прохождение которого вызывает испуг. Далее определялась сила тока, при которой испытуемые просили дальнейшее увеличение тока приостановить. При этом переменный ток частотой 50 Hz пропускался от руки к руке. Испытуемые прикасались к электродам, не охватывая их. Сигналом «первого испуга»

в явлениях восклицания и т. п. Оказалось, что не менее чем половина испытуемых ощутила «первый испуг» при токе до 0,5 А (наибольшая величина около 2 мА). Около половины возражали против увеличения тока свыше 1 мА (наибольшая величина составляет также около 2 мА).

5. Аналогичным испытаниям при переменном токе 60 Hz были подвергнуты в Электротехнической лаборатории в Нью-Йорке 28 женщин и 48 мужчин [3]. В отличие от германских испытаний, где имело место лишь дотрагивание к обоим электродам, в Нью-Йорке опыты производились при левой руке, опущенной в слабый раствор соли. Были обследованы следующие виды прикосновений правой рукой к металлическому электроду: дотрагивание, схватывание большим и указательным пальцем, охватывание. Кроме того, испытания производились также при условии погружения не только левой, но и правой руки в раствор соли. Данные американских опытов сведены в таблицу.

Значения наименьшего ощущаемого тока в мА

Род прикосновения	28		48		Общие средние значения для всех используемых	
	женщин	мужчин	женщин	мужчин		
страгивание	0,27	0,4	0,2	0,4	0,80,2	0,34
натывание	0,59	1,2	0,2	0,87	2,40,26	0,76
натывание	0,84	1,4	0,5	1,19	3,00,26	1,05
кружение	0,88	1,8	0,3	1,39	3,00,44	1,18

Таким образом при дотрагивании ощущимы токи, составляющие только $\frac{1}{3}$ от токов, ощущимых при изъятии.

Производились также испытания на наибольший и (при одной руке, погруженной в раствор, и при ватывании второй рукой второго электрода), и чем средние значения составляют: для женщин 5,15 mA, для мужчин — 8,35 mA, а по всем выштутым 7,1 mA. «Рекордное» значение для мужчин составило 20 mA, а для женщин 8,8 mA. Само собой разумеется, что испуг, связанный внезапным прохождением электрического тока, является для нервной системы добавочной нагрузкой, значение которой различно для разных людей, также и для одного человека, но в разных состояниях.

Отдельно следует остановиться на действии больших токов (например силой 1 А и более), ющих иметь место лишь в случаях прикосновения к токоведущим частям высокого напряжения. Существует мнение, что при поражениях токами большой силы своевременно производимое искусственное дыхание имеет больше шансов на успех, чем при поражениях относительно небольшими токами (порядка десятых долей ампера). Предполагается, что при больших токах деятельность сердца немедленно замирает, сохраняя способность к восстановлению, как только прекратится прохождение тока. При малых же токах остановка сердца предшествует сильные и неправильные его

сокращения, что снижает вероятность восстановления деятельности сердца, даже при условии своевременного применения искусственного дыхания.

Из опытов над животными упомянем об экспериментах Konwenhoven и Langworthy над крысами [7]. Такие опыты представляют интерес, разумеется, не в отношении абсолютных величин токов поражения, а лишь в отношении общих выводов о воздействии электрического тока на животный организм. Эксперименты над крысами показали, что при низких напряжениях равной величины переменный ток более опасен, чем постоянный. Однако при напряжении 1000 V, наоборот, более опасным оказался постоянный ток. Во всяком случае, тяжесть поражений возрастает с увеличением силы тока (с увеличением напряжения, приложенного к испытуемому животному).

Что касается опасности из-за значительного выделения теплоты в организме человека, то согласно указаниям Freilerger [2] это имеет место лишь при мощности в 12 kW и более, что при сопротивлении тела в 1000 Ω соответствует току по меньшей мере в 3,5 A.

Из изложенного выше следует: переменный ток начинает ощущаться человеком при 0,5 mA, при 2—8 mA появляется боль, а при 12 A резко выраженная судорога. Постоянный ток порядка от нуля до десятых долей ампера менее эффективен, чем переменный.

Индивидуальные различия значительно меньше, чем можно было бы ожидать, исходя из существующих по этому вопросу мнений. Попытки к оживлению путем применения искусственного дыхания должны производиться во всех без исключения случаях, и они имеют шансы на успех, если сохранилась хотя бы весьма слабая сердечная деятельность.

Практический интерес представляет следующий вопрос: изменяется ли эффективность воздействия электрического тока на человеческий организм приблизительно одинаково на всем диапазоне величин возможных токов поражения, имеются ли «критические точки», при приближении к которым, несмотря на незначительность изменения величины тока, эффективность резко изменяется?

Такие точки не представляют большого интереса в диапазоне токов, не опасных для человека, хотя в отдельных случаях все же и в этом диапазоне они могут представлять интерес. Например, наименьшая величина ощущаемого тока может понадобиться при установлении норм изоляции пола или рабочих площадок в тех случаях, когда обслуживание установки требует прикосновений к токоведущим частям, находящимся под напряжением (электролитические установки). Критические точки за пределами, где начинается диапазон смертельных токов, могут представлять интерес при установлении вероятности успешного исхода попыток оживления людей, пораженных током.

Но наиболее актуальным является вопрос о наличии «критических точек» для всего диапазона токов, в пределах которого опасность колеблется от легких до смертельных поражений. Этот вопрос имеет большое значение для того, чтобы уяснить значение мероприятий, направленных к относительно небольшим снижениям токов поражений или, что то же самое, к относительно небольшим снижениям величин напряжений прикосновений. К таким мероприятиям в сетях низкого напряжения относится прежде всего целесообразный выбор распреде-

деления энергии (заземленная или изолированная нейтраль), что может быть связано с увеличением или уменьшением токов поражения при нормальных режимах изоляции в пределах 10—30%.

Играет ли это серьезную роль?

К сожалению, для ответа на этот вопрос нет особенно богатого материала. Но все же кое-что можно заключить из описанных выше экспериментов. Например, Weber в опытах, относящихся к сухим рукам, подчеркивает, что воздействие при 90 V совершенно несравнимо с воздействием при 80 V. Freiberger указывает на то, что при 15 mA постоянного тока имеет место лишь слабый эффект, а при 20 mA — явно выраженная судорога. Из швейцарских опытов следует, что при 13—14 mA переменного тока освободить руки, охватывающие электрод, возможно, а при 15 mA не удается.

С весьма большой долей вероятности можно предположить, что, если бы провести опыты над воздействием электрического тока на различные жизненные функции человека, то критических точек оказалось бы столько же, сколько изучаемых функций. Такие точки мы получили бы при установлении величин токов, при которых приостанавливается дыхание, при которых останавливается сердечная деятельность, наступает потеря сознания и т. д.

Для наших целей несущественно относились ли бы эти критические точки ко всем людям вообще или же разнились ли бы в зависимости от пола, возраста, профессии, состояния здоровья и т. п. Для того чтобы ответить на вопрос, могут ли от-

носительно небольшие изменения токов поражать существенный эффект в отношении снижения травматизма, нам достаточно констатировать, в диапазоне токов между легкими и смертельными поражениями существует большое количество «тических» значений, относящихся к различным функциям человеческого организма и к различным категориям людей. Поэтому можно утверждать, что такие вопросы, как заземление или же изолированное земление нейтрали для вопросов безопасности в сетях низкого напряжения, являются все-существенными.

Литература

1. Dr.-Ing. H. Freiberger. Der elektrische Widerstand menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom. Berlin, 1934.
2. H. Freiberger. Neuere Vorschungen auf den Gebiet elektrischer Unfalls. „Die chemische Fabrik“ № 3/4, 1936.
3. Zimmermann. Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Elektrisierung und ihre Bedeutung für den Bauelektrischen Betrieb. Elektrizitätswirtschaft, № 17, 1933.
4. Holstein Ratulow. Über die Stromverhältnisse augenblicklichen tödlichen elektrischen Unfällen, 1936.
5. Albers Schönberg. Über die Empfindlichkeit des menschlichen Körpers für schwachen Wechselstrom. ETZ, № 40, 1931.
6. Alvensleben. Physiologie und Technik der elektrischen Beläubung. ETZ, № 31, 1933.
7. W. B. Coppenhoven, O. K. Langwortny. Further Research in Injuries from electric Shock. El. Eng. okt. 1932.
8. Vieweg. Einige Versuche über Schreckwirkungen durchgang kleiner Wechselströme durch den menschlichen Körper. Elektrizitätswirtschaft № 15, 1933.
9. О. Лебль. Заземление, зануление, защита выключателями.
10. Bull. Sev. Bd 20, 1929, стр. 428, ETZ, стр. 254, 1930.
11. Bull. Sev. Bd 19, стр. 703, 1928, ETZ, стр. 291, 1930.

Вопросы технико-экономического проектирования

Обобщенный метод выбора оптимальных параметров энергетических установок¹

С. А. КУКЕЛЬ-КРАЕВСКИЙ

Москва

При проектировании энергетических установок и систем очень часто приходится определять оптимальную величину какого-либо параметра, увеличение которого влечет за собой прирост единовременных затрат денежных средств (капитальных затрат) и материалов (иногда остро-дефицитных), но зато снижает потери электрической энергии прямо или косвенно. Таковы задачи выбора сечения провода линии электропередачи, выбора диаметра или живого сечения водоподводящих сооружений гидростанций, в которых получается потеря напора и многое другое. К тому же типу задач приводится выбор мощности гидростанции при заданных гидротехнических сооружениях и выбор объема водохранилища (потеря энергии через водослив). Во всех этих случаях на выбор влияют ожидаемые условия эксплуатации проектируемого сооружения в системе, отражающиеся прямо или косвенно на показателе использования мощности и себестоимости электроЗЭнергии станции, покрывающих потери.

Так как эти исходные показатели никогда не

могут быть заданы точно и так как имеется возможность при проектировании наметить возможные пределы изменения этих технико-экономических факторов, желательно во всех случаях иметь экономичную характеристику, изображающую графически зависимость оптимальной величины параметра от величины исходных показателей.

Такая характеристика позволит планирующим и проектирующим органам принять сознательное окончательное решение, учитывая также, что это нужно, конъюнктурные условия периода строительства установки и общие интересы развития народного хозяйства.

Во всех случаях, когда практически решается задача выбора величины параметра, имеется какой-нибудь параметр, минимальный по техническим соображениям, требующий возможного минимума единовременных затрат на проектируемое сооружение, и только экономические соображения заставляют его повышать.

В условиях социалистического хозяйства необходимо всегда рассматривать проектируемое сооружение не изолированно, а как элемент

¹ В порядке обсуждения. Ред.

зрдонохозяйственного комплекса, в который оно включается. Повышение параметра, если оно снижает потери, может в другой части того же комплекса снизить не только ежегодные издержки производства, но и капитальные затраты.

Обычно потери по мере роста параметра уменьшаются с убывающей скоростью, и потому выходы от их снижения при изменении параметра на одинаковую величину уменьшаются, тогда как затраты, связанные с увеличением параметра, могут либо равномерно, либо с увеличивающейся скоростью. В результате имеется лимит для повышения параметра, за пределами которого суммарные одновременные затраты достигают минимума и затем при дальнейшем росте повышаются.

То же самое имеет место с суммарными издержками производства, которые снижаются при росте параметра с убывающей скоростью и доходят до минимума, после достижения которого величина параметра явно нецелесообразно.

Добиваясь минимально возможного значения ежегодных расходов производства в системе в целом, мы в то же время должны оправдатьложение каждого последующего рубля, каждого килограмма металла.

Поэтому допустимо повышать параметр только до тех пор, пока единовременные затраты денежных и материальных ценностей на это повышение не станут явно чрезмерными, почему нам необходимо иметь показатель или, вернее, группу показателей соотношения единовременных и ежегодных затрат. Такие показатели мы обозначаем склонкой T с различными индексами. Каждая величина T показывает, ценой каких единовременных затрат (например рублей, кг цветного металла, МВт электроэнергии на его выплавку и др.) получается единица экономии в ежегодных затратах (также рублей или электроэнергии, или топлива и покрывающих потери станциях). В тех случаях, когда мы сопоставляем таким путем одновременные величины (например рубли или киловатты, единовременно затрачиваемые и ежегодно экономленные), показатель T имеет размерность времени и показывает некоторый промежуток времени в годах, что не лишает его основного значения показателя соотношения единовременных и ежегодных (или вообще периодических) затрат [1].

Можно показатель T получить как отношение очесных разностей при изменении параметра от минимального (x_0) до намечаемого (x_i) — это будет средняя величина, но в нашем случае она не по себе никакого значения иметь не может. Так как при повышении параметра от x_0 до x_i экономии ежегодных затрат постепенно увеличивается и может в конце участка быть очень медленным, мы можем получить хорошее среднее значение T даже тогда, когда под конец дальнейшее увеличение параметра было явно нецелесообразным. Поэтому для нашей задачи важно строить показатель T обязательно в форме соотношения бесконечно-малых приращений единовременных затрат к бесконечно-малым приращениям ежегодных расходов при увеличении величины параметра x на бесконечно-малую величину т. е.²

$$T' = \frac{dK}{dI}, \quad (1)$$

Можно пользоваться показателем соотношения затрат

При составлении выражения (1) величины K и I должны представлять суммы затрат (одновременных или ежегодных), зависящих от параметра x как проектируемого сооружения (K_x или I_x), так и энергетических установок, покрывающие потери, т. е. в электрические станции и соответствующие части электрических сетей (K_n или I_n).

Разнообразные задачи, к решению которых применим предлагаемый нами и изложенный ниже метод, могут быть сведены к двум типам:

а) Исходной величиной для определения оптимальной величины параметра x являются связанные с его изменением потери мощности, которые могут быть выражены в виде $\Delta P = f(x)$. Сюда относятся задачи на выбор сечения провода длинных и мощных электропередач, диаметра или живого сечения водоподводящих сооружений гидростанций, в которых появляется потеря напора и в конечном счете потеря электрической мощности; задачи о выборе оптимального к. п. д. или соотношения единовременных затрат единовременных и ежегодных в систему в целом, включая электростанции, сети и проектируемые приемники и т. п.

б) Исходной величиной являются потери электроэнергии, например, когда параметром, подлежащим определению, является сама мощность электрической установки N . Сюда относятся задачи на выбор мощности гидростанции при заданных основных гидротехнических сооружениях. К этому же второму типу сводится и задача определения оптимального сечения провода или диаметра водоподводящего сооружения гидростанции, когда почему-либо в число единовременных затрат не включаются капитальные затраты на электростанции, покрывающие потери. Эти последние затраты до настоящего времени не принимаются во внимание в учебниках, вышедших в свет до 1939 г. включительно, но это теоретически допустимо только для коротких и маломощных линий, где потери мощности относительно очень малы. Однако для целой сети, состоящей из таких линий, а также для таких мощных и длинных линий, как будущие линии электропередачи от Куйбышевского гидроузла в центр и на Урал, капитальные затраты, связанные с покрытием потерь мощности, столь велики, что их игнорировать в расчетах никак нельзя.

Рассмотрев общий метод решения обоих типов задач и приведя решения к одному и тому же виду, мы покажем, как легко можно перейти от формул для первого типа задач к формулам для второго типа, и наоборот.

1. Предположим, что на основании проектных данных мы можем получить непосредственно или графическим путем следующие зависимости

$$K_x = F(x) \quad \Delta P = f(x).$$

и в другой форме, — обратной принятой нами, т. е. $\frac{dI}{dK} = \frac{1}{T'} = e$. В такой форме автор пользовался этим показателем в своей старой работе 1929 г. («Бюллетень Днепростроя» № 1 и 2, 1929). В настоящее время автор пользуется обоими видами соотношения, как будет видно дальше, но при выводе своих формул предпочитает пользоваться им именно в виде T' , т. е. ценами каждой единицы ежегодных затрат.

² Затрат денежных или затрат цветных металлов.

Из последнего выражения можно получить также выражение потерянной энергии $\mathcal{E}_n = h_n f(x)$, если h_n — показатель числа часов максимальных потерь мощности является переменной, не зависящей от параметра (x) , и задается условиями эксплуатации⁴.

Составив выражение функциональной зависимости от параметра x суммы единовременных и суммы ежегодных затрат в систему, зависящих от параметра x , и взяв первые производные от этих величин, мы можем написать следующее общее выражение для показателя соотношения прироста единовременных затрат (в данном случае денежных) и прироста ежегодных затрат для случая положительного изменения (т. е. увеличения) параметра x на dx ;

$$K_{cucm} = F(x) + K_{Nf}(x) \quad I_{cucm} = pF(x) + Sh_{nf}(x); \\ T' = \frac{dK}{dI} = \frac{F'(x) + K_{Nf'}(x)}{pF'(x) + Sh_{nf'}(x)}, \quad (2)$$

где K_N — стоимость установленного kW или MW электростанций, покрывающих потери мощности, а p — доля ежегодных отчислений на амортизацию и ремонт⁵.

Мы выразили в формуле (2) цену, за которую покупается дополнительный прирост ежегодных затрат в систему, зависящих от параметра x в виде функции по существу двух переменных: параметра x и стоимости киловатт-года потерь Sh_n , причем последняя всецело зависит от условий эксплуатации проектируемого сооружения как элемента системы:

$$T' = \psi(x, Sh_n).$$

Как видно из выражения (1), величина T' положительна в тех случаях, когда сумма единовременных затрат и сумма ежегодных затрат при увеличении параметра x изменяется в одну и ту же сторону. Это имеет место в двух случаях:

а) Когда величина параметра вызывает перерасход и суммы единовременных и суммы ежегодных затрат — в систему, а следовательно, когда такое увеличение явно невыгодно: dK и dI оба положительны. В этих случаях с экономической точки зрения параметр x обязательно должен быть снижен.

б) Увеличение параметра вызывает экономию и в единовременных и в ежегодных затратах в систему в целом, а следовательно, увеличение x явно выгодно и с экономической точки зрения необходимо. В обоих случаях положительное значение показателя T' отмечает, что величина x , при которой этот показатель получен, явно не является оптимальной — она либо слишком велика, либо слишком мала, тогда как численная величина показателя T' в этих случаях практического значения для нашего анализа не имеет.

⁴ Если h_n — сама функция от x , задача сводится к разобранному ниже второму типу. Обычно в курсах электрических сетей величина h_n обозначается буквой τ .

5 Во всех случаях применения нашего метода мы предполагаем, что себестоимость включает, кроме прямых издержек, только отчисления на амортизацию и на ремонт, соответствующие фактическому среднему износу за весь срок службы. Применяя для целей сравнения показатель T , обратная величина которого является по существу долей капитальных затрат, мы все же считаем возможным включать в себестоимость только долю амортизации. В формулу (2) вошли только те элементы годовых издержек производства и передачи электроэнергии в энергетическом комплексе, которые зависят от изучаемого параметра x .

Вопрос о выборе оптимальной величины шага возникает только в случаях, когда имеется налицо антагонистическое изменение суммы единовременных и суммы ежегодных затрат в систему, т. е. когда показатель T' отрицателен.

В этих случаях показатель T' представляет собой срок компенсирования перерасхода затрат одного рода экономией затрат другого рода.

Все, что мы только что сообщили о значении показателя T' , относится и к тому случаю, когда показатель T построен не для бесконечно-малого приращения параметра dx , а для конечной величины Δx независимо от величины этого приращения.

Экономической характеристикой изучаемого сооружения как элемента системы в зависимости от параметра x может служить семейство линий (рис. 1), построенных для различных значений (изолинии T') в диаграмме (x, Sh_n) , причем себестоимость киловатт-года принимается за переменную независимую. Такую диаграмму легко строить по формуле (3), задавшись различными значениями x и T' .

$$Sh_n = \frac{(1 - T_p') F'(x) + K_N f'(x)}{f'(x) T'}.$$

При этом для всех значений T' , кроме 0 и одному значению себестоимости киловатт-го будут соответствовать две величины x — одна при положительном T' , другая при отрицательном. Мы уже отмечали, что практическое значение будет иметь только вторая величина.

При $\tilde{T}' = 0$ мы получаем одну граничную линию, которая соответствует согласно формуле (1) случаю, когда сумма производных единовременных затрат в числителе равна нулю. В тех задачах, которые мы изучаем, значение x , превращающее в нуль первую производную, дает минимум функции, — в данном случае минимум единовременных затрат. Назвав через x_0 соответствующую величину параметра, мы можем определить его величину в каждой конкретной задаче, решая уравнение

$$\left. \begin{aligned} F'(x_0) &= -K_N f'(x_0) \\ \text{или} \quad -\frac{F'(x_0)}{K_N f'(x_0)} &= \Phi(x_0) = 1. \end{aligned} \right\}$$

Отсюда видно, что величина x_0 не зависит

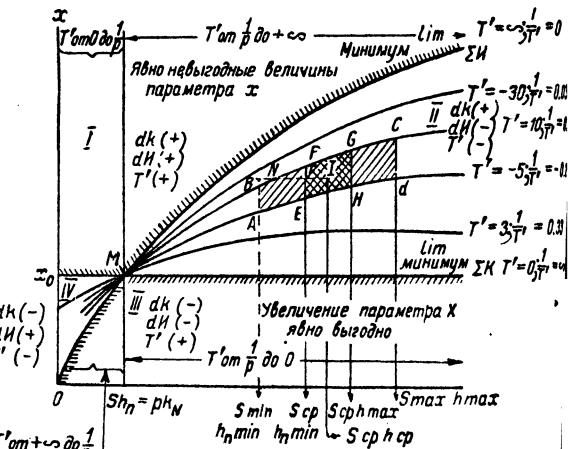


Рис. 1. Понятие подтверждения экономической характеристики

себестоимости киловатт-года, и потому изолиния $T=0$ есть прямая, параллельная оси абсцисс.

При $T'=\infty$ мы получаем вторую граничную изолинию, которая соответствует согласно формуле (1) случаю, когда сумма производных в знаменателе равна нулю. Во всех наших задачах это соответствует минимуму ежегодных издержек производства в систему⁶.

Назовем соответствующую величину параметра через x_∞ .

В наших расчетах естественно не предусматривается начисление процентов на оплату капитала. В этом случае получается тот лимит для x , превышение которого всегда влечет за собой ежегодный перерасход в издержках производства в систему:

$$\left. \begin{aligned} pF'(x_\infty) + Sh_n f'(x_\infty) &= 0; \\ -\frac{F'(x_\infty)}{f'(x_\infty)} &= \frac{Sh_n}{p}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Изолиния $T'=\infty$ начинается в начале координат и пересекается с изолинией $T'=0$ в очень характерной точке M , ордината которой равна x_0 , абсцисса $Sh_n = pK_N$, как легко убедиться, решая вместе уравнения (4) и (5), так как в ней $x=x_\infty$.

Легко доказать, что в точке M пересекаются две изолинии T' . На рис. 1 отмечены только те, которые соответствуют отрицательным значениям T' за исключением ординаты точки M , которая сама представляет изолинию положительного $T'=1:p$.

Пересечение двух граничных изолиний для $T=0$ и $T'=\infty$ разбивает диаграмму на четыре характерные зоны.

В первой зоне dK , dI и T' — все положительны. Эта зона — экономически абсолютно невыгодна для выбора параметра x , так как лежащая в ней величина явно преувеличена, и снижение ее всегда выгодно. В третьей зоне dK и dI отрицательны, T' опять положителен. В этой зоне величина x с точки зрения экономики системы в целом явно занижена, и увеличение ее явно однозначно. Однако имеется существенная разница в расположении в зоне I: здесь нельзя говорить о абсолютном запрещении применять полученные значение параметра x , так как увеличение x , вызывая снижение суммарных капитальных затрат в систему, все же увеличивает расход топлива остродефицитных материалов в проектируемое сооружение, вследствие чего иногда возможно появление экономической необходимости ограничиваться величиной параметра x в зоне III в конъюнктурным соображениям, не говоря уже о возможной иногда технической необходимости. Но такой случай, надо полагать, будет очень редок.

В зоне II лежат наиболее обычные случаи решения многочисленных задач, рассматриваемых нами пока в самом общем виде. Здесь dK положительно, dI отрицательно и T' отрицательно, меняясь от 0 до $-\infty$.

На рис. 1 пучок линий, лежащих во второй

Вторая граничная изолиния дает для задач по выбору проводов ту же величину параметра x , которая дается по формуле Кельвина, применяемой с 1881 г., величину p включить проценты на капитал, как это было в капиталистических условиях.

зоне и проходящих все через точку M в IV зону, представляет собой семейство изолиний сроков окупаемости в пределах от 0 до $-\infty$. Если известна величина себестоимости киловатт-года и задан срок окупаемости дополнительных капитальных затрат (точнее „последнего“ вложенного рубля), мы можем легко по приведенной на рис. 1 характеристике определить оптимальную величину x , которая равна отрезку ординаты, соответствующей заданному Sh_n от абсциссы до точки пересечения с изолинией заданного срока окупаемости.

Характеристика наглядно показывает, как изменяется оптимум при изменении исходных показателей Sh_n и T' .

Обычно при проектировании невозможно точно предусмотреть величины себестоимости киловатт-года, которая зависит от многих условий. Сомножитель ее S зависит от того, какие именно станции системы будут покрывать потери⁷. Этот показатель в сильнейшей степени зависит от стоимости топлива, если покрывает потери паровая станция, или от величины капитальных затрат на один мегаватт-час, если покрывает потери гидростанция. Величина S может изменяться даже в неизменных ценах в течение срока службы проектируемого сооружения. Другой сомножитель h_n зависит от режима эксплоатации сооружения и изменяется в разные годы (например для гидростанции в зависимости от водности) и в разные периоды за время службы сооружения. Поэтому в период проектирования сооружения надо путем соответствующего планово-экономического анализа наметить вероятные пределы изменения величин и построить показатели крайние $S_{\min} \cdot h_{\min}$, $S_{\max} \cdot h_{\max}$ и средние $S_{cp} \cdot h_{cp}$, наметив затем положение соответствующих ординат на характеристике.

Не менее трудно задать определенную величину для показателя окупаемости, т. е. в данном случае для той максимальной цены единовременных затрат, которой можно покупать последний рубль дополнительной экономии.

Однако имеется один естественный верхний лимит — это срок службы сооружения (точнее не всего сооружения в целом, а того элемента, параметр которого определяется).

Как правило, мы должны стремиться к тому, чтобы вся сумма затрат живого и овеществляемого труда была минимальной за срок службы, который мы обозначим через T_{ax} (без штриха, так как берем этот показатель в данном случае не для бесконечно-малого приращения как раньше, а для всей части сооружения, зависящей от x). Выразителем всей суммы затрат общественного труда будет сумма затрат на сооружение и эксплоатацию (включая текущий ремонт и капитальный ремонт, как возмещение естественного износа за срок, принимаемый всегда более или менее приближенным и условно в основу исчисления амортизационных норм). Учитывая попрежнему только затраты, зависящие от величины

⁷ Если передается в систему гидроэнергия, то она вытесняется по распоряжению диспетчера системы выработку паровых станций, наименее экономичных с народнохозяйственной точки зрения, т. е. с учетом не только стоимости энергии, но и рода сжигаемого на них топлива; увеличение потерь влечет за собой снижение этих возможностей, что и должно быть учтено при выборе величины S .

параметра x , получим:

$$\Sigma(K + IT) = K_x + K_N \Delta P + pK_x \cdot T_{am} + Sh_n \Delta P T_{am}$$

или в общем виде

$$\Sigma(K + IT) = F(x) + K_N f(x) + pF(x) \cdot T_{am} + Sh_n f(x) \cdot T_{am}. \quad (6)$$

Эта сумма, выраженная в виде функции от параметра x , будет минимальная при таком значении x , которое превращает в ноль первую производную, т. е.

$$F'(x) + K_N f'(x) + pF'(x) T_{am} + Sh_n f'(x) T_{am} = 0, \quad (7)$$

откуда

$$T_{am} = \frac{F'(x) + K_N f'(x)}{pF'(x) + Sh_n f'(x)} = -T'. \quad (8)$$

Из сопоставления формул (8) и (2) вытекает правило: при выборе экономического параметра сооружения с целью сведения к минимуму суммы единовременных и ежегодных затрат за все время существования той части сооружения, параметр которой определяется, необходимо принимать срок T' равным сроку амортизации. Экономически нецелесообразно повышать параметр x за этот лимит и, учитывая тяжесть единовременных затрат, следовало бы выбирать T' в пределах от 0 до T'_{am} .

В тех случаях, когда мы не можем задаться какой-нибудь определенной величиной основного экономического аргумента Sh_n , а задаемся некоторыми пределами его изменения (такое положение будет иметь место почти во всех случаях проектирования), надо требовать, чтобы избранная величина x лежала не выше, чем точка пересечения ординаты минимального Sh_n с изолинией, соответствующей сроку амортизации⁸. Для случаев, когда мы имеем дело с остродефицитными материалами, например, при выборе сечения проводов, мы предлагаем задаваться сроками T' от 5 до 10 лет. Тогда мы выделяем площадку, ограниченную двумя ординатами для крайних значений аргумента, — себестоимость мегаватт года и двумя изолиниями — 5 и 10 лет. Центр этой площадки (точка I рис. 1) дает наиболее близкое к оптимальному значение параметра x при возможных в течение службы сооружения изменениях основного экономического аргумента.

Надо будет только проверить, что проходящая через центр площадки горизонталь пересекает ординату для минимального значения (точка N рис. 1) не выше, чем точка пересечения с изолинией срока амортизации. В последнем случае надо выбрать параметр x , соответствующий крайней ординате Sh_{min} с изолинией T'_{am} .

Вообще же выбор исходной величины T' , или, точнее, границ для него, зависит в конечном счете от народнохозяйственных соображений и

нельзя задаваться одними и теми же нормами для разных областей проектирования и для разных этапов развития хозяйства.

В общем случае, кроме рассмотренных трех зон, имеется еще небольшая четвертая, в которой dK отрицательно, dI положительно и T' отрицательно. В эту зону мы попадаем в проектировании, когда $Sh_n < pK_N$. Такие случаи невозможны, когда мы имеем дело только с единичной станцией, покрывающей потери, так как стоимость киловатт-года и стоимость установленного киловатта относятся к одной и той же станции, то минимально возможное значение стоимости киловатт-года составляет $p_N K_N$, где p_N — доля амортизационных отчислений на единичную станцию, которая на практике будет обязательно меньше доли отчислений для проектируемого элемента, параметр которого выбирается. В этих случаях ордината, проходящая через точку M , является осью ординат нашей характеристики, и часть ее, лежащая левее, не реальна. Но в системе по существу K_N и Sh_n не связаны между собой, и потому в этих случаях возможен существование четвертой зоны, в которой должны лежать все изолинии равной оккупаемости той зоны, но расположены в обратном порядке.

Мы имеем дело с выбором параметра в четвертой зоне, когда очень мало число h_n (например для резервных линий) или очень мало S (например в районах с избыточной гидроэнергией). В этих случаях, естественно, мы поставим перед собой обратную задачу, чем во второй зоне: мы будем стремиться не к минимуму издержек производства к минимуму капитальных затрат хотя бы с учетом некоторого увеличения ежегодных расходов. В этом случае срок T' должен быть не меньше, чем нормированный, и во всяком случае меньше, чем срок амортизации. Если он равен сроку амортизации, то окажется, что перераспределение издержек вследствие перехода в вторую граничную линию компенсирует дополнительную первоначально экономию в единовременных затратах к моменту полной амортизации сооружения. Следовательно, сбалансируется остаточный счет прибылей и убытков, тогда при меньшем сроке компенсирования останется в конечном счете перерасход по сравнению с вариантом для меньшего сечения. В четвертой зоне нормально должно быть соблюдено неравенство: $-T_{am} > T' > -\infty$.

На рис. 1 был показан вид экономической характеристики, построенной непосредственно изучаемого сооружения. Однако имеется возможность так составить исходные уравнения во всех решительно случаях практического применения нашего метода, чтобы показатели Sh_n и T' были собраны в одном множителе, включенном не имеющем в своем составе никаких величин, помимо изданного индивидуального проекта и могущего быть общим множителем для всех аналогичных задач. Прием позволяет отделить экономический показатель для выбора параметра от всех технических, придать ему универсальное значение, роль простейшей модели экономической характеристики и математическое выражение размерного показателя.

Из формулы (2) мы получим для зон с огра-

⁸ Могут быть случаи, когда условия работы сооружения приводят к другому максимальному сроку оккупаемости, чем срок амортизации. Например, в случае выбора диаметра тоннеля Ульбинской гидростанции, строившейся в районе, в котором будет через несколько лет дешевая энергия гидростанций Большого Иртыша, было бы нерационально принимать срок оккупаемости больший, чем число лет до момента подачи в этот район электроэнергии от Усть-Каменогорской гидростанции. При расчете линий передач возможен случай, когда через несколько лет данная линия перестает быть питательной, а перейдет на роль резервной маневренной линии. Тогда предельный срок оккупаемости должен быть взят, учитывая возможное время наступления этого коренного изменения условий эксплоатации.

ельным T' :

$$-\frac{F'(x)}{K_N f(x)} = \frac{Sh_n T' + 1}{K_N T' + 1} = \frac{\frac{Sh_n}{K_N} + \frac{1}{T'}}{p + \frac{1}{T'}} = C_1 = \Phi(x). \quad (9)$$

Из формулы (4) $\Phi(x_0) = 1$,

откуда

$$\frac{F'(x)}{K_N f'(x)} = \Phi(x) = \Phi(x_0) C_1 \quad (10)$$

или

$$x = x_0 F(C_1). \quad (11)$$

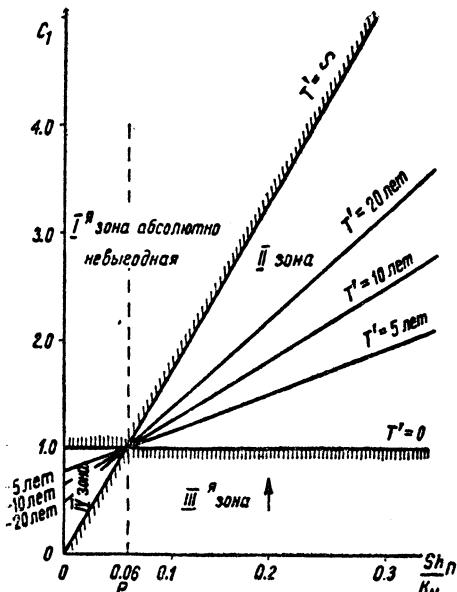
Мы привели нашу задачу в самом общем виде к определению двух множителей x_0 и $F(C_1)$, при чем первый из них вычисляется по проектным данным без всяких народнохозяйственных соображений и имеет размерность искомого параметра и физическое значение: величина параметра, при котором капитальные затраты в системе, зависящие от параметра, минимальные. Второй множитель является функцией некоторой безразмерной величины (обычно степенная функция) C_1 , зависящей как от основного экономического аргумента, так и от других экономических показателей, выбираемых по народнохозяйственным соображениям. Величина C_1 изображается графически в виде пучка прямых линий (с. 2), который может служить экономической характеристикой, являющейся универсальной для тех задач разобранного нами в общем виде типа. Такой характеристике можно сделать построения, показанные нами при разборе рис. 1: построить площадку между двумя ординатами и двумя изолиниями (теперь все они прямые), найти ее площадки и сделать проверку для минимального значения основного аргумента Sh_n . Теперь экономический аргумент выражен в виде отношения стоимости киловатт-года к стоимости выделенного киловатта. Это обстоятельство позволяет, что, пользуясь экономическим показателем C , мы выбираем оптимум, практически зависимый от колебаний цен, которые у нас могут довольно значительно на протяжении числа лет, которое мы должны иметь в виду проектирования.

Но численные расчеты автора для разных методов энергохозяйства показали, что относительные величины стоимостей у нас достаточно велики и что даже при сравнении показателей энергоустановок различных стран очень часто пользоваться ими в относительной форме, т.е. на величину средней стоимости киловатта паровой станции, принимаемую при инженерных и экономических расчетах в данной стране. Ценостные показатели (стоимость киловатта, киловатт-часа, тонны условного топлива и т.д.) должны быть приняты в экономических расчетах по предлагаемому методу обязательные в ценах одного и того же года. Удобнее всего принимать их для того года, в котором проводится проектирование. При соблюдении правила относительной сопоставимости цен на параметра, базирующийся на принятых экономических показателях, останется на долгие

годы $F(C)$ — функция степенная, и зависи-

мость с положительным T' получаем в правой части равенства $\frac{Sh_n K_N - 1}{p - 1: T'} = T'$ (9a), в обоих случаях число лет T' имеет условно со знаком (+).

Рис. 2. Экономический показатель C_1 при $p = 0,06$



мость (11) может быть изображена так:

$$\left. \begin{aligned} x^m &= A \frac{K_N}{K_x} C_1 = x_0^m C_1 \\ x_0 &= \sqrt[m]{A K_N / K_x} \end{aligned} \right\} \quad (11a)$$

Мы получили теперь искомый параметр, точнее, какую-нибудь степень искомого параметра как произведение экономического показателя и двух множителей, из которых множитель A зависит исключительно от технических показателей частного случая¹⁰, а множитель $\frac{K_N}{K_x}$ изображает отношение удельных капитальных затрат в станции, покрывающие потери, и в изучаемое оборудование и может быть одинаковым для целой серии различных проектов.

$K_x' = \frac{dK_x}{dx} = F_x$ — во многих случаях величина постоянная (функция $F(x)$ линейная), например, при выборе сечения электропровода, когда не учитывается изменение стоимости опор при изменении сечения. Но не менее часто $F(x)$ не является линейной функцией. Тогда рекомендуется построить по точкам вспомогательный график

$$y = x^{\frac{m}{m-1}} \quad (12)$$

и находить сначала

$$y = \sqrt[m]{A K_N} \sqrt[m]{C_1} \quad (13)$$

после чего соответствующая величина параметра x снимается во вспомогательной кривой.

2. В тех случаях, когда по каким-либо соображениям мы отказываемся от учета капитальных затрат на станции, покрывающие потери, а учитываем только издержки производства на покрытие потерь энергии, наше основное уравнение (2) принимает вид;

$$T' = \frac{F'(x)}{p F'(x) + Sh_n f'(x)}. \quad (14)$$

¹⁰ Например, в случаях выбора сечения электропроводов $A \cdot P$ удельной потери мощности в MW или kW на одну цепь, 1 км и 1 mm^2 сечения провода [3].

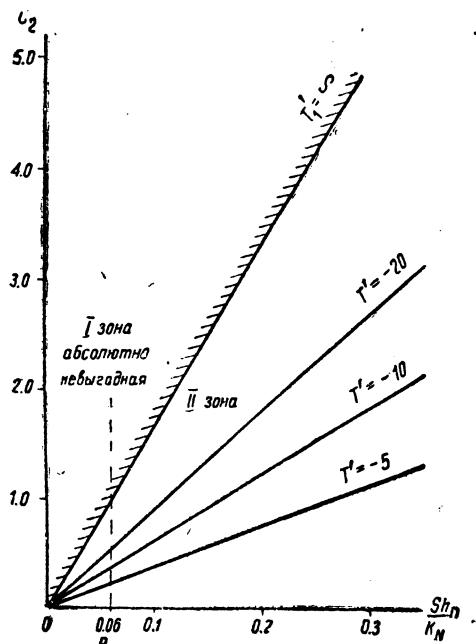


Рис. 3. Экономический показатель C_2 при $p = 0,06$

Отсюда для зон с отрицательным T'

$$-\frac{F'(x)}{K_N f'(x)} = \frac{Sh_n T'}{p T' + 1} = \frac{Sh_n}{p + \frac{1}{T'}}$$

или

$$-\frac{F'(x)}{K_N f'(x)} = \frac{Sh_n}{\left(p + \frac{1}{T'}\right) K_N} = C_2 \quad (15)$$

и мы получили опять экономический показатель, но несколько другого вида.

В этом случае минимум капитальных затрат в системе совпадает с минимумом капитальных затрат в проектируемое сооружение, которое обычно имеет место при $x = 0$.

Показатель C_2 может быть тоже представлен графически в виде пучка прямых (рис. 3), но имеет только две зоны: первая запрещенная, внутри которой величина C_2 явно чрезмерно велика, и вторая, в которой находим решение тем же способом, как и раньше.

Зоны третья и четвертая отсутствуют.

Мы при выводе формулы для C_2 разделили обе части равенства на K_N только для того, чтобы сделать показатель попрежнему безразмерным и ввести относительные стоимостные показатели вместо абсолютных.

Из сопоставления формул (10) и (15) находим простую зависимость между обоими экономическими показателями

$$C_1 - C_2 = \frac{1}{p + \frac{1}{T'}} \quad (16)$$

Если рис. 2 и 3 построить в одинаковом масштабе и для одного и того же значения величины p и наложить оба пучка друг на друга, совместив начало координат, то изолинии T' показателя C_1 и C_2 окажутся параллельными друг другу, а вторая пограничная линия, т. е. изолиния $T' = \infty$, будет общей для обоих показателей.

3. В тех задачах, в которых величина h_n сама является функцией от x , т. е. в задачах, где $x = N$, исходная функция $f(x)$ относится не к потере мощности, а к потере энергии.

Тогда основное уравнение (2) имеет вид

$$T' = \frac{F'(N) - K_N}{p [F'(N) - K_N] - S_T f' N},$$

где S_T — топливная составляющая себестоимости откуда

$$-\frac{F'(N) - K_N}{f'(N)} = \frac{S_T T'}{p T' + 1} = \frac{S_T}{p + \frac{1}{T'}}$$

для зон с отрицательным T' .

Этот вид уравнения путем умножения частей равенства на произвольную величину показателя использования h_0 , например 8000, деления на K_N позволяет пользоваться для экономического анализа тем же показателем C_2 , который изображен на рис. 3.

$$-\frac{F'(N) - K_N}{K_N f'(N)} h_0 = \Phi(N) = \frac{S_T h_0}{\left(p + \frac{1}{T'}\right) K_N} =$$

$$\text{В этом случае } f(N) = \mathcal{E}_{\text{зидро}} = \mathcal{E}_{\infty} - \frac{A}{N^m},$$

где \mathcal{E}_{∞} — выработка при $N = \infty$; $f(N) = \frac{A}{N^m}$

Постоянные \mathcal{E}_{∞} , A и m определяются проектированием по проекту для изучаемого интервала возможного изменения N по трем уравнениям.

При использовании формулой (19) нужно помнить, что вместо h_n взято произвольное число h_0 , которое должно быть введено и в левую часть уравнения, и что вместо S взята топливная составляющая S_T , т. е. произведение цены топлива на удельный расход его b . Во всех отраслях гидротехники (в электротехнике и в теплотехнике, в гидротехнике) встречается огромное количество разнообразных задач, которые могут быть ведены к разобранным нами в общем виде случаям применения экономического показателя C_2 , а рис. 2 и 3, построенные из пучка прямых для соответствующей величины амортизационные нормы p , могут служить для любых задач с определением параметра x , влияющего на величину мощности или потерю энергии, и представлять универсальные безразмерные показатели, висящие от индивидуальных проектов.

По существу мы применяем при нахождении экономического параметра, при различных нынешних условиях эксплуатации или при различных заданных значениях T' , учитывая конъюнктурные условия (какая величина вложений в временных затрат предельно допустима для достижения дополнительной экономии путем изменения параметра с удорожанием сооружения), упрощенные модели (пучки прямых вместо линий рис. 1), экономической характеристики, причем выражение $x = x_0 F(C)$ является заимствованием для экономической характеристики модели C .

Во всех случаях очень полезно для обсуждения проекта составлять, пользуясь экономическим показателем, табличку значений искомого параметра x для различных значений T' , начиная с $T' = -\infty$ (когда соблюдено условие минимума).

11 Так как в формулу (17) не входит стоимость гидротехнических сооружений, не зависящих от мощности, можно принимать одинаковые нормы амортизации гидроэлектрического оборудования (включая и соответствующую часть сетей) и для паровых электростанций, питающих потери.

режек производства в системе) и кончая $T=0$, то соблюдено для C_1 условие минимума капитальных затрат в системе.

Изложенный выше общий метод был применен втором для выбора сечения проводов проекта Куйбышевских линий электропередач на 400 kV от гидроузла до Москвы и Урала, а также для решения ряда других задач.

1. Пример применения метода к выбору экономического сечения линий электропередач 400 kV от Куйбышевского гидроузла в Москву, Горький и на Урал¹². Выбрана конструкция провода — тяг из алюминия АДП 600, замковый № 5. Для сечения 600 mm² (по алюминию) сделаны механические расчеты передачи и затем определена зависимость капитальных затрат от сечения, которая в рублях на 1 цепь и 1 km оказалась

$$F(q) = K_A = 38,7q + 21\,600q^{0,2}. \quad (20)$$

Второе слагаемое учитывает влияние сечения и стоимость опор и фундаментов:

$$F'_q = \frac{dK_A}{dq} = k_A = 38,7q + 4320q^{-0,8}. \quad (21)$$

Сделан электрический расчет линии при той же произвольной величине сечения — 600 mm² наружном диаметре $D=50$ mm с учетом компенсирующих устройств для ряда вариантов соединенной и с блочной схемой.

По П-образной схеме замещения отдельных участков с введением поправочных коэффициентов получены величины потерь мощности на полной и при нулевой нагрузке и потери на корону $\Delta P_{кор}$ в сырую и сухую погоду (по формуле Пика, видоизмененной Д. А. Городским).

Выбор экономического сечения проводов сделан тем последовательного приближения. Сначала брано сечение без учета потерь на корону предположений, что диаметр остается неизменным — 50 mm. Затем для выбранного сечения по-рано максимально возможный по техническим ограничениям (толщина стенки) диаметр.

Пользуясь ранее определенной зависимостью потерь на корону от диаметра, определены дополнительные потери вследствие снижения величины диаметра против 50 mm в тех случаях, когда это оказалось необходимым. Разность потерь была прибавлена к исходной величине, расход экономического сечения повторен. При этом естественно получилась большая величина сечения, чем раньше, но учитывающая влияние изменения диаметра. Если новому сечению соответствовал тот же диаметр (изменение диаметра мечалось скачками через 2 mm), то на этом счет для данного участка электропередач замечалась, и параметры q и D считались окончательно выбранными. Если повышенное сечение прускало повышение диаметра D , то расчет повторялся до тех пор, пока не получалось по-

следовательно два сечения при одном и том же диаметре, после чего выбиралось наибольшее.

Только на одном участке из пяти изученных пришлось получить решение после третьего приближения, на двух — окончательный ответ получен был при первом приближении, на двух — при втором (т. е. после первой же поправки на корону). С достаточной для наших целей степенью точности можно было считать потери на нагревание независимыми от изменения потерь на корону и получить их как при максимальной, так и при нулевой нагрузке путем вычитания $\Delta P_{кор}$ из рассчитанных полных. Разность потерь на нагревание при максимальной и нулевой нагрузке считалась изменяющейся пропорционально квадрату изменения нагрузки линии.

Для определения числа часов максимальных потерь на нагревание применен следующий прием: было задано число часов использования полной максимальной нагрузки каждой линии h_A и число часов нахождения линии под напряжением — 8500 в году. Предполагалось, что режим работы линии может изменяться в пределах от наиболее равномерного в году, когда в линии остается всегда аварийный резерв, и наоборот, наименее равномерного, когда линия работает всегда либо при полной нагрузке, либо при нулевой (находится в резерве под напряжением). В первом случае показатель числа часов максимальных квадратичных потерь имеет наименьшее значение: $h_A^2/8760$, а во втором случае этот показатель имеет наибольшее значение.

Были применены следующие формулы:

$$h_{\min} = \frac{8500\Delta P_0 + \frac{h_A^2}{8760}(\Delta P_{\max} - \Delta P_0)}{\Delta P_{\max}}; \quad (22)$$

$$h_{\max} = \frac{8500\Delta P_0 + h_A(\Delta P_{\max} - \Delta P_0)}{\Delta P_{\max}}. \quad (23)$$

Для каждого участка была получена величина удельных потерь мощности Π путем деления абсолютной величины потери на произведение из числа цепей и длины линий и умножения на величину того сечения (600 mm²), при котором рассчитаны потери. Зависимость потерь мощности от сечения имеет для нашего случая следующий вид:

$$f(q) = \frac{\Pi}{q}; \quad f'(q) = -\frac{\Pi}{q^2}. \quad (24)$$

Так как потери на отдельных участках передач измеряются десятками тысяч kW и соответствуют мощности крупной паровой станции, мы обязаны в данном случае учитывать влияние капитальных затрат в станции, покрывающих потери, и принимать экономический показатель в форме C_1 . Основное уравнение (10)

$$-\frac{F'(x)}{K_N f'(x)} = C_1$$

принимает вид для нашего случая

$$\frac{K_A \cdot q^2}{K_N \Pi} = C_1 \quad (25)$$

или

$$q = \sqrt{\frac{K_N \Pi}{K_A}} \cdot \sqrt{C_1} = q_0 \sqrt{C_1}. \quad (26)$$

Пример приводится по работе, выполненной по поручению ТехноТеплоэлектропроекта в ноябре 1939 г. кафедрой энергетики Московского энергетического института им. М. В. Ломоносова под руководством автора, причем электрический расчет выполнен кафедрой электрических сетей под руководством проф. А. Я. Рябкова. Выбор сечения и диаметра произведен при помощи описанного выше метода при минимальном экономического показателя C_1 .

Таблица

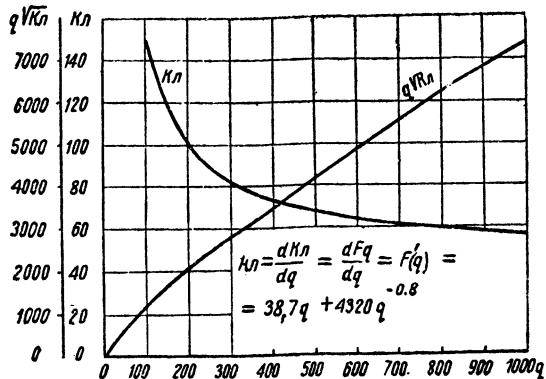


Рис. 4. Зависимость относительного прироста капитальных затрат в линии электропередачи от сечения

Вид формулы тот же, что и в простейшем случае выбора сечения провода без учета изменения стоимости опор, но k_n теперь сама функция от q . Преобразуем формулу так:

$$q\sqrt{k_n} = \sqrt{K_n} \bar{P} \sqrt{C_1}. \quad (27)$$

По точкам, задаваясь различными значениями q , строим вспомогательную кривую (рис. 4):

$$q\sqrt{k_n} = \Phi(q) = q\sqrt{38,7 + 4320q^{-0.8}}. \quad (28)$$

Для различных значений T' и свойственных каждому участку величин S и h рассчитаны множители $\sqrt{K_n} \bar{P}$ и $\sqrt{C_1}$; по ним определено $q\sqrt{k_n}$, а по вспомогательной кривой найдены величины q .

В табл. 1, 2 и 3 приводим* исходные данные и результаты расчета отдельных участков линий электропередач.

Таблица 1

Линии электропередач	$h_{n\min}$	$h_{n\max}$	$S_{cp}h_{cp}$ руб/мвт·год	Формула для C_1 при среднем Sh_n
Куйбышев — Горький (связанная схема)	3640	5800	276 000	$0,183 + \frac{1}{T'}$ $0,06 + \frac{1}{T'}$
Горький — Москва (связанная схема)	3150	5200	252 000	$0,168 + \frac{1}{T'}$ $0,06 + \frac{1}{T'}$
Куйбышев — Москва (блочная)	4850	6140	283 000	$0,155 + \frac{1}{T'}$ $0,06 + \frac{1}{T'}$
Куйбышев — Уфа	2610	4530	180 000	$0,12 + \frac{1}{T'}$ $0,06 + \frac{1}{T'}$
Уфа — Златоуст (связанная) . .	2260	4320	165 000	$0,11 + \frac{1}{T'}$ $0,06 + \frac{1}{T'}$

* $K_N = 1,5 \cdot 10^6$ руб/мвт; $p = 0,06$; $S_{cp} = 6$ коп/квт·ч = 60 руб/мвт·ч для центра и 50 руб/мвт·ч для Урала.

Линии электропередачи	Число линий n	Длина линий L km	Максимальные нагрузки P_m MW
Куйбышев — Горький (связанная схема)	5	530	900
Горький — Москва (связанная схема)	4	302	628
Куйбышев — Москва (блочная)	4	880	220
Куйбышев — Уфа (связанная)	2	450	360
Уфа — Златоуст (связанная)	2	270	264

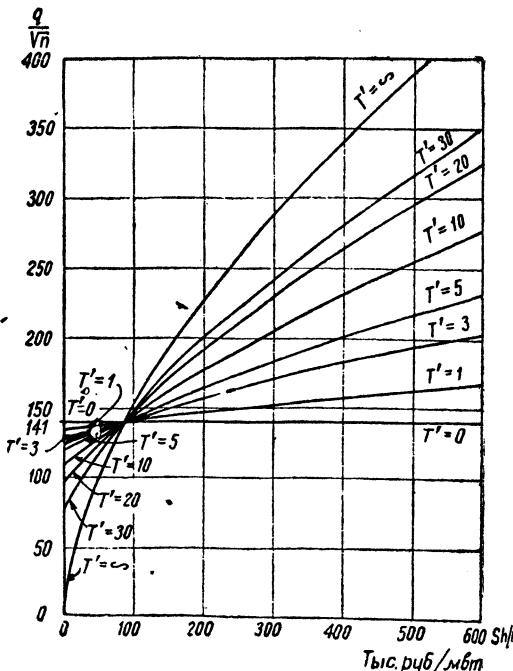
Диапазон изменения S для центра от 40 до 80 руб., для Урала — от 40 до 60 руб. дан в табл.

Таблица
Оптимальные параметры

$T' = \infty$, мин. ежегодн. издержек	20	10	7,5	5	$T' = 0$, мин. един. новр. затрат	Выбран без учета потерь на корону при $D = 50$ мп	С пониж. к.э. при $D = 50$ мп	q

Куйбышев — Горький	728	585	525	498	472	370	500	500
Горький — Москва	620	500	450	427	405	320	425	450
Куйбышев — Москва	824	670	588	556	492	386	550	550
Куйбышев — Уфа	560	475	445	430	424	360	450	450
Уфа — Златоуст . .	398	343	325	315	305	273	300	400

На рис. 5 показана экономическая характеристика, построенная для всех вариантов электропередачи. На оси ординат нанесены сечения,

Рис. 5. Экономическая характеристика электропередачи при $K_n = 38,7 + 4320q^{-0.8}$, $p = 0,06$, $K_N = 1,5$ млн. руб.

$$\frac{q}{\sqrt{N}} = \Phi(Sh_n T')$$

ленные на квадратный корень из удельных потерь, вытекающие с характеристиками величины ординат надо множить на квадратный корень из удельных потерь для того варианта, для которого надо определить сечение. На рис. 6 характеристика для всех вариантов электропередач построена в другом виде: на оси ординат нанесены величины T' , а по абсциссе $q: \sqrt{P}$. Дано семейство кривых, показывающих зависимость T' от сечения для различных значений стоимости киловатт-года потерь. Эта диаграмма позволяет наметить для различных случаев величины сечения, не имея заданных пределов для T' , а руководствуясь скоростью изменения T' при изменении сечения, т. е. скоростью возрастания величины дополнительных капитальных затрат, приходящихся на один рубль дополнительной ежегодной экономии в издержках производства.

Обе диаграммы (5) и (6) дают непосредственно величину сечения для случая, когда удельные потери P равны 1 MW на 1 цепь, 1 km длины и 1 mm² сечения и являются моделью для линий данной конструкции, капитальные затраты на которые выражаются формулой $K_s = F(q) = 38,7q + 1600q^{0.2}$.

Исходя из нижеследующих данных об изменении зависимости потерь на корону от диаметра при одинаковом сечении, было вычислено, что повышение диаметра вверх 50 mm экономически целесообразно, так как дополнительная экономия в потерях не соответствует приросту капитальных затрат. Для участка 3 в сырую погоду $\Delta P_{\text{кор}}$ при $D=46$ mm — 23,2 MW, $D=48$ mm — 11,9 MW, $D=50$ mm — 5,57 MW.

Однако все расчеты, связанные с выбором экономического диаметра, в цитируемой работе носят характер только предварительных соображений, которые нуждаются в дальнейшей разработке.

Для того чтобы получить представление об абсолютных величинах единовременных и ежегодных затрат, связанных с сечением провода, приводим ниже для различных сечений провода

Таблица 4

$T' = \infty$ минимум ежегодных затрат в системе	$T = 7,5$ лет выбранное сечение	$T = 0$ мини- мум единовре- менных затрат в си- стеме	Для сравне- ния (точка в зоне III)
Сечение $q=824$ mm	550	386	300
Расход алюминия на 1 km и 1 цепь	6,85	4,6	3,23
Капит. затраты, руб.			
на 1 km линии	114 500	97 300	85 900
на станции, покрывающие потери	13 600	20 500	29 200
Итого	128 100	117 800	115 100
Издержки производства, руб.			
на линии (6%)	6 870	5 850	5 150
на потери	3 640	4 550	6 470
Итого	9 910	10 40	12 620
			13 050

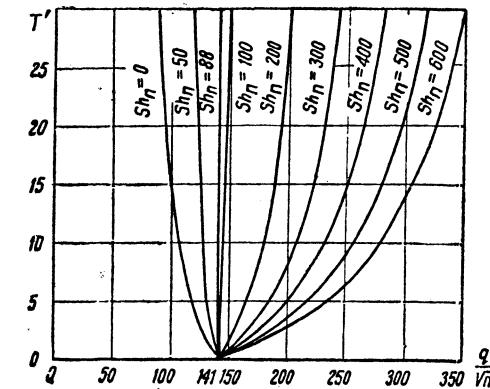


Рис. 6. Характеристика сроков компенсирования прироста капитальных затрат при $K_s = 38,7 + 4320 q^{-0,8}$, $p=0,06$, $K_N = 1,5$ млн. руб/мвт

линии Куйбышев — Москва эти абсолютные показатели в рублях на 1 цепь и 1 km.

Сроки компенсирования разности капитальных затрат за счет дополнительной экономии при переходе от

$$q_0 = 386 \text{ до } q = 550 \quad T = \frac{2700}{2200} = 1,22 \text{ г.}$$

при переходе от

$$q = 550 \text{ до } q_{\infty} = 824 \quad T = \frac{10300}{490} = 21 \text{ г.}$$

при переходе от

$$q_0 = 386 \text{ до } q_{\infty} = 824 \quad T = \frac{13000}{26.00} = 4,84 \text{ г.}^{18}$$

Для электропередачи в целом переход от выбранного сечения 550 mm² к сечению 824 mm² повлек бы за собой дополнительный расход алюминия в размере: $2,25 \times 4 \times 830 = 7470$ t стоимостью около 35 млн. руб. (не считая удорожания опор и фундаментов от повышения сечения), в результате чего ежегодные расходы снизились бы только на $490 \times 4 \times 830$ около 1,7 млн. руб.

Нерациональность доводить сечение до точки минимума издержек производства очевидна.

Для всех изученных участков линии были составлены и другие показатели T' в натуральных единицах вместо денежных, пользуясь следующими формулами.

Расход алюминия на 1 MWh экономии в потерях:

$$T'_q = \frac{\partial G}{\partial \mathcal{E}} = -\frac{g_0 q^2}{\Pi_h h_n} = -\frac{8,31 q^2}{\Pi_h h_n} \frac{\text{kg}}{\text{MWh}}. \quad (29)$$

Расходы алюминия на 1 t экономии в топливе

$$T'_{\partial \mathcal{E}} = \frac{\partial G}{b \cdot \partial \mathcal{E}} = \frac{13,8 q^2}{\Pi_h h_n}. \quad (30)$$

Срок компенсирования затрат электроэнергии на дополнительную выплавку алюминия за счет дополнительной экономии в потерях энергии (считая по 20 MWh на 1 t алюминия).

$$T'_a = \frac{\partial G}{\partial \mathcal{E}} = -\frac{\partial a g_0 q^2}{\Pi_h h_n} = -\frac{166 q^2}{\Pi_h h_n} \cdot 10^{-3}. \quad (31)$$

Мы убедились в том, что такие показатели могут иметь значение контрольных для учета конъюнктурных требований, но пользоваться ими гораздо менее удобно, чем денежными: они не дают резких точек перегиба, не имея минимумов и никаких естественных лимитов. Поэтому в отличие от денежных показателей T' натуральными

¹⁸ Из сопоставления трех значений T' яствует, что использование сроков окупаемости для выбора параметра дает правильные выводы только при исследовании срока окупаемости T' бесконечно-малых, или по крайней мере очень малых конечных приращений, что и принято в нашем методе.

можно пользоваться, только задаваясь более или менее произвольно какими-либо нормативами. В нижеследующей таблице показаны некоторые примеры.

Натуральные показатели для выбранных величин сечения провода

	q	D	T'_d kg	$T'_{d\theta}$ kg	T'_a
Куйбышев — Горький	500	50	62,5	163	1,25
Горький — Москва	450	48	73,5	122	1,47
Куйбышев — Москва	550	50	60,5	83	1,22
Куйбышев — Уфа	450	48	57,0	95	1,25
Уфа — Златоуст	400	46	56,3	93,5	1,15

Первая же описанная выше вкратце работа по выбору экономических параметров линии показала возможность очень значительной экономии в цветном металле по сравнению с прежними расчетами, когда для всех участков без всяких экономических соображений принимались параметры: 600 mm^2 сечения по алюминию и диаметр 48 мм. Экономия от перехода на вышеуказанные сечения для отдельных участков составит в сумме до 5800 т алюминия.

2 Выбор мощности N гидростанции в случае, когда с увеличением N существенно растет выработка \mathcal{E} .

Капитальные затраты $K = F(N)$ $F'(N) = K_N = \Delta K$.

Потери энергии $\mathcal{E}_n = f(N) = -\frac{A}{N^2}$.

Основная формула дает:

$$N^2 = 2A \cdot \frac{K_N}{\Delta K} \cdot \frac{S_{Th_0}}{\left(p + \frac{1}{T'} \right) K_N}.$$

Для заданного T' можно построить мощность как функцию относительной стоимости добавоч-

ного килловатта (включая линии передач), как функцию от топливной слагающей себестоимости электроэнергии паровых станций, имеющих потери, либо как функция от стоимости тонны условного топлива, сжигаемого на станциях.

Для Куйбышевского гидроузла получилось:

$$= 1400 \sqrt[3]{\frac{K_N}{\Delta K}} \sqrt[3]{C_2}.$$

3. Выбор числа агрегатов гидростанции, с увеличением этого числа средняя годоваяработка электроэнергии \mathcal{E} остается практически неизменной и только снижается холостой расход топлива на паровых станциях в системе, в которой дополнительные агрегаты играют роль пиловых (случай Рыбинской гидростанции при работе на Московскую систему).

Капитальные затраты (включая линии передач) $K = F(N)$; $F'(N) = K_N$.

Из основной формулы получаем:

$$\frac{K_N}{K_N} = 1 + \frac{\frac{CB_0}{C_1}}{\left(p + \frac{1}{T'} \right) K_N} = 1 + C_1,$$

где B_0 — холостой расход топлива паровых станций в год на 1 kW в тоннах условного топлива C — стоимость тонны условного топлива в рублях.

Решение поставленной задачи: надо выбрать максимальное число агрегатов, при котором суммарная стоимость дополнительного килловатта соответствующая стоимость на 1 kW линий передач, деленная на стоимость килловатта вытесняемой гидростанцией паровой мощности, превышает не более чем на единицу величину экономического показателя в форме C_1 , где стоимость килловатт-года играет стоимость за холостого расхода топлива каждым килловаттом вытесняемых в пиках паровых станций. На Рыбинской гэс такое положение имеет место при шести агрегатах по 55 MW.

ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИИ

Технические требования к конструкции печных трансформаторов

Н. И. БУЛГАКОВ

Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

Широкое распространение электротермии для разнообразных технологических процессов обуславливает также большое разнообразие типов электрических печей и трансформаторов к ним. Достаточно будет указать, что наряду с печами, работающими с открытой вольтовой дугой, например сталеплавильными, и с печами, работающими с закрытой дугой, например, карбидного типа, имеется еще целый ряд других типов печей — индукционные, карборундовые и графитационные, нагревательные, корундовые и др.

Некоторой иллюстрацией разнообразия электротермических процессов могут служить изображенные на рис. 1—4 графики нагрузок различных

электропечных трансформаторов. На этих рисунках показано, что кампании плавок для разных печей измеряются и минутами, и часами, и сутками, месяцами.

При применении печей одного и того же типа часто требуются различные напряжения на электродах в зависимости от того, для каких целей применяется печь — для производства карбида кальция или фосфора, или никеля и т. д.

Все это вместе взятое свидетельствует о том, что об электропечном трансформаторе как об аппарате с вполне четко выраженным техническим назначением говорить не приходится. Скорее можно сказать, что типов электропечных трансформаторов

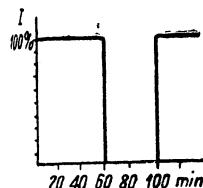


Рис. 1

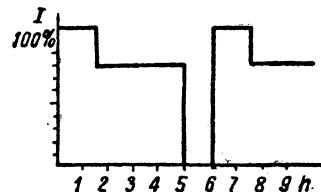


Рис. 2

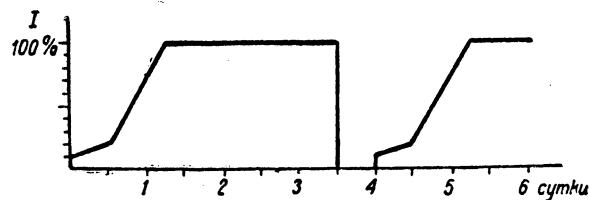


Рис. 3

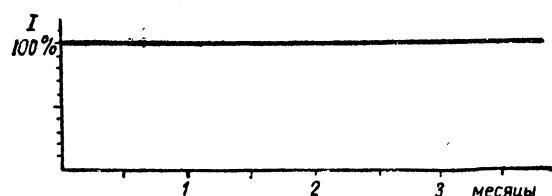


Рис. 4

имеется столько, сколько сконструировано типо-размеров печей, умноженных, пожалуй, еще на количество различных электротермических процессов, ведущихся в каждом типе печей (сталь, ковкий чугун, фосфор и др.).

Бесспорно, что при существующей большой потребности в силовых трансформаторах вышеуказанное разнообразие типов электропечных трансформаторов является существенным тормозом в развитии электротермии. Поэтому проектирование как трансформаторов, так и всей электрической части электропечной установки («короткая сеть», электроды, распределительство и т. п.) должно быть организовано в жестких рамках стандартных деталей и типов аппаратов.

Требования, предъявляемые к конструкции трансформаторов для дуговых электропечей. 1. До последнего времени довольно ярко была выражена тенденция к увеличению мощности электропечных агрегатов как у нас, так и за границей. Так известно, что в США имеются сталеплавильные печи емкостью до 100 т, в Японии — на 75 и 60 т. Самое большое распространение получили в США, Англии и Германии печи

на 30 т с трансформаторами мощностью . . .	6000—7000 kVA
на 15 т	4000—4500
на 10 т	3000—3500

Все же наибольшее количество печей имеют емкость от 3 до 10 т. В настоящее время за границей несколько замедлились темпы повышения емкости печей, что связано, очевидно, с вопросами строительства новых цехов, освоения построенных агрегатов, потребностями выплавки больших масс стали и т. п.

Что касается печей для руднотермических процессов, то мощности 25 000 kVA были достигнуты уже сравнительно давно, но сейчас тенденция к повышению мощности недостаточно явно выражена.

Вопрос о том, является ли для нас обязательной тенденция к повышению мощностей печей, относится, с одной стороны, непосредственно к металлургии, а с другой стороны, тесно связан с общекономическими вопросами всего народного хозяйства СССР, что подлежит отдельному рассмотрению.

2. С точки зрения механической устойчивости обмотки трансформаторы для печей с открытой и крытой дугой находятся в различных условиях. Было известно, что в процессе расплавления шихты сталеплавильной печи происходят обвалы шихты, приводящие к значительным толчкам тока. Таких толчков тока не наблюдается в процессе работы руднотермических печей. Кроме того, из сравнения 2 и 4 видно, что трансформаторы для сталеплавильных печей несравненно более часто подвергаются включениям и выключениям, чем трансформаторы для руднотермических печей с закрытой дугой.

самого начала развития электротермии

трансформаторы для сталеплавильных печей защищаются дроссельными катушками, ограничивающими амплитуды толчков тока. Практика показала, что надежная работа трансформаторов, питающих руднотермические печи, возможна и без дроссельных катушек.

Кроме того, остается в силе тот факт, что ограничение величины толчка тока при помощи дроссельной катушки до 2,5—4-кратного значения номинальной величины тока сильно повышает расходы по эксплуатации печи из-за низкого значения cos φ. Поэтому возникает стремление обойтись без дроссельных катушек, ограничив толчки тока, например, до 10-кратного значения номинального тока путем увеличения реактанса трансформатора. Этот вопрос разбивается на две части.

С одной стороны, мы встречаемся здесь с мало исследованной областью о допустимом для обмотки числе коротких замыканий. Этот вопрос имеет весьма большое значение не только для печных, но и для силовых трансформаторов. Возможно, что при решении этой задачи не придется ограничиться только теоретическими и экспериментальными исследованиями в лабораториях, но придется также вести одновременно с лабораторными исследованиями эксплуатацию опытного трансформатора.

С другой стороны, надо иметь в виду, что усиление конструкции должно в этом случае коснуться не только трансформатора, но должны быть соответственно усилены кабели, маслянники, трансформаторы тока и прочая аппаратура, что может вызвать дополнительный расход цветных металлов. Поэтому должны быть произведены и экономические расчеты, т. е. сравнение увеличения капитальных затрат с экономией потерь электрической энергии.

3. Как указано выше, режим нагрузок трансформаторов для сталеплавильных печей сильно отличается от режима нагрузок для руднотермических печей, поэтому естественно было бы ожидать различных требований к термической устойчивости этих трансформаторов.

Собственно говоря, термин «термическая устойчивость» в данном случае не вполне подходящий. Вопрос сводится к нормам нагрева обмоток и к их перегрузочной способности. Однако в этом вопросе есть еще много неясностей.

В самом деле возьмем наиболее распространенные гарантии на перегрузки трансформаторов для сталеплавильных печей, а именно:

После длительной полной нагрузки:

Перегрузка 100% допустима	5 min
50%	1/2 h
25%	2 h

После холостого хода:

Перегрузка 250% допустима	10 sec
100%	1/2 h
50%	1 h
25%	4 h

Одна французская фирма гарантировала перегрузки 50% в течение 15 min, 25% в течение часа. В конце концов вопрос не в том, допускается ли перегрузка 50% в течение 15 min, или в течение большего или меньшего времени, а в том, что должны дать для эксплуатации эти нормы на перегрузки и какими ими надо пользоваться.

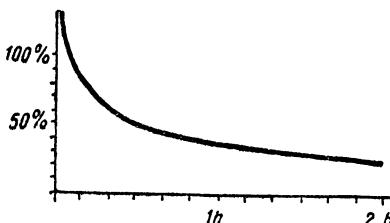


Рис. 5

На самом деле на основании приведенных выше данных можно провести некоторую плавную кривую, как показано на рис. 5. Но и эта кривая ничего не объясняет, ибо не освещены основные вопросы, а именно:

а) Какова допустимая повторяемость этих перегрузок, т. е. допустима ли 100%-ная перегрузка в течение 5 min один раз в течение часа или одной плавки, или одного дня, или одного месяца?

б) Равнозначны ли все эти перегрузки с точки зрения термической нагрузки обмоток, т. е. можем ли мы получить по первому вопросу один ответ: каждая перегрузка допустима через x часов, или же по первому вопросу должен получиться ответ в таком духе, что при длительностях, указанных на рис. 5,

перегрузка P_1 допустима один раз в A_1 h
 P_2 в A_2 h

и т. д.?

в) Далее, как надо оценить возможный срок новой перегрузки, ее величину и длительность, если предшествовавшая перегрузка длилась меньше, чем указанное на рис. 5 время?

г) Наконец, печь очень часто работает сравнительно длительное время (полчаса, час) с неполной нагрузкой. Какие перегрузки допустимы в этих случаях?

Поскольку приведенные выше гарантии на перегрузки или кривые по рис. 5 не могут дать ответа на эти вопросы, то на основании этого можно ясно представить себе всю неправильность технического определения перегрузок, данных в указанной выше форме.

Отсюда ясно, что вопрос термической устойчивости обмоток должен быть существенно пересмотрен. При этом необходимо учитывать, что для нагрева обмоток трансформатора существенное значение имеет не среднее значение, а среднеквадратичное значение тока. По литературным данным отношение среднеквадратичного значения тока к среднему значению тока для сталеплавильных

печей в период расплавления может колебаться в пределах от 1,15 до 1,25.

Кроме того, вопрос термической устойчивости следует привести в соответствие с современными взглядами на старение изоляции, т. е. на зависимость между температурой и длительностью воздействия температуры на изоляцию обмоток.

Режим нагрузки трансформаторов для рудных термических печей отличается более спокойным характером (рис. 4). Вопросы перегрузок возникают здесь чаще всего на почве стремления использовать все резервы мощности трансформатора печи. Таким образом в силу указанного характера работы печи вопросы перегрузок фактически сводятся к перенаркировке трансформаторов на повышенную мощность. Возможность такой перенаркировки определяется индивидуально в каждом конкретном случае в зависимости от типа трансформатора, степени его износа и способов, какими этот резерв мощности предположено использовать.

4. Третьей отличительной особенностью трансформаторов для электропечей является наличие регулировки вторичного напряжения. Для трансформаторов к сталеплавильным печам эта регулировка осуществляется обычно иначе, чем у трансформаторов к рудным печам, а именно у трансформаторов для сталеплавильных печей первичная обмотка переключается с треугольника в звезду для снижения вторичного напряжения со 100 на 57%. Только для печей на 10 t и выше требуется одна промежуточная ступень вторичного напряжения порядка 75%.

При наличии у трансформатора нескольких величин вторичного напряжения всегда возникает вопрос о величине мощности на каждой ступени вторичного напряжения. Обычно этот вопрос решается в двух направлениях: либо мощность трансформатора задается постоянной на всех ступенях вторичного напряжения, либо вторичный ток задается постоянным на всех ступенях вторичного напряжения, т. е. мощность трансформатора уменьшается пропорционально снижению вторичного напряжения. Наличие нескольких ступеней вторичного напряжения вызывает, вообще говоря, увеличение типовой мощности трансформатора, зависящее от величины диапазона регулировки вторичного напряжения, т. е. от величины

$$P = \frac{U_{2\max} - U_{2\min}}{U_{2\min}} 100\%.$$

Теоретически в случае постоянной мощности всех ступеней вторичного напряжения увеличение типовой мощности составляет P^0 . Если же вторичный ток остается постоянным во всем диапазоне регулировки, то увеличение типовой мощности трансформатора равно $1/2 P^0$. Практически увеличение выше теоретической величины, здесь играет роль еще целый ряд факторов. Увеличение типовой мощности не имеет места в случае переключения всей первичной обмотки с треугольника на звезду при условии постоянной величины вторичного тока и отсутствия промежуточных пленей напряжения.

К трансформаторам для сталеплавильных предъявляется требование постоянной величины вторичного тока во всем диапазоне регулировки (трансформаторы «с падающей мощностью»).

Несколько иначе обстоит дело с трансформаторами для руднотермических процессов. Период эксплуатации печей внесла целый ряд изменений в первоначальные технические данные. М

привести несколько примеров, когда эксплуатация печей ведется успешно на напряжениях, полученных искусственным путем и не предусмотренных проектами. Наиболее ярким примером является эксплуатация трансформаторов фирмы Сименс-Шукерт для печей типа Мигэ.

Во-первых, на некоторых из этих печей успешно осваиваются такие процессы, которые раньше не имелись в виду, например, плавка 75% ферросилиция.

Во-вторых, даже при выплавке 45% ферросилиция оказалось целесообразным так пересоединить концы вторичной обмотки, что на зажимах трансформатора стало возможным получить удвоенное вторичное напряжение. Правда, это пересоединение используется полностью, но все же надо отметить тот факт, что печь работает на вторичное напряжение, значительно превышающее (на 35—40%) номинальные данные фирмы.

В-третьих, оказались почти совершенно излишними и широкий диапазон регулировки вторичного напряжения и большое число (56) вторичных ступеней напряжения. В работе используются около десяти ступеней напряжения и значительно меньший диапазон регулировки.

Другой пример показывает, что без изменения конструкции руднотермической печи вторичное напряжение трансформаторов при расширении одного завода было повышенено сначала на 8% по сравнению с уже работавшими трансформаторами иностранной фирмы. Через пару лет путем искусственной комбинации пересоединения концов обмоток вторичное напряжение было повышенено еще на 13%, хотя назначение печи не изменилось и не изменилась конструкция печи.

Необходимо отметить также, что у большинства установок не использовались дистанционные приводы для переключения ступеней напряжения, и эксплуатация весьма удачно велась при применении только ручного привода. Объясняется это тем, что необходимость переключения ступеней напряжения возникает крайне редко и только там, где имеются благоприятные условия с точки зрения лимитирования энергии. Нормально печь может работать несколько месяцев без изменения вторичного напряжения. Этот отказ от малоиспользуемых дистанционных приводов позволит сэкономить около 5000—6000 руб. на стоимости каждого трансформатора.

Наконец, у трансформаторов для руднотермических печей необходимо более рационально производить выбор мощностей на всем диапазоне регулировки вторичного напряжения. Практика эксплуатации большого числа установок показала, что работа печи происходит исключительно на высшей ступени напряжения. Низшие ступени нужны лишь эпизодически, в случаях, выходящих из рамки нормальной работы печи, когда не требуется полной мощности. Естественно, если отказаться от постоянной мощности на всем диапазоне регулировки вторичного напряжения, то можно достигнуть некоторой экономии в стоимости трансформаторов.

Кроме того, у всех мощных руднотермических печей наблюдается такое положение, что печь до-
с^тс^яет повышение напряжения и мощности, транс-
форматор тоже имеет резерв мощности из-за ис-
пользования его с полной мощностью на всем диапа-
зоне регулировки, а вместе с тем за редким ис-
ключением нельзя использовать полностью этот ре-
зерв мощности трансформатора, ибо этот резерв

напряжения, на которых эксплуатация печи не ве-
дется.

Таким образом вопрос о ступенях регулировки напряжения руднотермических печей заключается не только в экономии на стоимости трансформатора, а в правильном распределении резерва мощности на интенсификацию электротермического процесса.

5. Выше были охарактеризованы основные отличительные особенности наиболее распространенных трансформаторов для электропечей. Из этого обзора можно представить, насколько сильно эти трансформаторы отличаются от нормальных силовых трансформаторов. Для полноты перечисления, всех отличительных особенностей электропечных трансформаторов необходимо упомянуть еще очевидную для всех отличительную особенность, а именно большие значения тока на вторичной стороне трансформатора, доходящие до десятков тысяч ампер.

Выше уже указывалось на необходимость стандартизации ряда величин, определяющих технические данные электропечной установки. В данном случае прежде всего имеется в виду стандартизация шкалы токов и напряжений. В обоснование необходимости стандартизовать шкалу токов можно привести следующие соображения:

а) стандартизация шкалы токов даст возможность наиболее рационально использовать медь или алюминий для шин короткой сети и других деталей к ним;

б) стандартизация шкалы токов даст наиболее правильную токовую нагрузку электродов, ограничит шкалу размеров электродов и позволит стандартизовать электродержатели, гибкие кабели и другие детали;

в) стандартизация шкалы токов совместно с шкалой числа шин на фазу даст возможность стандартизовать детали выводов вторичного напряжения трансформаторов.

В настоящее же время проекты печных установок разрабатываются многими проектными организациями различных наркоматов. Стандартной шкалы токов не имеется, поэтому выбор величин вторичных токов происходит бессистемно, и имеются случаи, когда вторичные токи отличаются друг от друга на 10—15% у достаточно близких друг к другу типов печей. Таким образом в области больших токов должна быть установлена определенная система токов так же, как это имеет место в области высоких напряжений.

Вопрос стандартизации шкалы напряжений кажется на первый взгляд более сложным. Однако здесь позволительно будет напомнить о двух предыдущих примерах изменений напряжений работающих печей, а именно о переделке выводов вторичного напряжения у трансформаторов печей Мигэ и об увеличении напряжения на $8 + 13 = 21\%$ у других указанных ранее руднотермических печей. Это свидетельствует о большой гибкости конструкции руднотермической печи как аппарата для различных электротермических процессов.

Отсюда ясно, что выбор мелких ступеней вторичных напряжений, отличающихся друг от друга на 5—6, а на печах Мигэ даже на 1%, совершенно ненецелесообразен. Необходимы ступени напряжения с более крупным шагом, например $p = 15\%$, и может быть еще выше.

С другой стороны, очевидно, что данная печь может быть использована для плавки другого ма-

териала, для которого рабочее напряжение U_2 для плавки первоначально заданного материала непригодно. Тогда можно считать, что для второго материала можно будет удовлетворить оптимуму экономических показателей при работе на одном из напряжений ряда с шагом $p\%$, т. е. на одном из нижеследующих напряжений:

$$U_2 \left(1 + \frac{p}{100}\right); \quad U_2 \left(1 + \frac{p}{100}\right)^2;$$

$$U_2 \left(\frac{1}{1 + \frac{p}{100}}\right); \quad U_2 \left(\frac{1}{1 + \frac{p}{100}}\right)^2.$$

То, что такая стандартизация напряжений может дать хорошие результаты работы печи как при плавке одного и того же материала, так и при переходе на другой материал, свидетельствуют указанные выше примеры.

Наличие стандартных шкал токов и напряжений приводит в конечном итоге к стандартизации типов, т. е. конструктивных размеров печей и типов трансформаторов к ним. Однако изготовление пе-

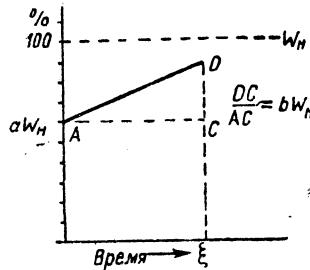


Рис. 6

чей и трансформаторов к ним допустимо не для любой пары значений токов и напряжений по этим шкалам. Наоборот, для каждого установившегося электротермического производства должны быть установлены две, максимум три типо-мощности печи как дублирующие производственные данные работающих заводов и один или два типа большей мощности как направление дальнейшего развития и интенсификации процесса. При этом очевидно, что для повышенных мощностей необходимо выбирать повышенное напряжение на дуге для улучшения экономических показателей работы печи.

Специальные вопросы проектирования электропечных трансформаторов. 1. В электротехнике существует ряд американских и европейских норм нагрева обмоток и масла. Но они до сего времени не были связаны с длительностью воздействия температуры на изоляцию, а потому не могли давать никаких данных для суждения о том, почему та или иная норма является пределом нагрева обмоток и масла. Кроме того, эксплоатация все время ставила новые вопросы, например, о допустимости перегрузок трансформатора при понижении температуры окружающей среды и т. п. На эти вопросы существующие нормы не могли дать правильного или однозначного ответа.

Эти вопросы получили вполне четкое освещение с того момента, когда Никольсом и Монтзингером было установлено, что полное разрушение хлопчатобумажной изоляции в трансформаторном масле наступает в зависимости от температуры через различные промежутки времени, получившие название «срок службы изоляции». Этот закон выражается формулой:

$$c = Ae^{-\alpha t}, \quad (1)$$

где c — срок службы в годах; t — температура изоляции; A и α — некоторые постоянные.

Этот закон проверен Никольсом и Монтзингером для температур от 70 до 250°.

Весьма интересным и существенным для оценки условий работы трансформатора является тот факт, что срок службы изоляции при температуре 105° нормированной во всех европейских странах, оказался согласно данным этого закона равным около 1,35 года по Никольсу и несколько выше по Монтзингеру, но во всяком случае значительно меньше срока амортизации электрической машины. То обстоятельство, что трансформаторы работают на практике значительно дольше, чем 1,35 года, и своего амортизационного срока в 15 лет и даже более, объясняется, во-первых, тем, что трансформаторы не все время работают с полной нагрузкой, а во-вторых, тем, что температура окружающей среды в течение года значительно колеблется. По этому получается, что обмотка трансформатора практически достигает 105° в течение ограниченного числа часов в году.

В общем виде ход расчета на основе этой теории заключается в том, что для каждой заданной температуры обмотки t и длительности ее воздействия s по формуле (1) подсчитывается с степень износа изоляции $\xi = \frac{s}{c}$. Результатирующий износ изоляции равен сумме износов изоляции при каждой температуре данного графика нагрузки. Более интересно сравнение между собой процента износа изоляции для различных графиков нагрузки. В последнем случае оказывается, что возможны неточности в определении параметра A и α , которые имеют существенного влияния на сравнение графиков нагрузки.

Обычно для удобства расчетов график потерь представляется в виде ломаной линии. Тогда расчет τ — превышения температур масла для каждого отрезка ломаной линии потерь — может быть произведен по формуле:

$$\tau = a\tau_{max} \left(1 - e^{-\frac{s}{z}}\right) + b\tau_{max} \left[\frac{s}{z} - (1 - e)^{-\frac{s}{z}}\right] + \tau_0 e^{-\frac{s}{z}}.$$

Здесь a и b характеризуют прямолинейный график потерь (рис. 6), определяемый уравнением

$$W = W_n(a + bs),$$

где W_n — потери трансформатора при номинальной нагрузке; τ_{max} — установившееся превышение температуры масла при номинальной нагрузке; τ_0 — начальное превышение температуры масла в момент времени $s = 0$; s — текущая координата времени, отсчет которой начинается каждый раз при моменте нового излома линии графика потерь z — постоянная времени нагрева масла.

Для сталеплавильных печей график нагрева (рис. 2), а следовательно, и график потерь, будет состоять только из горизонтальных и вертикальных линий, поэтому в формуле (2) коэффициент $b = 0$, она примет вид:

$$\tau = a\tau_{max} \left(1 - e^{-\frac{s}{z}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{s}{z}}.$$

В результате вычислений получается график превышения температур масла и меди обмотки окружающим воздухом в виде отрезков экспоненциальных кривых, которые мы опять-таки спро-

ем в виде ломаной линии для вычисления износа изоляции. Тогда для случая прямолинейного изменения температуры формула (1) примет вид:

$$c = Ae^{-at_2} \frac{a\Delta t}{1 - e^{-a\Delta t}}, \quad (5)$$

где t_2 — конечная высшая температура за данный промежуток времени с прямолинейным изменением температуры: $a\Delta t$ — разность между начальной и конечной температурами за тот же промежуток времени. Коэффициенты A и a — те же, что и в формуле (1).

Практические расчеты велись не по формуле (5), определяющей срок службы c , а по формуле для износа изоляции, выраженного в процентах:

$$\xi = 0,773 \cdot 10^{-6} e^{at_2} s \left(\frac{1 - e^{-a\Delta t}}{a\Delta t} \right), \quad (6)$$

где $a = 0,088$ t_2 и t — те же величины, что и в формуле (5); s — время в часах.

В соответствии с этим были произведены расчеты целого ряда графиков нагрузки трансформатора для сталеплавильной печи. При этом было принято, что:

Продолжительность расплавления составляет 1 h
рафинировки 3 h
перерыва между плавками составляет 0,8 h

В течение же расплавления и рафинировки принимались различные значения среднеквадратичных токов, а именно: токи расплавления принимались равными от 100 до 140%, а токи рафинировки — от 100 до 60% от номинального значения.

Кроме того:

Отношение потерь в меди к потерям в железе равно 3
Уменьшение потерь в железе при переключении первичной обмотки в треугольник происходит в . . . 3 раза
Постоянная времени нагрева масла 3 h
Превышение температуры масла над окружающим воздухом при номинальном режиме 40° C
Превышение температуры меди обмотки над маслом при тех же условиях 20° C
Установка трансформатора — внутренняя, причем температура окружающего воздуха изменяется от 40 до +5° C

Изменение температуры окружающего воздуха в камере по месяцам было принято синусоидальным при постоянной температуре в течение месяца.

Некоторые из графиков изображены на рис. 7, а

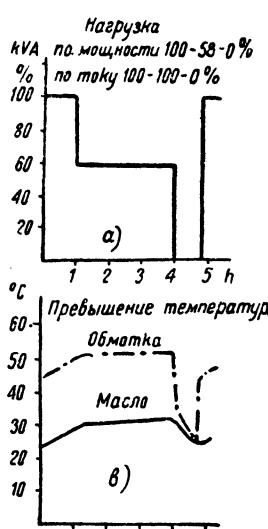


Рис. 7



Рис. 8

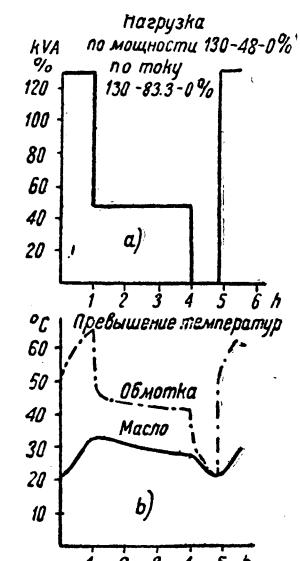


Рис. 9

b ; 8, a , b ; 9, a , b . При этом всюду принимали, что рафинировка ведется при соединении первичной обмотки в звезду, и тогда 100%-ное использование трансформатора будет при 100%-ной токовой нагрузке при расплавлении и 100%-ной токовой нагрузке при рафинировке, что сокращенно записывалось 100—100—0%. В этом случае годовой износ получился равным 5,53%, т. е. срок службы трансформатора равняется 18,1 года. Результаты расчетов для других нагрузок изображены на рис. 10.

На рис. 7, 8, 9 видно, что кривая температуры масла не следует точно за кривой нагрузки. Наоборот, в силу тепловой инерции масла последнее продолжает еще нагреваться некоторое время, хотя нагрузка резко изменилась. Далее видно, что хотя график нагрузки 115—95% и 130—83,3—0%, как показано на рис. 10, имеет один и тот же процент износа изоляции 6,03%, тем не менее кривые превышения температур масла и меди сильно отличаются друг от друга. При этом ни одна точка на этих кривых, принятая как характеристическая, не может служить для общей оценки износа изоляции, т. е. для оценки сировости термической нагрузки изоляции ни абсолютно, ни по сравнению с другим графиком.

Кривые же рис. 10 позволяют весьма наглядно сравнивать сировость термических нагрузок изоляции обмоток. Можно сразу, например, сказать, что если расплавление велось при среднеквадратичном значении тока 130% от номинального (что соответствует среднему значению тока $\frac{130}{1,18} = 100\%$ от номинального), то при токе рафинировки 80,8% от номинального будет тот же износ изоляции, что и при номинальной нагрузке. В этом случае общее использование мощности трансформатора составляет около 93%.

Можно также сразу сказать, что график 115—95—0% будет более жестким, чем график 135—70—0%; вообще кривые рис. 10 позволяют решать весьма быстро целый ряд практических задач с соблюдением одного лишь существенного условия: должно быть достаточно точно фиксировано, что для данной печи, способа регулировки электродов, конгломерата материалов, входящих в шихту, и т. п., отношение среднеквадратичного тока к среднему току составляет столько-то процентов, например 118%. В противном случае неизбежны пережог изоляции и авария трансформатора.

Если в общих чертах установлены кривые для отношения среднеквадратичного тока к среднему, то целесообразно составить кривые, аналогичные кривым рис. 10 для других длительностей процессов расплавления и рафинировки. Вместе с тем ясно, что в этом случае все вопросы перегрузок получили бы технически более обоснованное решение.

В заключение нужно отметить, что для предельного обоснования существующих норм нагрева трансформатора необходимо достаточно точно на кривых рис. 10 очертить область применяемых режимов работ сталеплавильных печей, ибо если на практике окажется, например, что работа печей

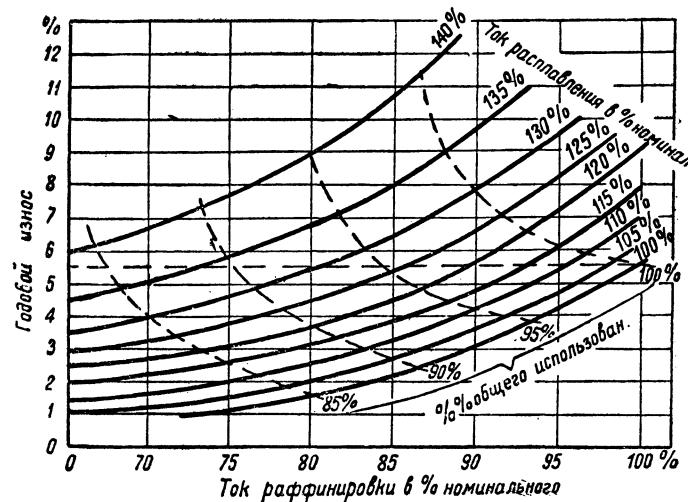


Рис. 10

происходит в основном где-то в области около точки 125—70—0%, то это будет свидетельствовать о недогрузке и плохом тепловом использовании трансформатора. Тогда нормы нагрева необходимо пересмотреть так, чтобы режим 125—70—0% давал оптимальное использование трансформатора.

2. Другим специальным вопросом проектирования электропечных трансформаторов является вопрос о раздельной регулировке напряжения фаз трансформаторов для руднотермических печей. Эта регулировка напряжения фаз трансформаторов должна служить одной из мер борьбы с явлением «дикой» и «мертвой» фаз руднотермической печи. Нормальные электропечные трансформаторы не допускают раздельной регулировки фаз, так как при этом появляются чрезвычайно большие добавочные потери в трансформаторе и существует опасность возникновения сильных местных перегревов отдельных деталей трансформатора.

Поэтому для целей раздельной регулировки напряжения фаз необходимы трансформаторы специальной конструкции. Сейчас о конкретном эффекте раздельной регулировки говорить еще преждевременно.

Тем не менее этот вопрос является чрезвычайно существенным, так как опыт проектирования специальных конструкций показал, что эти трансформаторы получаются тяжелее и дороже, чем нормальные

Некоторое представление об этом дает ниже-
следующая таблица, показывающая среднее увели-
чение веса специальной конструкции трансформато-
ра по сравнению с нормальной.

Выемная часть трансформатора — увеличение веса на	
Бак	2
Прочие детали	"
Масло	"
Общее увеличение веса всего трансформатора . . .	1

Конечно, увеличение стоимости трансформатора вызванное специальным выполнением его деталей, будет еще несколько выше. Таким образом, лицо существенное удорожание трансформатора и применение его должно быть детально обосновано.

Вопросы дальнейшего развития электропечных трансформаторов. 1. Применительно к трансформаторам для сталеплавильных печей развитие конструкций трансформаторов должно ити по следующим направлениям:

- а) разработка и внедрение стандарта вторичных токов и напряжений;
- б) использование результатов теории термического износа изоляции трансформаторов;
- в) разработка вопросов об отказе от дроссельной катушки и о повышении реактанса трансформатора.

Разрешение этих задач во многом будет зависеть от производственной ситуации завода. Последнее обстоятельство тем более существенно, что трудоемкость проектных работ на переделку серии печных трансформаторов по тому или иному варианту весьма велика, а сам по себе выпуск электропечи трансформаторов составляет лишь несколько процентов от общего выпуска завода. Поэтому относительные затраты времени и средств на перепрограммирование серий печных трансформаторов менее эффективны для завода, чем соответствующие затраты на серии нормальных трансформаторов.

2. Для трансформаторов к руднотермическим печам, помимо тех вопросов, которые были указаны, возникает еще вопрос о дальнейшем развитии конструкции трансформаторов и всей печной установки, а именно вопрос об однофазных трансформаторах для печей большой мощности.

Здесь не имеется в виду внедрения однофазных трансформаторов по типу, примененному для печи Мигэ. Эти широко рекламированные трансформаторы на практике оказались весьма неудачной конструкцией. В этих трансформаторах имели место неоднократные пожары в железе, пробои изоляции и тому подобные аварии, показавшие необоснованность рекламы до проверки конструкции в эксплуатации.

Применение трех однофазных трансформаторов мыслится для трехфазных руднотермических печей как с круглой, так и прямоугольной ванной.

Практика конструирования силовых однофазных трансформаторов показала, что стоимость трехфазных трансформаторов превышает стоимость трехфазного трансформатора на 35—38%. Для пятифазных трансформаторов превышение стоимости будет большим, так как вместо вывода на крышку трехфазного трансформатора начал обмоток трех фаз в однофазных трансформаторах потребуется вывод начал и концов трех фаз.

Существенным недостатком трех однофазных трансформаторов является, очевидно, и увеличенный объем здания для трех камер. Таким образом можно притти к заключению, что с точки зрения затрат на трансформаторы применение трех однофазных трансформаторов вместо одного трехфазного нецелесообразно.

Выше были сформулированы те требования, которые предъявляются к конструкции трансформаторов для электропечей, и были сделаны необходимые выводы из них в виде проблем, подлежащих решению в ближайшее время. Здесь надо еще раз подчеркнуть, что усилия од-

них электриков без металлургов и metallurgов без электриков для решения этих проблем будут недостаточны.

Для разрешения задач развития советской электротермии необходимо объединить творческие усилия электриков, и metallurgов.

Изучение режима работы индукционных бессердечниковых печей

А. В. ДОНСКОЙ

Ленинградский индустриальный институт

До настоящего времени наши заводы, выпускающие индукционные бессердечниковые печи, производят их электрический расчет на момент расплавленной садки, принимая при этом постоянное значение удельного сопротивления материала загрузки ρ , соответствующее температуре в пределах 800—1800°, и магнитную проницаемость материала, равную единице ($\mu=1$).

Однако работающие установки индукционных печей в силу их широкой универсальности используются при самых разнообразных условиях, существенно отличающихся от принимаемых в расчетах. Так, загрузка печи обычно производится раздробленной шихтой и порой весьма неопределенной конфигурации. Иногда по технологическим соображениям производят плавку при не полном заполнении тигля. Весьма часто в установках индукционных печей, предназначенных для плавки черных металлов, плавят цветные металлы или во всяком случае металлы с сильно отличающимися физическими данными.

К тому же большинство металлов за весь период плавки в зависимости от температуры изменяет свое удельное сопротивление в 10—15 раз, то обязывает при изучении режима работы индукционной печи при плавке любого металла читывать зависимость удельного сопротивления от температуры $\rho=f(t)$.

Не останавливаясь в данной статье на вопросе об определении эффективного значения магнитной проницаемости при работе индукционных печей, так как он требует особого рассмотрения [хотя не менее, имея в виду зависимость магнитной проницаемости от напряженности поля $\mu=f(H)$, явление магнитного скин-эффекта и влияние формы тела], можем констатировать, что на основании зависимости магнитной проницаемости от температуры $\mu=f(t)$ ее максимальное значение определяется для промышленных печей в несколько десятков (10—30).

Все это даже на основании общеизвестных усредненных аналитических формул обуславливает глубокое непостоянство режима работы промышленных установок индукционных печей с питанием любого типа преобразователей частоты. Поэтому требование, обычно предъявляемое в зарубежной практике к точности метода расчета $\pm 3\%$, по меньшей мере следует считать неприветственным, так как вычисленный режим будет соответствовать наблюдаемому с некоторым временем только в момент расплавленной садки. Качество объекта изучения автором была взята

однотонная индукционная печь типа ПО-600, работающая по схеме параллельного резонанса (рис. 1).

Приведем номинальные данные генератора и основные расчетные данные печи.

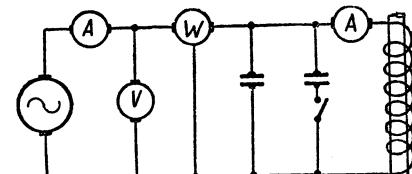
Мощность генератора $P_2=650$ кВА, напряжение $U_2=2000$ В, сила тока $I_2=325$ А, частота $f=500$ Hz.

Диаметр садки: $d_s=500$ мм; высота $h_s=735$ мм.

Диаметр индуктора $d_i=690$ мм, высота $h_i=810$ мм.

Расчетные физические коэффициенты загрузки: $\rho=110 \cdot 10^{-3}$ Ом $\text{см}^2/\text{см}$ $\mu=1$. Активное сопротив-

Рис. 1. Принципиальная схема включения индукционной печи типа ПО-600



ление: печи $R_n=0,081$ Ом; индуктора $R_i=0,0179$ Ом; металла, вносимого в индуктор, $R_m=0,0628$ Ом. Реактивное сопротивление печи $X_n=0,72$ Ом; коэффициент самоиндукции $L=0,29$ мН; емкость подключенных конденсаторов $C=421$ мкФ.

Ввиду того что изучение режима работы печи может представить интерес только за длительный период эксплуатации, а также во избежание возможных случайных выводов все графики зависимостей $R_n=f(t)$; $L_n=f(t)$; $R_{ek}=f(t)$ и т. д. иллюстрируются тремя кривыми, где кривая 1 дает среднее из 12 плавок значение, а кривые 2 и 3 дают наиболее характерные предельные значения отклонения от средневзвешенной кривой.

Измеренные значения электрических параметров индукционной печи за период плавки не превышают на точность более 3—4%.

На рис. 2 графически представлено изменение активного сопротивления индукционной печи R_n типа ПО-600 за период плавки в зависимости от времени включения генератора t . На основании этой зависимости, а также и последующих, можно сделать заключение о трех характерных периодах работы индукционной печи со следующими интервалами времени: 1) от момента включения генератора до 8—10 мин (отрезок ab); 2) от 10 до 40 мин (отрезок bc) и 3) от 40 мин до конца плавки (отр. cd).

Первый момент включения генератора на индукционную печь характеризуется для всех пла-

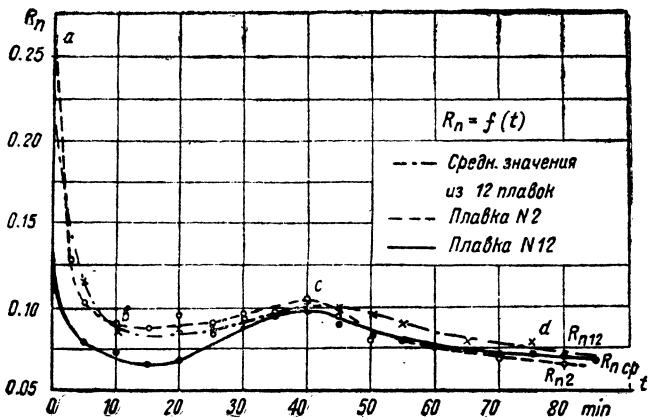


Рис. 2. Зависимость активного сопротивления индукционной печи R_n от времени включения генератора t

вок максимальным значением активного сопротивления, превосходящим расчетное его значение, соответствующее расплавленному состоянию металла, на 300—400 %. Это, как показывают эксперименты и расчет, может быть объяснено максимальным значением в этот момент магнитной проницаемости материала загрузки и отсутствием контакта между отдельными ее элементами. Затем по мере нагревания, несмотря на рост с температурой удельного сопротивления и почти постоянным значением магнитной проницаемости, активное сопротивление печи за первые 10 min работы падает почти до своего минимального значения. С интервалом времени от 8—10 min после резкого падения активного сопротивления за счет образования контактов между элементами загрузки обнаруживается тенденция незначительного увеличения R_n , так как в этот момент еще продолжается дополнительная загрузка холодной шихты. В момент времени около 40 min до начала включения, соответствующего быстрому началу падения магнитной проницаемости (средняя температура металла загрузки около 800°), активное сопротивление сначала падает быстро, а затем медленнее. Быстрое падение активного сопротивления печи происходит вследствие потери ферромагнитных свойств шихты. Дальнейшее медленное падение активного сопротивления будет происходить по мере расплавления нижних слоев, устранения контактных сопротивлений и образования сплошного блока расплавленного металла.

На рис. 3 дана зависимость коэффициента самоиндукции индукционной печи $L_n = f(t)$ от времени включения генератора; в этом случае весь режим работы печи может быть подразделен также на три основных периода. В момент включения ин-

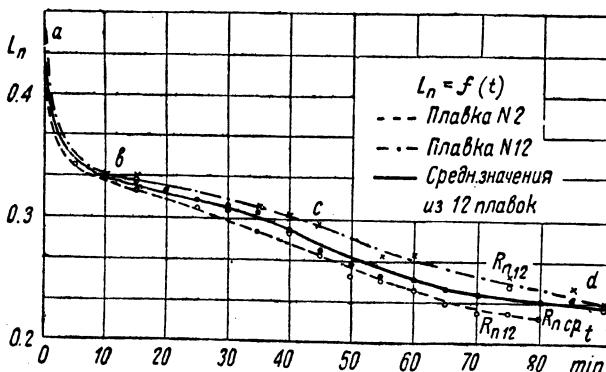


Рис. 3. Зависимость коэффициента самоиндукции L_n от времени включения генератора t

дукционная печь имеет максимальное значение коэффициента самоиндукции, превосходящее расчетное до 200 %.

Все плавильные индукционные печи работают с компенсацией их реактивной мощности до резонанса. При всех схемах образование при этом колебательного контура наиболее существенной расчетной величиной является эквивалентное активное сопротивление R_{ek} , окончательное выражение которого через электрические параметры для случая параллельного резонанса имеет вид:

$$R_{ek} = \frac{R_n R_c + m}{R_n + R_c},$$

где R_n — активное сопротивление печи; R_c — активное сопротивление конденсаторной батареи; m — волновое сопротивление колебательного контура.

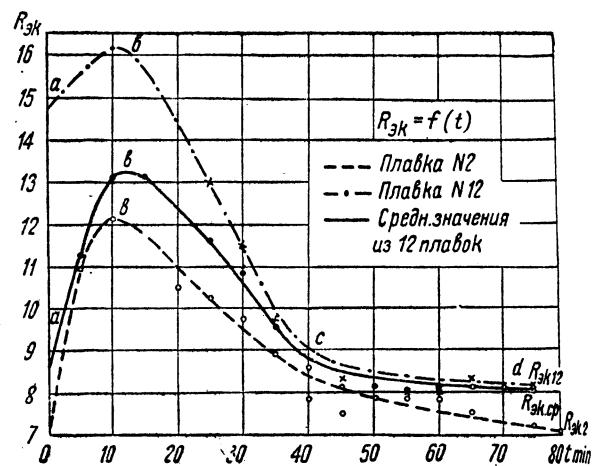


Рис. 4. Зависимость эквивалентного активного сопротивления контура печи R_ek от времени включения генератора

Так как потери мощности в конденсаторной батарее составляют 3—5 % от мощности, подаваемой в печи, то мы можем принять $R_c =$ тогда

$$R_{ek} \approx \frac{m}{R_n} = \frac{L_n}{c R_n},$$

где L_n — коэффициент самоиндукции печи; c — емкость конденсаторной батареи.

Рассмотрение графика зависимости эквивалентного активного сопротивления контура от времени включения генератора (рис. 4) с еще большей наглядностью показывает, что режим работы индукционной печи за плавку можно также разделить на три основных периода.

Первый период (отрезок $a-b$) характеризуется быстрым уменьшением значения активного сопротивления и коэффициента самоиндукции печи, что для сохранения условия резонанса обязательно увеличивать емкость конденсаторной батареи и сопровождается быстрым ростом эквивалентного активного сопротивления.

Во втором периоде (отр. $b-c$) за счет некоторого увеличения активного сопротивления и замедленного уменьшения коэффициента самоиндукции происходит сравнительно быстрое падение значения эквивалентного активного сопротивления.

Третий период (отр. $c-d$), обычно составляющий около 50 % от всего времени плавки, е

период спокойной работы печи и некоторого по-
стоянства режима.

Мощность, подводимая от генератора к печному контуру, при настройке последнего в резонанс с частотой питающего тока зависит исключительно от эквивалентного активного сопротивления нагрузки, и потому графики зависимости $P_r = f(t)$ (рис. 5) не требуют особого рассмотрения, хотя на рисунке также отчетливо могут быть выявлены три характерные периода.

Но так как все печи типа ПО-600 оказались рассчитанными на минимальное значение эквивалентного активного сопротивления, соответствую-

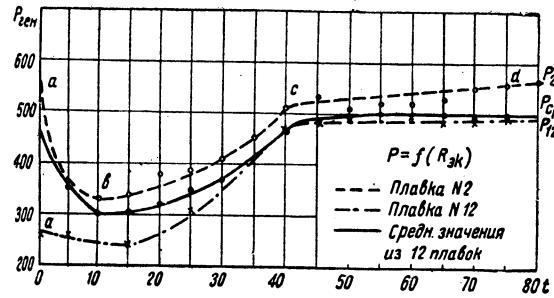


Рис. 5. Зависимость мощности индукционной печи от времени включения генератора $P = f(t)$ или от эквивалентного сопротивления контура печи $P = f(R_{\text{ек}})$

щее моменту расплавленной стали, то, следовательно, при больших значениях эквивалентного активного сопротивления мощность, подводимая к генератору, ограничивается его номинальным напряжением и подсчитывается по формуле

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_{\text{ек}}}.$$

Таким образом увеличение эквивалентного сопротивления влечет за собой уменьшение подводимой к печи мощности.

Как видно из графиков рис. 6, электрический к. п. д. индукционной печи есть величина также постоянная и за весь период плавки меняется в пределах 15—20%.

Протекание этих кривых также позволяет усмотреть некоторую закономерность в изменении, выделенную нами при рассмотрении прочих графиков.

Изменение коэффициента мощности $\cos \varphi$ (рис. 7) индукционной печи за период плавки происходит в зависимости от изменения коэффициента самотяжки печи L_n и ее активного сопротивления R_n также подчиняется закономерностям, которые мы положены в объяснение зависимостей $R_n = f(t)$; $L_n = f(t)$ и т. д.

Сохарacterные интервалы времени с несильно-меньшей очевидностью, соответствующие определенным периодам плавки, могут также быть замечены на этих кривых.

Приведенные графики с полной очевидностью показывают нас в весьма широком отклонении в практических параметрах печи за период плавки, рассчитанных на момент расплавленной садки.

Расхождение в величине коэффициента самотяжки печи L_n , измеренного в начале плавки, расчетным его значением или с измеренным в плавки, достигает 140—220%.

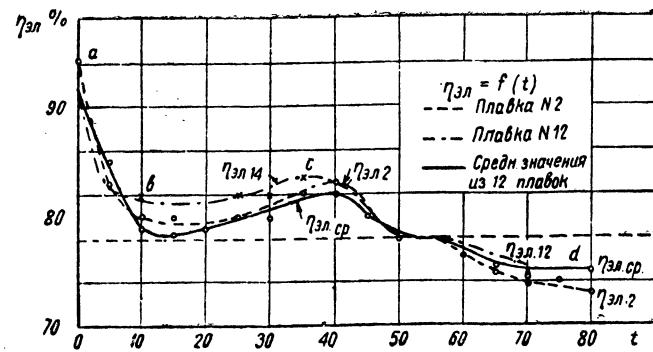


Рис. 6. Зависимость электрического к. п. д. ($\eta_{\text{эл}}$) индукционной печи типа ПО-600 от времени включения генератора

Это обстоятельство до настоящего времени не находит отражения в технических расчетах, тем не менее практически учитывается тем, что 50% емкости конденсаторной батареи всегда делаются секционированными для подстройки контура в резонанс с частотой питающего генератора.

Расхождение активного сопротивления печи R_n , измеренного в начале плавки и в конце или, что почти то же самое, по сравнению с расчетным его значением, достигает 300—500%.

Мощность P_2 , подводимая к печи, являясь функцией эквивалентного активного сопротивления контура, имеет за весь период плавки аналогичное расхождение с последним, но противоположное по знаку.

Поэтому правильнее было бы считать критерием точности расчета наибольшее значение использования генератора за весь период плавки, которым в основном будут характеризоваться тех-

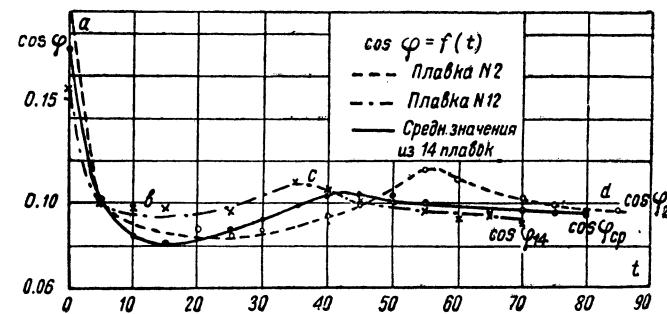


Рис. 7. Зависимость коэффициента мощности ($\cos \varphi$) индукционной печи типа ПО-600 от времени включения генератора t

нико-экономические показатели работы установки, как-то: расход энергии kWh/t , производительность t/h , время плавки t и пр.

Таким образом изучение вопроса об изменении электрических параметров индукционной печи за период плавки, кроме бесспорного теоретического интереса, имеет и большое практическое приложение.

Экспериментальные данные настоящей статьи являются предварительной частью исследовательской работы, законченной автором в лаборатории электрических печей Ленинградского индустриального института.

Нагрев вихревыми токами металлических частей опорной конструкции индукционной печи

И. А. ТОРОПОВ
Ленинградский завод „Электрик“

За истекшие последние десять лет промышленные индукционные печи высокой частоты зарекомендовали себя как вполне надежный и рентабельный металлургический агрегат. К настоящему моменту в эксплуатации находятся установки мощностью 1200—1650 kW и емкостью в 4—8 t стали.

В литературе [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] достаточно освещены вопросы теории и расчета индукционных печей высокой частоты. Нужно полагать, что на данном этапе развития промышленных индукционных печей вполне своевременно поставить задачу о рациональной опорной конструкции печей с точки зрения нагрева ее токами Фуко.

Задачу о потерях на токи Фуко в однородном магнитном поле впервые рассмотрел Thomson [11], а случай цилиндра — Heaviside [12]. Потерями от вихревых токов в массивных железных телах применительно к конструкции трансформаторов (продольные болты, крайние листы сердечника трансформатора и т. п.) занимался Э. Розенберг [10]; потери в кожухе однофазных и трехфазных трансформаторов исследовал Е. Г. Марквардт [16]. Общее состояние проблемы таково, что возможно ее разрешить и в рассматриваемом частном случае индукционной печи.

Известно, что рассматриваемый тип печи благодаря своеобразному принципу действия имеет низкий соз ψ , колеблющийся от 0,07 до 0,1, и, как следствие этого, сравнительно при небольших активных мощностях печи она имеет большие реактивные мощности.

Сосредоточение больших реактивных мощностей в небольшом пространстве, занимаемом печью, к тому же при повышенных частотах 500 Hz и более, естественно, вызывает у проектировщиков этого типа печей большие опасения о чрезмерном нагреве вихревыми токами деталей опорной конструкции.

Заводы и фирмы, строящие эти печи, различно решают вопрос об опорной конструкции печи. В СССР завод „Электрик“ строит индукционные печи с опорной конструкцией, выполняемой в форме прямоугольного параллелепипеда из мало-магнитной стали, отдельные стержни в такой конструкции между собой изолируются и не образуют замкнутых электрических контуров. Фирма Сименс-Гальске применяет в опорных конструкциях нелегированное обычное железо, но придает деталям такие сечения и размеры, при которых потери в конструкции от вихревых токов незначительны. В Швеции фирма ASEA использует для защиты каркасов печей от токов Фуко магнитные экраны из трансформаторного железа, фирма Метрополитен-Виккерс также прибегает к подобной защите. AEG применяет медную экранировку.

Из всех конструкций наиболее простой следует считать опорную конструкцию, выполняемую из обыкновенных торговых сортов железа, но при этом необходимо иметь возможность определить ее минимальные габаритные размеры, при которых будет иметь место незначительный перегрев (40—50°).

металлических деталей конструкции над температурой окружающей среды и потеря мощности более 1—2% мощности генератора.

В работающих неэкранированных промышленных индукционных печах обычно опорная конструкция выполняется из прокатных профилей металлических уголков, швеллеров, круглого, листового и полого материала. Отдельные стержни в таких конструкциях, как правило, изолируются друг от друга не образуют замкнутых электрических контуров.

Наблюдения за индукционными печами, находящимися в эксплуатации, показывают, что стержни конструкции, расположенные вертикально, параллельно оси индуктора, нагреваются сильнее, чем стержни боковые.

Стержни нижнего пояса рамы, находящиеся под индуктором, имеют степень нагрева, зависящую исключительно от расстояния до индуктора и не могут быть сравниваемы с другими стержнями.

Решение поставленного вопроса сводится к тому, чтобы определить степень нагрева вихревыми токами отдельных массивных железных стержней, расположенных во внешнем магнитном поле индукционной печи. Сложность разрешения такой задачи очевидна, поэтому приходится прибегнуть к ряду допущений, основные из которых следующие: пренебрегаем взаимовлиянием стержней ввиду их взаимной удаленности; профиль материала — уголки и швеллеры — считаем сплошными и рассматриваем как полосы прямоугольного сечения; потери будут учитываться от компоненты поля, совпадающей с осью стержня (пренебрегаем компонентой поля, перпендикулярной поверхности стержня); пренебрегаем влиянием отдельных стержней опорной конструкции на расчетные параметры печи; потери на гистерезисе не учитываются.

Мощность вихревых токов и температура греющих мест стержня. По теореме Пойнгите мощность вихревых токов

$$P_f = [EH].$$

Для определения векторов электрического и магнитного поля воспользуемся уравнениями Максвелла:

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = - \mathbf{B};$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{I};$$

и законом Ома в векторной форме

$$\mathbf{E} = \mathbf{I}.$$

Рассмотрим случай нагрева вихревыми токами стержня, помещенного во внешнее магнитное поле индукционной печи. Выделим на стержне элемент поверхности, на котором можно считать напряженность магнитного поля — величина постоянная. В этом случае из уравнений (2), (3) легко получаются следующие значения изменений напряженности как магнитного, так и электрического поля.

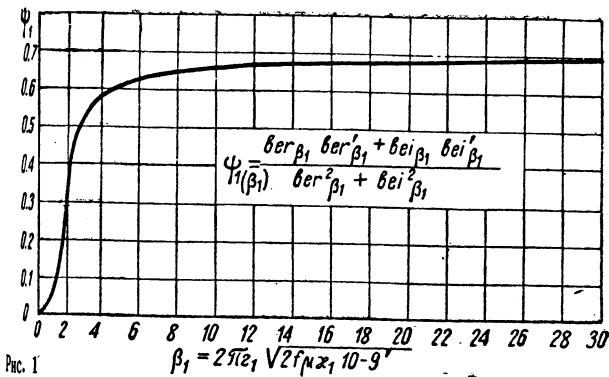


Рис. 1 $\beta_1 = 2\pi x_1 \sqrt{2f\mu x_1} \cdot 10^{-9}$

Для цилиндра

$$H_z = H_0 \frac{J_0(k_1 r)}{J_0(k_1 r_1)}; \quad (5)$$

$$E_\varphi = -H_0 \frac{k_1 J_1(k_1 r)}{x_1 J_0(k_1 r_1)}; \quad (6)$$

для пластины

$$H_z = H_0 \frac{\operatorname{ch} k_2 x}{\operatorname{ch} \frac{1}{2} k_2 a}; \quad (7)$$

$$E_y = -H_0 \frac{k_2}{x_2} \frac{\operatorname{sh} k_2 x}{\operatorname{ch} \frac{1}{2} k_2 a}. \quad (8)$$

Из последних уравнений соответственно получим вещественную составляющую векторов на поверхности стержней:

$$H_z = H_0; \quad (9)$$

$$E_\varphi \text{ Real} = \frac{H_0}{x_1 r_1} \frac{\operatorname{ber} \beta_1 \operatorname{ber}' \beta_1 + \operatorname{bei} \beta_1 \operatorname{bei}' \beta_1}{\operatorname{ber}^2 \beta_1 + \operatorname{bei}^2 \beta_1}; \quad (10)$$

$$E_y \text{ Real} = \frac{H_0}{x_2} \frac{2\beta_2}{a} \frac{\operatorname{sh} 2\beta_2 - \sin 2\beta_2}{\operatorname{ch} 2\beta_2 + \cos 2\beta_2}. \quad (11)$$

Применив теорему Пойнтинга, уравнение (1), и приняв векторы напряженности магнитных полей индуктора и металла повернутыми в данном случае один по отношению к другому на 180° , получим: для цилиндра

$$\psi = 2\pi\sqrt{2}\psi_1(\beta_1) F \sqrt{f\mu\rho_1 10^{-9}} \frac{1}{m} \sum_{n=1}^{n=m} (H_a - H_b)_m^2 [W]; \quad (12)$$

для пластины

$$\psi = 2\psi_2(\beta_2) F \sqrt{f\mu\rho_2 10^{-9}} \frac{1}{m} \sum_{n=1}^{n=m} (H_a - H_b)_m^2 [W]. \quad (13)$$

Уравнения (12) и (13) справедливы, когда загрузка представляет собой сплошной цилиндрический блок, для случая же действительных условий работы печи загрузка состоит из отдельных кусков. При этом направление вихревых токов имеет хаотический характер, и тогда значение напряженности магнитного поля H_b должно быть значительно меньше, чем это получится для случая сплошного блока. Хорошее совпадение результатов расчета с наблюдениями получается, если положить

$$2\pi\sqrt{2}\psi_1(\beta_1) F \sqrt{f\mu\rho_1 10^{-9}} \frac{1}{m} \left(\sum_{n=1}^{n=m} H_{am}^2 - \sum_{n=1}^{n=m} H_{bm}^2 \right) [W]; \quad (14)$$

$$2\psi_2(\beta_2) F \sqrt{f\mu\rho_2 10^{-9}} \frac{1}{m} \left(\sum_{n=1}^{n=m} H_{am}^2 - \sum_{n=1}^{n=m} H_{bm}^2 \right) [W]. \quad (15)$$

где H_{am}^2 — действующее значение квадрата напряженности магнитного поля индуктора в A/cm; это же для металла загрузки; F — боковая по-

верхность в cm^2 ; ρ — сопротивление металла в Ωcm ; f — частота токов в Hz; μ — магнитная проницаемость тела.

$$\psi_1(\beta_1) = \frac{\operatorname{ber} \beta_1 \operatorname{ber}' \beta_1 + \operatorname{bei} \beta_1 \operatorname{bei}' \beta_1}{\operatorname{ber}^2 \beta_1 + \operatorname{bei}^2 \beta_1}; \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= 2\pi r_1 \sqrt{2f\mu x_1} \cdot 10^{-9}; \\ \psi_2(\beta_2) &= \frac{\operatorname{sh} 2\beta_2 - \sin 2\beta_2}{\operatorname{ch} 2\beta_2 + \cos 2\beta_2}; \\ \beta_2 &= \pi a \sqrt{f\mu x_2} \cdot 10^{-9}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Температура нагрева вихревыми токами для случая установившегося теплового равновесия может быть также легко вычислена из вышеполученных формул: для цилиндра

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 + \frac{2\pi\sqrt{2}H_0^2\psi_1(\beta_1)}{\alpha} \sqrt{f\mu\rho_1 10^{-9}} \text{°C}; \quad (18)$$

для пластины

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 + \frac{2\pi H_0^2\psi_2(\beta_2)}{\alpha} \sqrt{f\mu\rho_2 10^{-9}} \text{°C}, \quad (19)$$

где ϑ_2 — температура окружающей среды в °C ; α — коэффициент теплоотдачи на конвекцию и лучеиспускание в $\frac{\text{W}}{\text{cm}^2 \text{°C}}$.

Напряженность внешнего магнитного поля индукционной печи. Внешнее, возбуждающее вихревые токи в опорной конструкции печи магнитное поле будет складываться из двух магнитных полей — магнитного поля индуктора и металла загрузки. Укажем, что ток металла (в расплавленном его состоянии) в силу скин-эффекта будет течь по поверхности загрузки и ее можно рассматривать как короткозамкнутый виток.

Таким образом задача определения напряженности магнитного поля индукционной печи сводится к определению напряженности магнитного поля двух индукционных катушек, одна из них — металла загрузки, другая — индуктор.

Для вычисления напряженности магнитного поля однослоиной цилиндрической катушки К. Фэльш [13] дает следующие формулы: для случая I ($\rho \ll R$)

$$H_z = \frac{NI}{2\pi l} [A_2(n, \gamma_2) \pm A_1(n, \gamma_1)] [\text{A/cm}]; \quad (20)$$

для случая II ($\rho \geq R$)

$$\bar{H}_z = \frac{NI}{2\pi l} [B_2(n, \gamma_2) \pm B_1(n, \gamma_1)] [\text{A/cm}]; \quad (21)$$

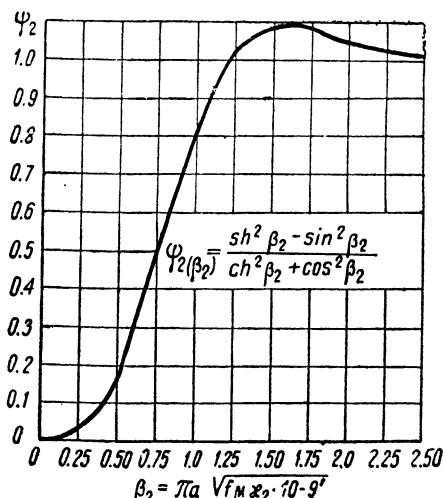


Рис. 2

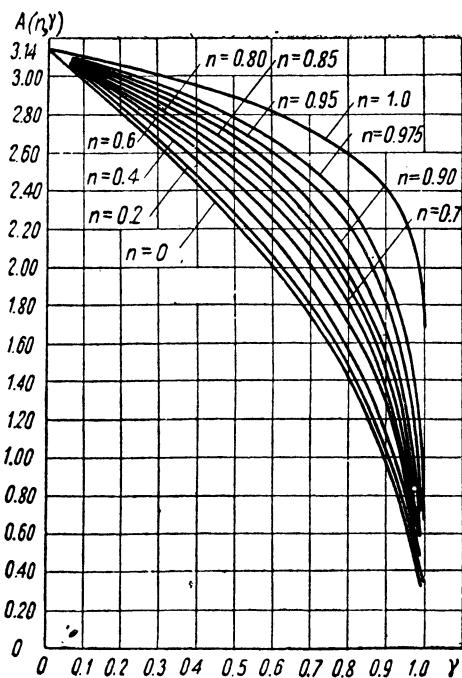


Рис. 3

В уравнениях (20) и (21) верхний знак относится к случаю, когда исследуемая точка находится между торцевыми плоскостями катушки, в других случаях нужно принимать знак минус.

Радиальная составляющая

$$H_r = \frac{NI}{2\pi l} \sqrt{\frac{R}{\rho}} [C_1(n, \gamma_1) - C_2(n, \gamma_2)] \text{ [A/cm].} \quad (22)$$

Здесь:

$$\begin{aligned} A(n, \gamma) &= \frac{\pi}{2} + F' \sqrt{1-\gamma} (1 + \sqrt{1-n}) + \\ &+ F(\varphi, b^2) [F' - E'] - F'E(\varphi, b^2); \\ B(n, \gamma) &= 2F' \sqrt{1-\gamma} - A(n, \gamma); \\ C(n, \gamma) &= \frac{2}{k} [F' - E'] - kF'; \\ k^2 &= n\gamma; \end{aligned}$$

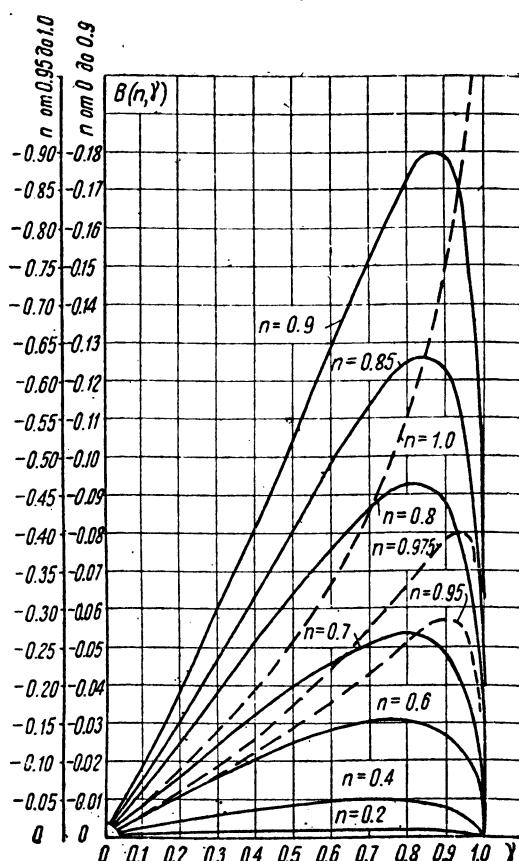
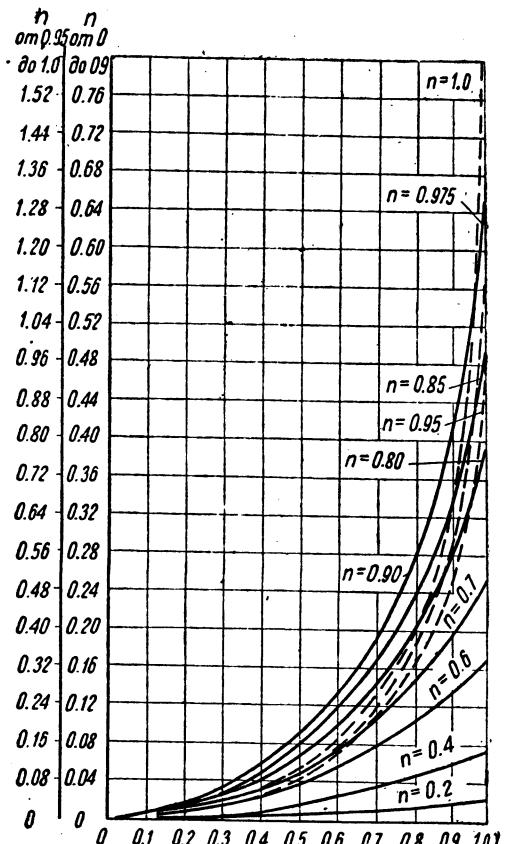


Рис. 4

F' и E' — полные эллиптические интегралы первого и второго рода; $F(\varphi, b^2)$ и $E(\varphi, b^2)$ — эллиптические интегралы первого и второго рода;

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{1-n}{1-k^2}; \quad b^2 = 1-k^2; \quad n = \frac{4R\rho}{(R+\rho)^2}; \\ \gamma_1 &= \frac{(R+\rho)^2}{(R+\rho)^2 + z_1^2}; \quad \gamma_2 = \frac{(R+\rho)^2}{(R+\rho)^2 + z_2^2}; \end{aligned}$$

R — радиус катушки в см; ρ — расстояние от катушки до исследуемой точки в см; z_1 и z_2 — расстояния от концов катушки до рассматриваемой точки в см; N — число витков катушки; l — длина катушки в А; l — высота катушки в см.



Для некоторых аргументов n и γ автор вычислил значения функций $A(n, \gamma)$; $B(n, \gamma)$ и $C(n, \gamma)$ и сверил их по таблицам Фэльша (рис. 3, 4). С целью получения максимальной точности при нахождении функций $A(n, \gamma)$; $B(n, \gamma)$ и $C(n, \gamma)$ надлежит принимать такие значения радиуса, чтобы всегда значение n приходилось на построенной кривой, это будет при

$$\rho_{1,2} = R \left(\frac{2 - n \pm \sqrt{(2-n)^2 - n^2}}{n} \right).$$

В целях экспериментальной проверки формулы для вычисления напряженности магнитного поля катушки была использована однослойная цилиндрическая катушка, имеющая высоту 386 мм, диаметр 140 мм и число витков 21,75. Поле в середине витка в этой катушке 160 А/см (частоты 50 Гц) определялось по индуктируемой э. д. с. в измерительной катушке.

Результаты измерений показали, что формулы (20), (21) и (22) дают ошибку (положительную или отрицательную) не более чем 5%, и лишь в отдельных случаях она достигает 10—11%.

Для проверки формул (14) и (15) для определения

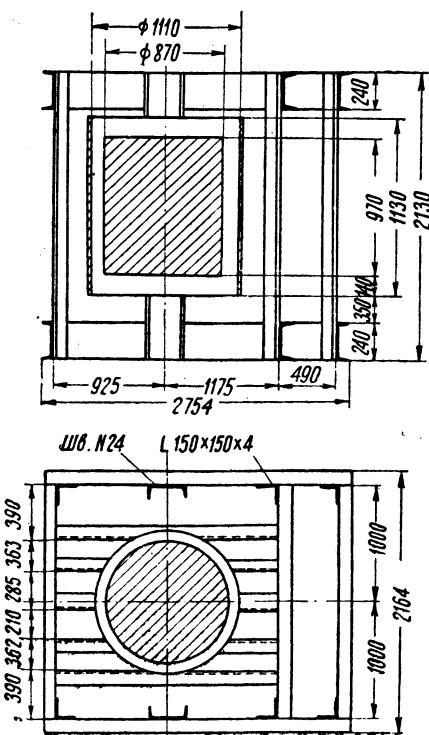


Рис. 6

ионности вихревых токов была изготовлена двухслойная индукционная катушка с средним диаметром 160 мм, высотой 213 мм и числом витков 146.

При положении испытуемого железного образца в полости индукционной катушки потери в нем определялись по разности потерь, измеренных ваттметрами при наличии внутри катушки детали и удалении ее. Когда образец находился во внешнем поле катушки (следовательно, при сравнительно малых потерях в нем), измерение потерь производилось калориметрически. Потери в подобных случаях определялись также расчетно — по перегреву на поверхности образца.

Результаты трех измерений даны в таблице:

Наименование	Частота, Гц	Поглощаемая мощность W		Метод измерения	Отклонения, %
		расчетная по форм. (16)	эксперимент. определенная		
Перегрев железного швеллера длиной 150 мм, помещенного в катушку, при токе 10 А	1000	224	229	Ваттметр	2,2
Перегрев железного цилиндра диаметром 100 мм, длиной 130 мм в магнитном поле печи типа ПО-90 . . .	500	12,5	14,15	Калориметр	13
Перегрев железного уголка 50×50×6 длиной 100 мм в магнитном поле той же печи . .	500	82	90,1	Тепловой баланс	10

1933 г. техническим отделом завода „Электропечи“ была разработана конструкция 4-т индукционной печи мощностью 1200 кВт, частоты 500 Гц. Эта конструкция этой печи была запроектирована из маломагнитной стали. Долгое время печь

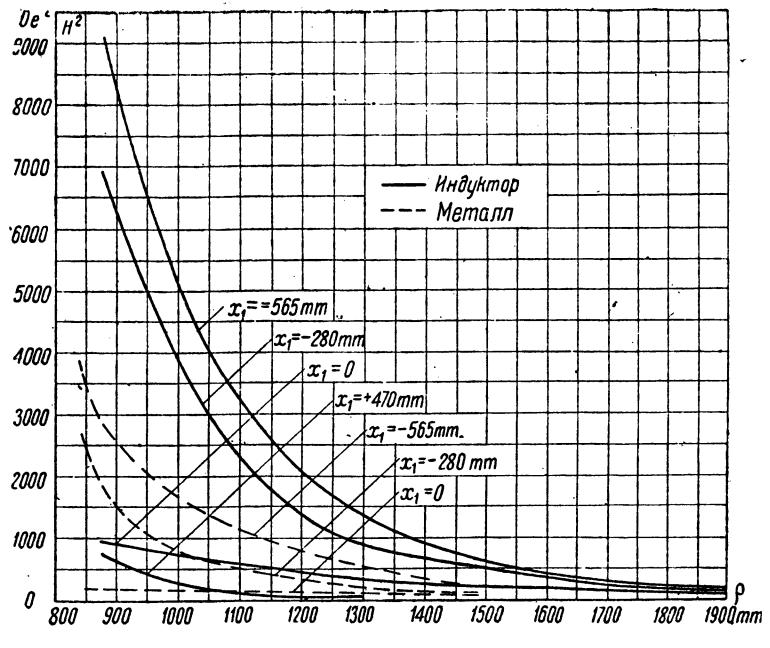


Рис. 7

не была построена из-за отсутствия нужных профилей легированной стали. В 1935—1936 гг. печь была реализована заводом с опорной конструкцией из обычных торговых сортов железа с экранированием магнитного потока пакетами из трансформаторного железа. Во время первых же сдаточных плавок оказалось, что магнитные экраны сгущают магнитный поток в зонах расположения крепежных деталей и нагревают их до недопустимо высокой температуры. Пришлось прибегнуть к экранированию некоторых деталей опорной конструкции медью. Схематический разрез индукционной печи представлен на рис. 6.

Основные расчетные параметры печи: число витков индуктора 15,8; напряжение на печи 1900 В; ток ее 6100 А; активное сопротивление индуктора 0,00557 Ω; металла (приведенное) 0,0247 Ω; полное активное сопротивление печи 0,03027; реактивное 0,31, кажущееся 0,311 Ω. Согласно расчету вторичный ток печи равен $8,36 \cdot 10^{-4}$ А.

Изменение квадрата напряженности магнитного поля индуктора и металлогрузки в зоне расположения опорной конструкции вдоль оси в зависимости от расстояния от оси индуктора r , вычисленное по формуле (21), представлено кривыми рис. 7.

Приводим расчет нагрева вертикального швеллера каркаса.

Пользуясь рис. 7, мы построили кривые изменения квадрата напряженности магнитного поля индуктора и металла вдоль швеллера. По этим кривым было найдено, что $m = 10$

$$\frac{1}{m} \left(\sum_{n=1}^{n=m} H_{am}^2 - \sum_{n=1}^{n=m} H_{bm}^2 \right) = 1851 \text{ Oe}^2,$$

и

$$H = 43,1 \text{ Oe}.$$

Этой напряженности соответствует $\mu_1 = f(H) = 360$.

В рассматриваемом случае соотношение $\frac{b}{a} = \frac{404}{10,5} = 38,4 : 1$; $s = 42,73 \text{ cm}^2$; $\frac{l}{\sqrt{s}} = 32,6$. По отно-

шению $\frac{b}{a}$ и $\frac{b}{\sqrt{s}}$ по данным Томсона и Месс было найдено, что размагничивающий фактор $N = 0,0324$. Следовательно, размагничивающий коэффициент

$$\mu = \frac{4\pi\mu_1}{4\pi + N(\mu - 1)} = \frac{4\pi \cdot 360}{4 + 359 \cdot 0,0324} = 187.$$

Средняя удельная мощность вихревых токов по формуле (15) $P_{2f} = 0,318 \text{ W/cm}^2$; этой мощности соответствует согласно расчету средняя температура швеллера около 180° .

В середине швеллера $H = 59,2 \text{ Ое}$; $\mu_1 = 240$ и $\mu = 134$. Удельная мощность $P_{2f} = 0,514 \text{ W/cm}^2$ и, следовательно, максимальная температура швеллера должна быть около 245° .

Проведенные вычисления показывают, что нагрев вертикального швеллера чрезмерно высок. Это полностью подтверждалось наблюдениями за работающей печью. Во избежание такого нагрева швеллера была применена экранировка его листовой медью.

Литература

1. М. Струтт. Об индукционном нагреве. „Archiv f. Electrotechnik“. В. XIX, § 424, 1928.
2. М. Струтт. К теории индукционного нагрева. „Annalen der Physik“. В. 82, S. 605, 1927.
3. В. Фишер. Теоретические основы бессердечникового

индукционного нагрева. „Elektrowärme“. S. 41—43, № 2, и S. 67—69, № 3, 1932.

4. В. Эмарх. К теории бессердечниковых индукционных печей. Wissenschaftliche veröffentlicht aus dem Siemens-Kom вып. 2, стр. 172—196; март, т. X, 1931.

5. Бюне. Индукционный нагрев. „Bulletin de la Société Française des Électriciens“. Август, стр. 940—992, 1928.

6. Бирч и Дэвис. An Introduction to the Theory of Eddy—Current Heating, 1928.

7. Г. Б. Двойт и М. М. Багай. Вычисление электрических характеристик индукционных печей. „Electrical Engineering“, 1935.

8. Д. Райт. Нагрев сложных цилиндрических схем вихревыми токами. „Philosophical Magazine and Journal of Science“. Июль, серия 7, т. 24, № 159, 1937.

9. В. М. Рудзик. Основания теории и расчета индукционных бессердечниковых печей. „Металлург“, стр. 77—№ 3, 1936.

10. Э. Розенберг. Вихревые токи в массивном жемчуге. ETZ, т. 44, вып. 22, стр. 513—518, 1923.

11. Thomson. „The Electrician“, XXVIII, стр. 599, 1891.

12. Neviside. „The Electrician“. XIII, стр. 583, 1884.

13. К. Фэльш. Магнитное поле и самоиндукция цилиндрической катушки. „Archiv für Elektrotechnik“, XXX, вып. 1936.

14. А. С. Займовский и др. Железные шины. ОГИС Энергосбыт, 1934.

15. И. А. Торопов. К вопросу нагрева вихревыми токами металлических частей опорной конструкции промышленной индукционной печи „высокой“ частоты. Диссертация ЛГУ, 1939.

16. Е. Г. Марквардт. Электромагнитные расчеты трансформаторов. ОНТИ, НКТП СССР, 1938.

17. S. P. Thompson, E. W. Moss. „Phil. Mag. sec. V“, 16, 729, 1909.

ИЗ РАБОТ СОВЕТСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ *

Определение сопротивления для получения заданных условий работы

Р. Л. АРОНОВ
Харьковский электротехнический институт

При проектировании систем управления машинами постоянного тока приходится определять величину сопротивлений для получения нужной скорости при заданном моменте нагрузки. Методы решения таких обратных задач были разработаны¹ автором в 1936 г. При их практическом применении выявилась целесообразность дальнейшей разработки этого вопроса.

При переходе от одной ступени контроллера к другой удобно изменять лишь одно сопротивление в сложной схеме (рис. 1), причем требуется, чтобы новая характеристика прошла через заданную точку (n, M) . Такая задача легко решается, если неизвестно R_x , и несколько сложнее, когда надо найти R_c или R_w .

Приведем без вывода основные соотношения²:

$$n = \left[\frac{R_w}{R_w + R_c} - \left(\frac{R_w}{R_w + R_c} \cdot \frac{R_c}{R_n} + \frac{R_x}{R_n} \right) \frac{I_x}{I_n} \right] n_{28}; \quad (1)$$

$$I_c = \frac{U + R_w I_x}{R_w + R_c}; \quad (2)$$

$$I_w = \frac{U - R_x I_x}{R_w + R_c}; \quad (3)$$

$$\frac{M n_{28}}{I_x} = k, \quad (4)$$

где k с достаточным для практики приближением можно считать постоянной величиной для данной машины.

Обозначим для краткости в дальнейшем

$$\frac{R_w}{R_w + R_c} = A.$$

1. Заданы R_w и R_c , неизвестно R_x , характеристика должна пройти через точку n_1, M_1 .

После вычисления A получаем по уравнениям (2) и (4) (3) и (4) в зависимости от схемы включения уравнение моей, пересечение которой с граничной характеристикой искомые n_{28} и I_x . Далее по уравнению (4) найдем I_w ; при данном n_1 уравнение (1) позволит найти R_x . Выведем возможные формулы.

Схема по варианту II.

$$I_x = I_w = \frac{R_c}{R_w + R_c} \left(\frac{U}{R_c} + \frac{M_1}{k} n_{28} \right) = \\ = A \left(\frac{U}{R_w} + \frac{M_1}{k} n_{28} \right);$$

$$n = \left[A - \left(A \frac{R_c}{R_n} + \frac{R_x}{R_n} \right) \frac{I_x}{I_n} \right] n_{28}.$$

Схема по варианту III.

$$I_x = I_w = \frac{R_c}{R_w + R_c} \left(\frac{U}{R_c} - \frac{M_1}{k} n_{28} \right) = \\ = (1 - A) \left(\frac{U}{R_c} - \frac{M_1}{k} n_{28} \right),$$

уравнение (7) сохраняет свою силу.

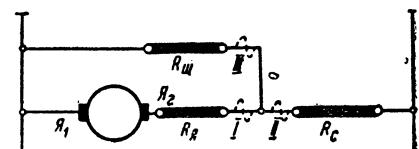


Рис. 1

* В этом разделе помещаются краткие сообщения инженеров и научных работников о своих теоретических, экспериментальных, расчетных, конструкторских и других работах.

¹ Сборник ХЭТИ № 4, Рациональные методы построения искусственных характеристик машин постоянного тока.

² Р. Л. Аронов, Электрооборудование промышленных приводов, гл. IV, § 3.

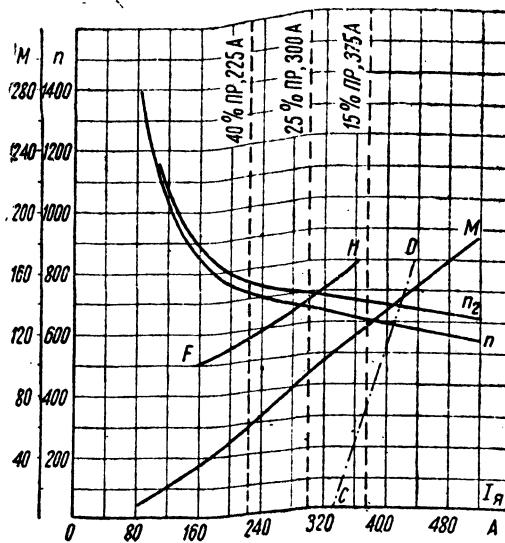


Рис. 2

2. Заданы R_c и R_x , неизвестно R_w .

Схема по варианту II.

$$I_s = I_c = \frac{R_c}{R_w + R_c} \cdot \frac{U}{R_c} + \frac{R_w}{R_w + R_c} I_x = (1 - A) \frac{U}{R_c} + A \frac{M_1}{k} n_{28}; \quad (9)$$

$$n_1 = \left[A - \left(A \frac{R_c}{R_w} + \frac{R_x}{R_w} \right) \frac{M_1}{k} n_{28} \frac{1}{I_x} \right] n_{28}. \quad (10)$$

По (9)

$$I_s = \frac{U}{R_c} + A \left(\frac{M_1}{k} n_{28} - \frac{U}{R_c} \right); \quad (11)$$

и (10)

$$A = \frac{\frac{n_1}{n_{28}} + \frac{R_x M_1}{R_w k} n_{28} \frac{1}{I_x}}{1 - \frac{R_c}{R_w} \frac{M_1}{k} n_{28}} = \frac{U}{R_c} \cdot \frac{\frac{n_1}{n_{28}} + \frac{R_x M_1}{R_w k} n_{28}}{\frac{U}{R_c} - \frac{M_1}{k} n_{28}} \quad (12)$$

и, подставляя значение A из (12) в (11), получим:

$$I_s = I_c = \frac{U}{R_c} \left(1 - \frac{n_1}{n_{28}} - \frac{R_x M_1}{U k} n_{28} \right) = \varphi(n_{28}). \quad (13)$$

Пересечение кривой, выражаемой уравнением (13), с граничной характеристикой определит искомые n_{28} и I_s , далее уравнение (12) позволит найти значение A , а следовательно, R_w .

Схема по варианту III.

Решение для A [уравнение (12)] остается без изменения. Зависимость тока возбуждения от тока якоря определяется уравнением (3):

$$I_s = I_w = \frac{R_c}{R_w + R_c} \left(\frac{U}{R_c} - I_x \right) = (1 - A) \left(\frac{U}{R_c} - \frac{M_1}{k} n_{28} \right)$$

и, подставляя значение A из (12), получим:

$$I_s = I_w = \frac{U}{R_c} \left(1 - \frac{n_1}{n_{28}} - \frac{R_c + R_x}{U} \frac{M_1}{k} n_{28} \right). \quad (14)$$

3. Заданы R_w и R_x , неизвестно R_c .

Схема по варианту II.

$$I_s = I_c = \frac{R_w}{R_w + R_c} \left(\frac{U}{R_w} + I_x \right) = A \left(\frac{U}{R_w} + \frac{M_1}{k} n_{28} \right); \quad (15)$$

$$n_1 = \left[A - \left(\frac{1 - A}{R_w} R_w + \frac{R_x}{R_w} \right) \frac{M_1}{k} n_{28} \cdot \frac{1}{I_x} \right] n_{28}. \quad (16)$$

Из (16) следует:

$$A = \frac{\frac{n_1}{n_{28}} + \frac{R_w + R_x}{U} \frac{M_1}{k} n_{28}}{1 + \frac{R_w M_1}{U k} n_{28}}. \quad (17)$$

Подстановка (17) в (15) приводит к:

$$I_s = I_c = \frac{U}{R_w} \left(\frac{n_1}{n_{28}} + \frac{R_w + R_x}{U} \frac{M_1}{k} n_{28} \right). \quad (18)$$

Пересечение кривой $I_s = \varphi(n_{28})$ согласно (18) с граничной характеристикой определит I_s и n_{28} , после чего по (17) найдем A и R_c .

Схема по варианту III.

Решение, как и для схемы II, но уравнение (15) надо заменить на:

$$I_s = I_w = A \frac{U}{R_w} - (1 - A) \frac{M_1}{k} n_{28} = A \left(\frac{U}{R_w} + \frac{M_1}{k} n_{28} \right) - \frac{M_1}{k} n_{28} \quad (19)$$

или, используя уравнение (17), приходим к соотношению:

$$I_s = I_w = \frac{U}{R_w} \left(\frac{n_1}{n_{28}} + \frac{R_x M_1}{U k} n_{28} \right), \quad (20)$$

с помощью которого получим результат, следуя выше намеченному путем.

При применении предлагаемых методов решения следует следить за правильной расстановкой знаков. Под M и I следует подразумевать алгебраические величины, т. е. при переходе к численным значениям надо следить не только за абсолютной величиной, но и за знаком результата или представляемого числа. I_s всегда существенно положительная величина, так как ток возбуждения в серийной машине не может доходить до нуля. Уравнения пригодны лишь для схемы прямого включения. Для схемы обратного включения следует изменить знаки у n_{28} и I_x . Проще, однако, при вычислении сопротивлений для этого случая пользоваться точкой на координатном поле с радиусом-вектором того же модуля, но повернутым на 180° .

Пример 1. Серийный двигатель типа КПД 400/516 включен по схеме варианта III с сопротивлениями $R_c = 40\% R_x$; $R_w = 50\% R_x$.

Данные двигателя: $U = 220$ В; при 25% ПР $I_x = 300$ А; $P_x = 60$ кВт; $M = 90$ кгм; $n = 650$ об/мин; $k = 205$.

При токе якоря $I_x = 0$; $I_w = I_s = \frac{U}{R_w + R_c} = \frac{R_x}{R_w + R_c} = \frac{300}{0.9} = 333$ А. По граничной характеристике, построенной на рис. 2, находим $n_{28} = 685$ об/мин. В таком случае при пересечении характеристики с осью ординат получим

$$n_{28} = \frac{R_w}{R_w + R_c} n_{28} = \frac{0.5}{0.9} 685 = 381 \text{ об/мин.}$$

В тормозных квадрантах абсолютные значения ординат должны превосходить это значение.

Вычислим сопротивление R_x , необходимое для того, чтобы характеристика прошла через точку $M_1 = -60$ кгм; $n = 550$ об/мин.

По формуле (5) $A = \frac{5}{9}$; по уравнению (8):

$$I_w = I_s = \frac{1000}{3} + \frac{80}{615} n_{28}.$$

Если бы мы выбрали аналогичную точку в четвертом квадранте: $M = 60$ кгм, $n = -550$ об/мин, то пришли к тем же численным соотношениям, так как надо было в уравнении (8) изменить знак у n_{28} .

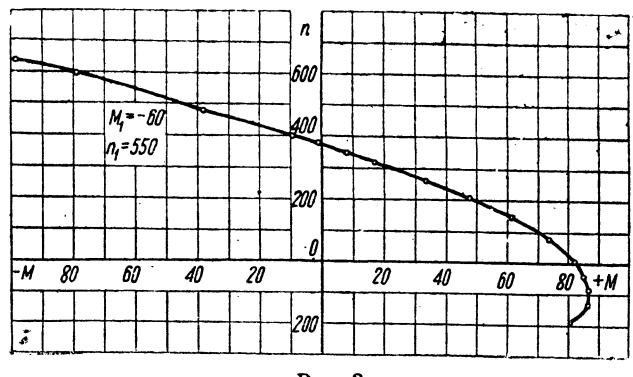


Рис. 3

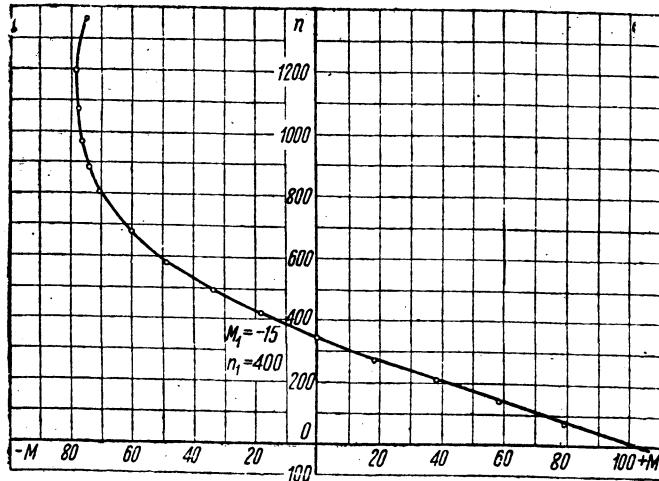


Рис. 4

Находим две точки прямой CD (рис. 2): $n_{28} = 0$; $I_b = 333$ А; $n_{28} = 615$; $I_b = 413$. По этим двум точкам строим прямую CD , ее пересечение с граничной характеристикой определяет:

$$n_{28} = 650; I_b = 416; I_a = \frac{M_1 n_{28}}{k} = -\frac{60 \cdot 650}{205} = -190 \text{ А.}$$

Тогда по уравнению (1)

$$n_1 = 550 = \left[\frac{5}{9} + \left(\frac{5}{9} \cdot 0,4 + \frac{R_a}{R_n} \right) \frac{190}{300} \right] \cdot 650,$$

откуда $R_a = 0,288 R_n$, и уравнение характеристики:

$$n = \left(0,556 - 0,461 \frac{I_a}{300} \right) n_{28};$$

$$I_b = I_a = \frac{4}{9} \left(\frac{300}{0,4} - I_a \right) = 333 - 0,445 I_a.$$

По этим двум формулам с помощью рис. 2 строим характеристику $n = f(M)$ на рис. 3.

Ток I_a во втором квадранте надо считать отрицательным, так как момент отрицателен, также для четвертого квадранта, так как мы переключили концы якорной обмотки.

Пример 2. Необходимо при тормозном моменте $M_1 = -15$ кгм получить скорость $n_1 = 400$ об/мин путем присоединения шунтирующего сопротивления к схеме с сопротивлением общей цепи $R = 70\% R_n$. Шунтирующая цепь подключается так, чтобы обмотка возбуждения обтекалась током сети, причем $R_c = 45\% R_n$; $R_a = 25\%$ R_n . Машине та же, что в примере 1.

По уравнению (13)

$$I_c = \frac{2}{3} \cdot 10^8 \left(1 - \frac{400}{n_{28}} + \frac{n_{28}}{16400} \right).$$

Вычисляем ряд точек:

n_{28}	800	750	700	650	600	550	500
I_c	366	342	314	283	247	204	156

и по ним строим кривую FH (рис. 2).

Пересечение с пограничной характеристикой дает:

$$n_{28} = 695 \text{ об/мин}; I_c = I_b = 310 \text{ А},$$

откуда по (12) $A = 0,496$ и далее

$$R_{uu} = \frac{A}{1-A} \cdot R_c = \frac{0,496}{0,504} \cdot 0,45 R_n = 0,444 R_n.$$

Уравнение характеристики:

$$n = \left[0,496 - 0,483 \frac{I_a}{I_n} \right] n_{28};$$

$$I_c = 0,496 \left(\frac{300}{0,444} + I_a \right) = 335 + 0,496 I_a.$$

Далее построение производится обычным способом. Результаты даны на рис. 4.

Учет размагничивающего влияния тока к. з. при определении размеров постоянных магнитов машин переменного тока

А. С. КАНТЕР
Всесоюзный электротехнический институт

Магнитная энергия, развиваемая постоянным магнитом в внешнем пространстве

$$A = \frac{BHV}{8\pi}.$$

Значения B и H могут быть легко определены известных размеров постоянного магнита и магнитной индукции. Объем же магнита может быть, понятно, получен при разных значениях сечения магнита S и длины его l . Ниже показано, что для работы машины далеко небезразличен образован объем постоянного магнита.

Ударные токи к. з., как известно, размагничивают или иной степенью постоянные магниты машин переменного тока [2]. Степень размагничивания зависит от момента защитного воздействия демпферной обмотки или действующих как демпфер сплошных полюсных наконечников из кирпичного железа [4] и не зависит от числа витков обмотки тока.

Последнее положение можно обосновать следующими элементарными соображениями.

Максимальный ударный ток, получающийся в машине при первом к. з., при максимальном намагничивании постоянных магнитов зависит, при прочих равных условиях, от реактанса рассеяния.

Значения ударного тока к. з. для машин с электромагнитным возбуждением могут быть определены по формуле

$$I_{yd} = \frac{2\sqrt{2}kE}{X_{1\sigma} + X_{2\sigma}^2},$$

где k — коэффициент, зависящий от активного сопротивления и индуктивности фазы статора и ротора; $X_{1\sigma}$ — реактивное сопротивление рассеяния одной фазы якорной обмотки; $X_{2\sigma}$ — приведенное к якорю реактивное сопротивление роторной обмотки [3].

В рассматриваемых машинах вместо катушки ротора с демпфером имеются сплошные постоянные магниты. При этом в постоянных магнитах образуются токи Фуко и возникают потери на гистерезис, влияющие, в свою очередь, на протекание этого нестационарного процесса.

Поэтому в случае машин с постоянными магнитами можно сказать, что ток к. з. определяется каким-то общим реактивным и активным сопротивлением равным Z_{yd} .

Размагничивающие постоянный магнит ампервитки от действия ударного тока

$$AW_{yd} = \frac{cE_1 w_1}{Z_{1yd}},$$

где c — коэффициент, зависящий от параметров машины.

Из этого выражения видно, что размагничивающие ампервитки не зависят от числа витков статора. Действительно: если увеличить витки статора, например, в k раз, то также увеличится в k раз, Z возрастет в k^2 . Следовательно AW_{yd} не претерпит изменений.

Представим себе далее, что, сохранив неизменным сечение постоянных магнитов, выполним машину в двух вариантах. Первый вариант — сечение магнита S_1 и длина l_1 и второй с сечением магнита S_2 и длиной l_2 , причем

$$V = S_1 l_1 = S_2 l_2.$$

При этом

$$S_2 = kS_1; \quad l_2 = \frac{l_1}{k}.$$

Примем далее, что проводимость магнита в машине в таком образе, что индукции в воздушном зазоре в их вариантах мало отличаются друг от друга. Допустим произвольное, но имеющее место в действительности сравнительно небольшие изменения параметров машины.

Для упрощения дальнейших выводов примем также, что машины выполнены с одним и тем же числом витков. Такое предположение допустимо, так как выше было показано, что удельные размагничивающие ампервитки не зависят от числа витков.

Удельные размагничивающие ампервитки для первого варианта

$$aw_1 = \frac{cE_1 w_1}{l_1 Z_{1y\delta}};$$

и второго

$$aw_2 = \frac{cE_2 w_1}{l_2 Z_{2y\delta}}.$$

$E_2 = kE_1$, так как полезный поток вследствие увеличения сечения возрос в k раз. Считаем, что поток рассеяния на 1 см длины витка остался без изменения. Средняя длина витка увеличились одновременно с сечением в \sqrt{k} раз. Поэтому $l_{y\delta} = \sqrt{k} Z_{1y\delta}$, и удельные ампервитки

$$aw_2 = \frac{cE_2 w_1}{l_2 Z_{2y\delta}} = \frac{ckE_1 w_1}{l_1 \sqrt{k} Z_{1y\delta}} = k\sqrt{k} aw_1.$$

Из приведенных выше соотношений совершенно очевидно, что конфигурация постоянного магнита — отношение площади сечения магнита к его длине, влияет в значительной степени на размагничивание магнита ударными токами к. з.

Литература

1. А. С. Кантер. Постоянные магниты. Изд. ОНТИ, 1938.
2. А. С. Кантер. Критическая точка магнитного состояния постоянных магнитов в электрических машинах переменного тока. Академия наук СССР. Известия отделения технических наук № 10, 1939.
3. Р. Рихтер. Электрические машины, т. 2. Синхронные машины и одноякорные преобразователи. Изд. ОНТИ, стр. 283, 1936.
4. А. С. Кантер. О нестационарных явлениях в электрических машинах переменного тока с возбуждением постоянными магнитами. Академия наук СССР. Известия отделения технических наук № 4, 1940.

Вычисление тока к. з. гидрогенератора для больших отрезков времени

В. Н. ЛЕБЕДЕВ
ДнепроЖЭРГО

В некоторых случаях приходится вычислять изменение во времени тока статора гидрогенератора для отрезков времени порядка 5–7 сек при трехполюсном к. з. вблизи гидрогенератора, отсекающем его от остальной системы. При этом может оказаться, что напряжение на зажимах возбудителя может изменяться не по обычной кривой, близкой к экспоненциальной функции, — а по более сложной кривой, например, подобно показанной на рис. 1. Это объясняется торможением в некоторых случаях возбудительного агрегата при малом к. з. гидрогенератора [1, 2].

Рассматривается трехполюсное к. з. либо на шинах гидрогенерации, либо в самой непосредственной близости от шин, когда реактансом от шин до места к. з. можно пренебречь. Следовательно, цепь статора до места к. з. можно считать чисто реактивной.

В таком случае изменение тока к. з. не зависит от скорости вращения гидрогенератора и для любого момента времени действующее значение периодической составляющей к. з.

$$I_k = \frac{E_d}{X_d + X_t}, \quad (1)$$

E_d — э. д. с. возбуждения, отнесенная к номинальной скорости вращения гидрогенератора;

X_d — синхронный реактанс гидрогенератора при номинальной частоте;

X_t — реактанс повышительного трансформатора при той же частоте.

Изменение э. д. с. возбуждения во времени, как известно определяется уравнением:

$$T_d' \frac{dE}{dt} + E - u = 0. \quad (2)$$

где $T_d' = T_0 \frac{X_d' + X_t}{X_d + X_t}$ — переходная постоянная времени

цепи возбуждения при замкнутой цепи статора; u — напряжение на зажимах возбудителя в относительных единицах, выбранных так, что $u=1$, когда $E_d=1$ в нормальном режиме холостого хода и при горячей обмотке ротора; $E = E_d$ (индекс опускаем для простоты написания)

В рассматриваемом случае, когда $u=f(t)$ имеет вид, подобный кривой рис. 1, уравнение (2) может быть решено лишь методами численного интегрирования. Можно, например, воспользоваться формулой Лонглея [4]:

$$E_{n+1} = E_n - (E_n - u_{n(n+1)}) \frac{\Delta t}{T_d}, \quad (3)$$

где E_n, E_{n+1} — значения E для моментов времени t_n и t_{n+1} соответственно; $\Delta t = t_{n+1} - t_n$ — интервал времени $t_n = n\Delta t$;

$$u_{n(n+1)} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_n}^{t_{n+1}} u dt; \quad (4)$$

и определяется из заданной кривой $u=f(t)$.

Исходя из уравнения (2), формулу Лонглея можно получить следующим образом.

Решение уравнения (2) дает:

$$E = E_{(+0)} e^{-kt} + ke^{-kt} \int ue^{kt} dt. \quad (5)$$

Здесь $E_{(+0)} = [E_d]_{t=+0}$ и $R = \frac{1}{T_d}$.

Написав выражение (5) для моментов времени t_{n+1} и t_n , вычтя одно из другого и сделав некоторые преобразования, получим:

$$E_{n+1} = E_n e^{-k\Delta t} + e^{-kt_{n+1}} \int_{t_n}^{t_{n+1}} uke^{kt} dt. \quad (6)$$

Интеграл

$$A_n = e^{-kt_{n+1}} \int_{t_n}^{t_{n+1}} uke^{kt} dt. \quad (7)$$

На основании теоремы о среднем можно представить таким образом:

$$A_n = ke^{-k(t_{n+1}-t_c)} \int_{t_n}^{t_{n+1}} u dt = \frac{\Delta t}{T_d} u_{n(n+1)} e^{-\frac{t_{n+1}-t_c}{T_d}}; \quad (8)$$

$$t_n < t_c < t_{n+1}. \quad (9)$$

Так как t_c , вероятно, мало отличается от $t_{n+\frac{1}{2}} = t_{n+1} - \frac{\Delta t}{2}$, то, положив $t_c = t_{n+\frac{1}{2}}$, получим:

$$A_n \approx \frac{\Delta t}{T_d} u_{n(n+1)} e^{-\frac{\Delta t}{2T_d}}. \quad (10)$$

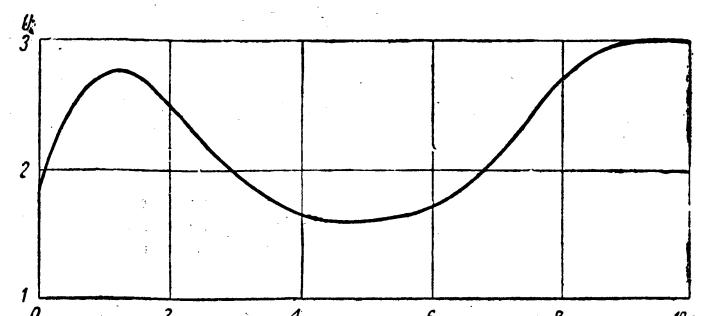


Рис. 1. Изменение напряжения возбудителя во времени

Допустив, при достаточно малом Δt , что $e^{-\frac{\Delta t}{2T_d}} \approx 1$ и $E_n e^{-\frac{\Delta t}{T_d}} \approx E_n \left(1 - \frac{\Delta t}{T_d}\right)$, из (6), (7) и (10) получаем формулу (3) Лонглея.

Как видим, применение формулы Лонглея возможно лишь при достаточно малых интервалах времени. При вычислениях для больших отрезков времени ее применение приводит к необходимости разбивать их на 100–150 интервалов и вычисления становятся очень утомительными и требуют много времени.

Для увеличения интервала можно прибегнуть к такому приему.

Интеграл (7) решается с помощью параболического интерполяции $u = f(t)$. Апроксимируем в n -ом интервале действительную кривую $u = f(t)$ выражением:

$$u = at^3 + bt^2 + c. \quad (11)$$

Коэффициенты a и b в (11) определяются для n -го интервала из системы уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} a t_n^2 + b t_n + c = u_n; \\ a \left(t_n + \frac{1}{2} \Delta t\right)^2 + b \left(t_n + \frac{1}{2} \Delta t\right) + c = u_{n+\frac{1}{2}}; \\ a (t_n + \Delta t)^2 + b (t_n + \Delta t) + c = u_{n+1}. \end{array} \right\} \quad (12)$$

Здесь u_n , $u_{n+\frac{1}{2}}$ и u_{n+1} — значения u из действительной кривой $u = f(t)$ соответственно для моментов времени t_n , $t_{n+\frac{1}{2}}$ и t_{n+1} .

Определив из (12) коэффициенты a и b , подставив их в (11), затем (11) в (7), после интегрирования получим:

$$\begin{aligned} A_n = u_{n+1} & \left[1 - \frac{4}{x} + \frac{1 - e^{-x}}{x} + 4 \frac{1 - e^{-x}}{x^2} \right] + \\ & + 4u_{n+\frac{1}{2}} \left[\frac{2}{x} - \frac{1 - e^{-x}}{x} - \frac{1 - e^{-x}}{x^2} \right] + \\ & + u_n \left[-e^{-x} - \frac{4}{x} + 3 \frac{1 - e^{-x}}{x} + 4 \frac{1 - e^{-x}}{x^2} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь

$$x = k\Delta t = \frac{\Delta t}{T_d}.$$

Выражение (13) упрощаем следующим образом: разлагаем e^{-x} в ряд и отбрасываем все члены, содержащие x^3 , и высшие степени x . Тогда получим:

$$A_n \approx u_{sn}^{(1)} \frac{\Delta t}{T_d} - u_{sn}^{(2)} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta t}{T_d} \right)^2, \quad (14)$$

где

$$u_{sn}^{(1)} = \frac{u_{n+1} + 4u_{n+\frac{1}{2}} + u_n}{6}; \quad (15)$$

$$u_{sn}^{(2)} = \frac{u_n + 2u_{n+\frac{1}{2}}}{3}. \quad (16)$$

Интересно отметить, что $u_{sn}^{(1)} = u_{n(n+1)}$ при замене в n -ом интервале действительной кривой $u = f(t)$ параболой (11). Представляем

$$E_n e^{-\frac{\Delta t}{T_d}} \approx E_n \left[1 - \frac{\Delta t}{T_d} + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta t}{T_d} \right)^2 \right]. \quad (17)$$

¹ Нумерация интервала принята следующая: первый интервал получает номер 0, второй 1 и т. д., так что $E_{n+1} = E_n + \Delta E_n$.

Подставляя (14) и (17) в (6), получим:

$$\begin{aligned} E_{n+1} = E_n - (E_n - u_{sn}^{(1)}) \frac{\Delta t}{T_d} + \\ + (E_n - u_{sn}^{(2)}) \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta t}{T_d} \right)^2. \end{aligned}$$

Так как третий член правой части в этом выражении много меньше второго, то можно положить $u_{sn}^{(2)} \approx 0$, тогда

$$\begin{aligned} E_{n+1} = E_n - (E_n - u_{sn}^{(1)}) \frac{\Delta t}{T_d} + \\ + (E_n - u_{sn}^{(1)}) \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta t}{T_d} \right)^2. \end{aligned}$$

Если отбросить третий член правой части, то

$$E_{n+1} = E_n - (E_n - u_{sn}^{(1)}) \frac{\Delta t}{T_d}.$$

Выражение (20) весьма сходно с формулой Лонглея. Формулы (18) и (19) имеют по сравнению с формулой (17) преимущество, что в нашем случае то преимущество позволяет производить вычисления с достаточной степенью точности для сравнительно больших интервалов порядка 0,5 sec. Кроме того, практически определение $u_{sn}^{(1)}$ выполняется проще и точней, чем $u_{n(n+1)}$.

Для сравнительной оценки обоих способов численного интегрирования уравнения (2) проделаем два примерных расчета.

Пример 1. Выбираем такой вид функции $u = f(t)$, который дает конечное решение уравнения (2). Допустим, это и бывает обычно в действительности, что

$$u = u_{\infty} - (u_{\infty} - u_0) e^{-\frac{t}{T_v}},$$

где u_{∞} — потолок напряжения возбудителя;

u_0 — напряжение возбудителя до к. з.;

T_v — постоянная времени возбудителя.

В этом случае возможно [3] конечное решение уравнения (2), и мы будем иметь хорошую базу для сравнения оценки различных способов решения уравнения (2).

Вычисления $E = f(t)$ производились при следующих:

$$E_{(+0)} = 3; \quad T_d' = 5 \text{ sec}; \quad u_0 = 1,5; \quad u_{\infty} = 3; \quad T_v = 2 \text{ sec}.$$

Точность вычисления — четвертый знак после запятой. В табл. 1 даны абсолютные ошибки вычисленных значений умноженные на 10^4 . Абсолютная ошибка определяется разностью значений точного и вычисленного по той или иной упрощенной формуле.

Таблица

Формула	t_n в sec					
		1	2	3	4	5
(18)	0,5	-5	-6	-9	-7	-5
Лонглея	0,05	+1	+8	+3	0	-3
Лонглея	0,2	+36	+43	+40	+30	+11
(20)	0,2	+40	+50	+45	+33	+21

Как видим, формула (18) при $\Delta t = 0,5$ sec и формула (17) при $\Delta t = 0,05$ sec дают одинаковую точность, при этом монотонный ход накопления ошибок не обнаруживается.

Пример 2. Переходим к вычислениям $E = f(t)$ для случая, когда $u = f(t)$ имеет вид кривой рис. 1. Данные $E_{(+0)} = 3$ sec; $u_0 = 1,8$; $u_{\infty} = 3,0$; $T_v = 0,5$ sec.

Вследствие торможения возбудительного агрегата к. з. генератора $u = f(t)$ будет уже не экспоненци-

Таблица 2

Формула	t_k в sec	0,6	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8	12,0	Число затраченных часов
	Δt в sec												
(18)	0,3	-4	-5	-5	-7	-13	-12	-7	-5	+1	+3	+3	4,5
(18)	0,6	-21	-28	-30	-42	-44	-46	-19	+11	+28	+32	+26	2,5
(19)	0,6	+9	+12	-20	-42	-44	-46	-19	+21	+28	+32	+26	2,0
Лонглея	0,03	+19	+2	0	+18	+26	+34	+21	+11	-12	-28	-4	18,0

кривой, а изображается кривой рис. 1. В этом случае уравнение (2) не поддается конечному решению. Для того чтобы иметь прочную базу для сравнения, $E=f(t)$ было вычислено по точному методу численного интегрирования [§ 75,5] с использованием четвертых разностей; вычисление производилось с четырьмя знаками после запятой и при $\Delta t=0,06$ сек. В табл. 2 приведены абсолютные ошибки вычисления E , умноженные на 10^4 , и указана затрата рабочего времени в часах по каждому способу.

Из рассмотрения табл. 2 следует, что в случаях, подобных рассматриваемому, когда $u=f(t)$ имеет необычный вид (рис. 1), вычисление $E=f(t)$ наиболее быстро и просто получается при пользовании формулой (19) с Δt порядка 0,5 сек.

Точность вычислений более чем достаточна — в нашем случае абсолютная ошибка не превосходит 0,005, а относительная — 0,25%.

Литература

1. В. А. Толвинский и В. И. Иванов. Требования к системе косвенного индивидуального возбуждения синхронных гидрогенераторов. Сборник „Гидроэнергопроекта“, стр. 92, № 6, 1938.
2. В. Н. Лебедев. О косвенном индивидуальном возбуждении гидрогенераторов, журн. „Электричество“ № 4, 1940.
3. И. С. Жданов и С. А. Лебедев. Устойчивость параллельной работы электрических систем, 1934.
4. F. R. Longley. The calculation of alternator swing waves Tr. AIEE, стр. 1129, 1930.
5. Д. Скарборо. Численные методы математического анализа, 1934.

уравнения:

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= i_1 x_{12} \cos \beta + i_1 Z_{1\beta} ; \\ \dot{U}_1 &= i_1 x_{12} \cos \beta + i_2 Z_{2\beta} + \dot{U}_2 ; \\ \dot{U}_2 &= i_2 Z_n ; \quad i = i_1 + i_2 .\end{aligned}$$

Здесь:

$$\begin{aligned}Z_{1\beta} &= r_1 + j(x_1 - x_{12} \cos \beta) ; \\ Z_{2\beta} &= r_{2\beta} + jx_{2\beta} ; \\ r_{2\beta} &= r_2 + r_3 \left(\frac{x_{23}}{Z_3} \right)^2 \sin^2 \beta ; \\ x_{2\beta} &= x_2 - x_{12} \cos \beta - x_3 \left(\frac{x_{23}}{Z_3} \right)^2 \sin^2 \beta .\end{aligned}$$

(b)

Уравнениям (b) соответствует эквивалентная схема рис. 2. Для углов $\beta=0$ и 180° рис. 2 дает эквивалентную схему для параллельного соединения двух катушек, связанных электрически и индуктивно².

Решая уравнения (a) относительно i_2 , для $\dot{U}_2 = i_2 Z_n$, получим:

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 \frac{(Z_1 - jx_{12} \cos \beta) Z_3 Z_n}{(Z_1 + Z_n) Z_1 Z_3 + Z_1 x_{23}^2 + (Z_3 x_{12}^2 - Z_1 x_{23}^2) \cos^2 \beta} . \quad (c)$$

При холостом ходе $Z_n = \infty$ и

$$\dot{U}_{20\beta} = \dot{U}_1 + \dot{U}_1 \frac{x_{12}}{Z_1} \cdot e^{-j\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_{10}\right)} \cos \beta , \quad (c_1)$$

где

$$\operatorname{tg} \varphi_{10} = \frac{x_1}{r_1} = \frac{\omega L_1}{r_1} .$$

Векторная диаграмма согласно уравнению (c₁) приведена на рис. 3. Сдвиг между \dot{U}_1 и $\dot{U}_{20\beta}$ обусловлен влиянием активного сопротивления r_1 .

Уравнение (c) позволяет установить связь между \dot{U}_1 и углом β поворота ротора при условии $U_1 = \text{var}$, $U_2 = \text{const}$ и $Z_n = \text{const}$.

Из уравнения (c)

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 : a = \dot{U}_1 : b$$

² Н. В. Горохов и П. А. Ионкин, Электрические цепи с сосредоточенными постоянными и взаимной индуктивностью. „Электричество“ № 22, 1936.

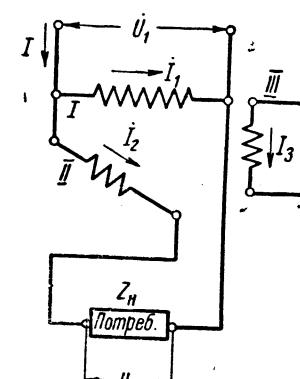


Рис. 1

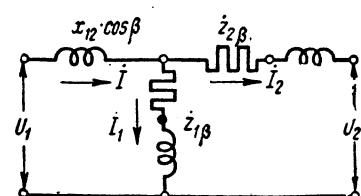


Рис. 2

напряжение сети; Z_1 , Z_2 и Z_3 — соответственно сопротивление обмоток I, II и III; Z_n — сопротивление нагрузки; $x_{12} = \omega M_{12}$ — реактивное сопротивление взаимной индуктивности обмоток I и II; $x_{23} = \omega M_{23}$, то же для обмоток II и III. Давив в первом уравнении $\pm i_1 x_{12} \cos \beta$ и во втором $\pm i_2 x_{23} \cos \beta$, получим после преобразования следующие

изданный здесь материал является извлечением из „Теория индукционного регулятора“.

из уравнений (a) для токов получим:

$$i_1 = \dot{U}_1 : Z_{1\beta}'; \quad i_2 = \dot{U}_1 : Z_{2\beta}'; \quad i = \dot{U}_1 : Z_{\beta}';$$

$$i_3 = -i_2 j \frac{x_{23}}{Z_3} \sin \beta;$$

$$Z_{1\beta}' = (Z Z_3 + x_{23}^2 - j Z_3 x_{12} \cos \beta - x_{23}^2 \cos^2 \beta) : N;$$

$$Z_{2\beta}' = (Z_1 Z_3 - j Z_3 x_{12} \cos \beta) : N;$$

$$Z_{\beta}' = [Z_3 (Z_1 + Z) + x_{23}^2 - j 2 Z_3 x_{12} \cos \beta - x_{23}^2 \cos^2 \beta] : N;$$

$$N = Z Z_1 Z_3 + Z_1 x_{23}^2 + (Z_3 x_{12}^2 - Z_1 x_{23}^2) \cos^2 \beta.$$

Исследование полученных уравнений не представляет трудностей.

Отметим здесь, что ни одно из полученных выражений токов не дает возможности обосновать фразу, приведенную в СЭТ (отд. 37, стр. 124—125): „При повороте ротора β электрических градусов реактивное сопротивление якоря сильно увеличивается; для того чтобы оно осталось одинаковым при всех положениях ротора, на якоре устраивают в поперечной оси добавочную компенсационную обмотку, замкнутую накоротко“. Ни одно из полученных сопротивлений $Z_{1\beta}'$, $Z_{2\beta}'$, Z_{β}' и реактивных, соответствующих токам i_1 , i_2 , i_3 не остается постоянным при повороте якоря; они зависят от угла β .

Не представляет труда также исследовать влияние компенсационной обмотки на рабочий процесс поворотной реактивной катушки и поворотного трансформатора.

О работе сухого выпрямителя режиме кратковременной перегрузки

Н. Н. НИКИФОРОВСКИЙ

Ленинградский завод „Электроаппарат“

Условия создания выпрямителя с минимальным числом элементов при заданной мощности на выходе. Общее число выпрямительных элементов, составляющих схему выпрямителя,

$$N = p q n. \quad (1)$$

где: p — число плеч выпрямителя; q — число параллельных ветвей плеча; n — число последовательно включенных элементов ветви.

Для связи числа параллельных ветвей в плече с другими параметрами для выпрямителя величинами воспользуемся известным, вытекающим из закона Кирхгофа для цепи из выпрямителя и его нагрузки¹.

$$k U_A - U_n = I \frac{n p}{q} \xi, \quad (2)$$

где U_A — линейное напряжение, подводимое к выпрямителю (эффективное значение); U_n — напряжение, подводимое приемнику выпрямленного тока; I — выпрямленный ток; k — сопротивление выпрямительного элемента в пропускном направлении; k , ξ — коэффициенты, зависящие от схемы включения выпрямителя².

равнения (1) и (2) совместно дают выражение, связывающее число элементов в выпрямителе с электрической мощностью, подводимой к приемнику.

$$N = I U_n p n^2 \frac{p \xi}{(k U_A - U_n) U_n}. \quad (3)$$

Зависимость прямого сопротивления медно-вакисного выпрямителя от тока для выпрямителей завода им. Казицкого диаметрами пластин 41/12 при токах перегрузки до 10 А на достаточно точно выражается формулой

$$\rho = a \left(\frac{I}{q} \right)^{-\frac{1}{4}},$$

коэффициент, устанавливаемый опытным путем.

На выводах пренебрегаем эффектом перекрытия при прохождении тока с фазы на фазу.

Рассматриваемые здесь схемы: Гретца, однофазной и трехфазной для трехфазной схемы с нулевой точкой коэффициент равен: 0,9:1,35; 1,17/ $\sqrt{3}$, а ξ равен 2; 2 и 1.

Для рассматриваемых однофазных и трехфазных схем включая элементарных выпрямителей

$$n = \frac{\sqrt{2} U_A}{E},$$

где E — амплитуда допустимого обратного напряжения. Последнее соотношение и выражение для ρ позволяют привести формулу (3) к такому виду:

$$N = 2^{\frac{7}{6}} \frac{p}{U_n} \left(\frac{a \xi}{k U_A - U_n} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{U_A}{E} \right)^{\frac{7}{3}} P, \quad (4)$$

где P — мощность нагрузки в ваттах.

Поиски минимума функции, задаваемой уравнением (4), при переменной величине U_n приводят к установлению зависимости:

$$U_n = \frac{3}{7} k U_A, \quad (5)$$

позволяющей найти выражение для минимального числа выпрямительных элементов в схеме, обслуживающей заданную нагрузку.

Подставляя в (4) значение U_n из (5), получаем после преобразования:

$$N_{\min} = 11 p \frac{(a \xi)^{\frac{3}{7}}}{(E k)^{\frac{3}{7}}} P. \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) позволяют заключить, что для создания выпрямителя с минимальным числом выпрямительных элементов при заданной мощности на выходе P (ватты) необходимо, чтобы рабочее напряжение приемника выпрямленного тока составляло $\frac{3}{7}$ напряжения холостого хода выпрямителя, а расчетная величина обратного напряжения E была выбрана с минимальным коэффициентом запаса. Эти уравнения, кроме того, устанавливают возможность, при соответствующем подборе рабочего напряжения приемника отказаться от предварительной специальной трансформации напряжения и обслуживать нагрузку выпрямителем оптимальных размеров.

Формула (6) показывает, что однофазная схема Гретца, при одной и той же мощности нагрузки P , требует, приблизительно, 1,72 больше элементов, чем трехфазные схемы.

Влияние отклонения от условия оптимума (5) на число элементов выпрямителя. Кривые рис. 1, построенные по формуле (4), показывают, что в известном диапазоне с отклонением напряжения U_n от величины $\frac{3}{7} k U_A$ число элементов меняется незначительно. В случаях же, требующих доведения до нагрузки напряжения, значительно отличающегося от величины, задаваемой выражением (5), число элементов в выпрямителе резко возрастает. Так, для доведения до нагрузки 24 В при трехфазной схеме Гретца и $U_A = 220$ В необходимо число элементов в 2,7 раза превосходить оптимальное. В подобных случаях становится сомнительной целесообразность применения выпрямителя без специальной предварительной трансформации подводимого напряжения. Отметим, что в рассматриваемом примере трансформация напряжения уменьшает не только число выпрямительных элементов, а значит, и стоимость выпрямителя, но и их токовую загрузку.

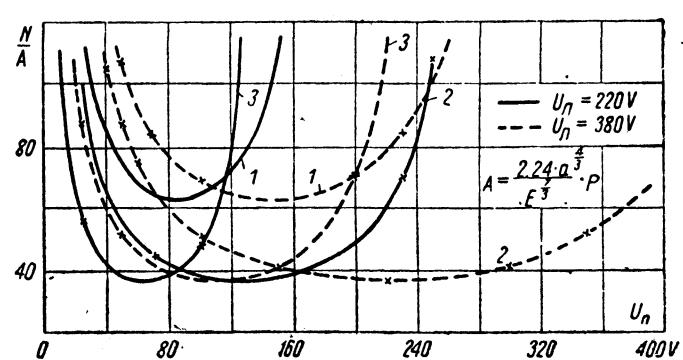


Рис. 1. Кривые зависимости числа элементов, составляющих выпрямитель, от рабочего напряжения нагрузки при ее неизменной мощности. Число элементов приводится в условных единицах.

1 — число элементов для однофазной схемы Гретца; 2 — для трехфазной; 3 — для трехфазной схемы с нулевой точкой

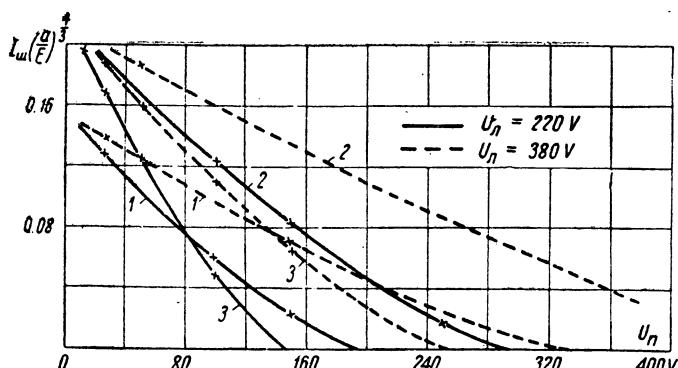


Рис. 2. Кривые зависимости токовой загрузки элемента в схеме выпрямителя от рабочего напряжения нагрузки. Токовая загрузка приводится в условных единицах.

1 — токовая загрузка элемента в однофазной схеме Гретца; 2 — в трехфазной; 3 — в трехфазной схеме с нулевой точкой

Зависимость температуры перегрева выпрямителя от тока загрузки элемента. Токовая загрузка выпрямительного элемента в период протекания тока

$$I_m = \frac{kU_n - U_n}{\xi n \rho} = \left(\frac{kU_n - U_n}{\xi n a} \right)^{\frac{4}{3}}$$

Как известно, токовая загрузка элементов лимитируется температурой их нагрева. Среднеквадратичное значение этого тока, предопределяющее нагрев элемента, при числе фаз схемы m и с учетом равенства $n = \frac{\sqrt{2}U_n}{E}$ будет:

$$I_m = \frac{1}{\sqrt{m}} \left[\frac{(kU_n - U_n)E}{\sqrt{2}U_n \xi a} \right]^{\frac{4}{3}}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что при расчете нагрузки на напряжение, задаваемое уравнением (5), загрузка выпрямительного элемента не зависит от напряжения, подводимого к выпрямителю и мощности приемника. Для однофазной

схемы получается $I_m = 0,073 \left(\frac{E}{a} \right)^{\frac{4}{3}}$, а для 3-фазных $I_m = 0,103 \left(\frac{E}{a} \right)^{\frac{4}{3}}$.

Общий характер изменения токовой загрузки элемента в зависимости от U_n показан на рис. 2, подсчеты произведены по формуле (7).

При работе сухого выпрямителя в режиме кратковременной перегрузки, практически вся энергия, в нем выделяемая, тратится на нагрев самого выпрямителя. Потери от обратного тока не оказывают заметного влияния на его температуру. Поэтому, если сопротивление выпрямительного элемента в омах составляет ρ , вес в граммах элемента g , вес радиатора, приходящийся на элемент, g_1 , удельная теплоемкость c $\frac{\text{W sec}}{\text{g} \cdot \text{C}}$, то из соотношения:

$$c(g + g_1)\Theta = I^2 \rho t,$$

прибегая к простым преобразованиям, получаем, что температура перегрева элемента

$$\Theta = \frac{aI^{\frac{7}{4}}}{c(g + g_1)m^{\frac{1}{8}}} \cdot t. \quad (14)$$

Расчеты выпрямителя, обслуживающего приводы к высоковольтным выключателям. Изложенные соображения были приняты в основу расчета схемы купроксного выпрямителя для обслуживания приводов к высоковольтным выключателям.

Расчету была предпослана экспериментальная работа по определению коэффициента a и величины E . В результате исследования выпрямителей завода им. Казицкого с диаметрами пластин 41/12 установлено, что среднее значение коэффициента a при температуре выпрямительного элемента в $+14^\circ$ составляет 1,64 (по данным опыта над 90 элементами),

а при температуре $+35^\circ - 1,07$ (по данным опыта 15 элементами). Если схему выпрямителя рассчитывать среднюю температуру в $+20^\circ$, то можно считать $a = 1$.

Для определения допустимого обратного напряжения была собрана трехфазная схема Гретца из 60 элементов с разбивкой элементов в каждом плече на 5 параллельных ветвей. При опытах напряжение повышалось ступенчато пробоя элементов.

Было установлено, что при двадцатисекундном приложении напряжения к исследуемым элементам, температур в $+35^\circ$ (к моменту включения напряжения) и при отсутствии нагрузки пробой наступает при 45—55 В на элемент (а туда значение обратного напряжения), а при наличии нагрузки в 4,7 А — при 40—50 В (амплитудное значение обратного напряжения до приложения нагрузки).

В результате экспериментов оказалось возможным привести в рассматриваемых условиях за допустимую величину плотности обратного напряжения $E = 26$ В с учетом того, что повышенное напряжение может составить 115% нального.

При обслуживании выпрямителем приводов к выключателям имеет место повторно-кратковременная загрузка элементов. Например, для обслуживания группы в 4—5 приводов выключателям ВТ-16, 22, 35, возможное суммарное время загрузки выпрямителя составляет 20 сек при забираемой выпрямителем мощности в 12 kW (в динамическом режиме работы привода).

Если рассчитывать выпрямитель на наибольшую окружную температуру в $+35^\circ$ (требование норм на приводы к выключателям) и допускать повторение двадцатисекундного цикла загрузки, начиная с температуры выпрямителя в $+40^\circ$ (необходимо для уменьшения времени между циклами загрузки), то можно допустить температуру перегрева выпрямительных элементов до 10° с тем, чтобы температура выпрямителя к концу цикла загрузки при самых неблагоприятных условиях не превысила 50° .

Расчет, произведенный по изложенной выше методике, показал, что при однофазной схеме Гретца допустимая загрузка элемента составляет 1,77 А, а при 3-фазных схемах 1,81 А. Число элементов выпрямителя, соответственно 1 и 1240. Эти величины демонстрируют бесспорное преимущество трехфазных схем, позволяющих собрать выпрямитель из относительно меньшего числа выпрямительных элементов.

Из рассмотренных трехфазных схем, в свою очередь, схема Гретца имеет известные преимущества перед схемой с нулевой точкой.

Лабораторная проверка двух собранных выпрямителей подтвердила полную приемлемость их для обслуживания приводов к высоковольтным выключателям и подтвердила правильность произведенных расчетов.

Применение полупроводников в качестве управляемых сопротивлений

А. Л. ГОРЕЛИК

Харьковский электротехнический институт

Получившие широкое применение управляемые электронные и ионные вентили, как известно, основаны на уникальной проводимости междуэлектродного пространства анод-катод и различных принципах управления междуэлектродным пространством.

Междупротодное пространство как электронного и ионного управляемого вентиля представляет собой искусственно созданный и далеко несовершенный провод управляемым электрическим или магнитным полем или током. Качество междуэлектродного пространства электронного прибора с точки зрения проводимости тока в значительной степени уступает металлическому проводнику, однако в новых приборах в результате компенсации плазмой отрицатель-

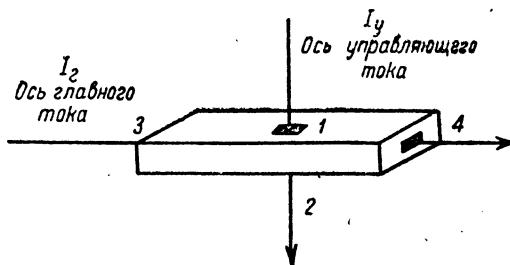


Рис. 1

мьенного поля у катода свойства междуэлектродного пространства приближаются к таковым для проводников.

В данной статье рассмотрен вопрос о возможности применения в качестве управляемых сопротивлений некоторых искусственно созданных твердых полупроводников с управляемой проводимостью. Испытанию были подвергнуты дели из селита, оцелита и тирита. Наиболее пригодным для решения поставленной задачи оказался тирит.

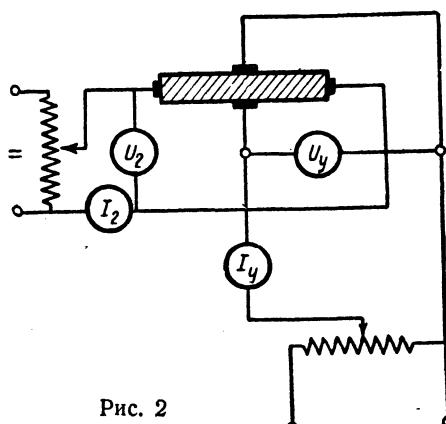


Рис. 2

Автором было экспериментально установлено, что если в пластинке тирита (рис. 1) приложить напряжение к зажимам 1, 2, перпендикулярным оси главного тока, то величина тока в направлении главной оси возрастет и будет зависеть от величины напряжения, приложенного к поперечной оси.

Для исследования влияния поперечного напряжения на электропроводность тирита были испытаны бруски с различными линейными размерами. Электрическая схема испытания приведена на рис. 2, где приняты следующие обозначения: I_2 — ток в главной оси, U_2 — напряжение, приложенное к главной оси; I_y — ток в управляемой оси, U_y — напряжение, соответствующее этому току.

Величина тока I_2 в значительной степени зависит от длины тока по тириту. Кроме того, величина сопротивления в этом пути зависит от напряжения U_2 .

Если к зажимам управляемого контура приложить напряжение U_y , то сопротивление главного контура уменьшится; с повышением U_y будет происходить кругое нарастание проводимости главного контура. Кривые $R = f(U_y)$ при $U_2 = \text{const}$ приведены на рис. 3.

Для выяснения некоторых свойств такого управляемого сопротивления, рассмотрим зависимости от управляемого напряжения токов $I_2 = f(U_y)$ и $I_y = f(U_y)$ при $U_2 = \text{const}$,

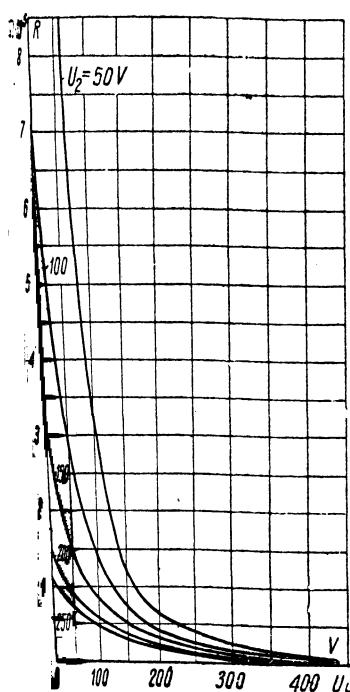


Рис. 3

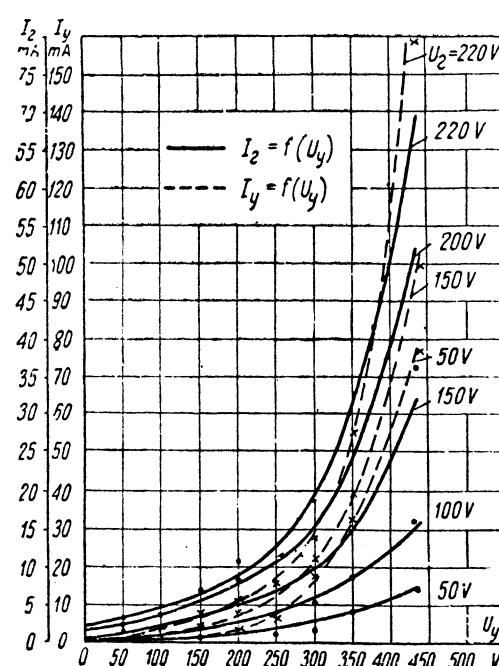


Рис. 4

представленные на рис. 4. Сопоставляя оба семейства кривых I_2 и I_y , мы видим, что управляющий ток I_y превышает ток главной цепи.

На рис. 5 показана зависимость отношения управляющего тока к главному в функции от главного напряжения для двух значений управляющего напряжения: 435 и 250 V. Из этих кривых можно заключить, что управление сопротивлением более рационально при возможных больших значениях

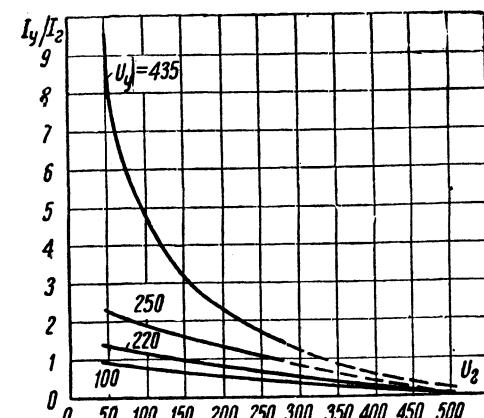


Рис. 5

главного напряжения U_2 и возможно малых управляющего напряжения U_y .

Это положение подтверждается зависимостью мощности главной цепи от мощности управляющей $P_2 = f(P_y)$ при $U_y = \text{const}$ (рис. 6). На рисунке видно, что отношение мощности главного контура к мощности управляющего растет с уменьшением управляющего напряжения.

Исследуемая схема обладает свойством обратимости осей — главной и управления.

Примем ранее управляющий контур за главный, а главный за управляющий. Воспользовавшись данными характеристик, приведенными на рисунке, мы построили известную уже зависимость $\frac{I_y}{I_2} = f(U_2)$ для $U_y = 100$ и $U_y = 220$ V

(рис. 5). Анализируя эти кривые, можно сделать следующее заключение: а) при заданных линейных размерах вентиль более рационален с обращенными осями и б) отношение $\frac{I_y}{I_2}$ асимптотически приближается к оси U_2 .

Нами исследовалось также влияние формы управляющих электродов на проводимость изучаемого сопротивления.

При изготовлении электродов из различных металлов не наблюдалось изменений в проводимости. Поверхности тирита в местах наложения электродов были металлизированы для устранения влияния величины нажатия на контакты управляющего и главного электродов.

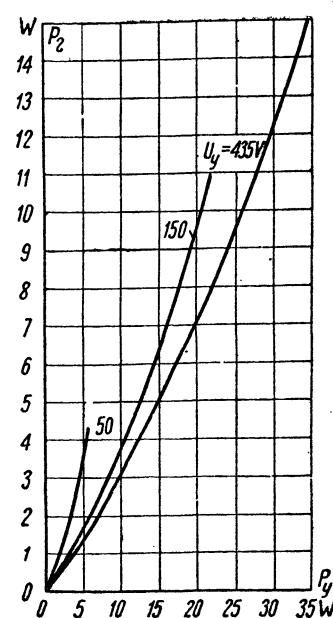


Рис. 6

В данной статье не рассмотрен вопрос теплового режима сопротивления, однако следует отметить рост проводимости как главного, так и управляющего контура в результате нагрева, обусловленного протеканием главного и управляющего токов. В проведенных опытах устранение влияния нагрева было достигнуто ограничением тока на один элемент. Повышение мощности можно получить путем параллельного соединения нескольких элементов как со стороны главного, так и со стороны управляющего контура. Таким образом можно получить управляемое сопротивление на желаемые токи нагрузки главного контура.

Проведенные эксперименты подтверждают возможность применения полупроводников в качестве управляемых сопротивлений, но проделанная работа является лишь начальным этапом решения этой задачи.

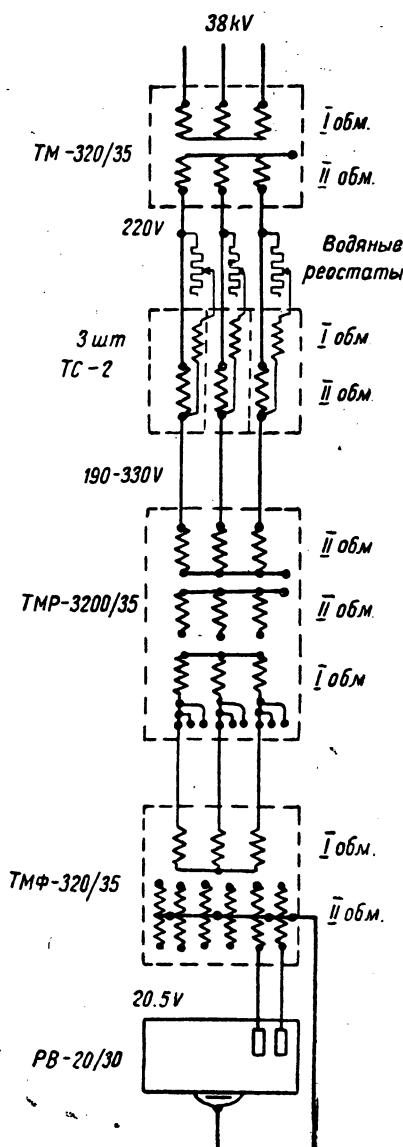
Формовка металлических ртутных выпрямителей типа РВ-20/30 методом К. З.

Е. А. МИХАЙЛЕНКО

Отдел электрификации Томской железной дороги

Для обеспечения нормальной работы металлических ртутных выпрямителей в период их монтажа и эксплуатации приходится производить переборку и формовку, которая заключается в откачке газов, окклюдируемых нормально находящимися под вакуумом частями и деталями выпрямителя.

Интенсивное выделение окклюдируемых газов достигается при формовке повышением температуры отдельных частей выпрямителя путем постепенного увеличения нагрузки для выпрямителей типа РВ-20/30 до 1500—1800 А при



выпрямленном напряжении 100 В, причем регулировка нагрузки производится водяным нагревочным реостатом.

Учитывая то, что падение напряжения в дуге выдается примерно 30 В, становится ясным, что затрачиваемая при формовке электроэнергия только 30% используется полезно в виде потерь внутри дуги, а остальная электроэнергия теряется в нагреве реостата.

Так как нормально ртутные выпрямители с графитовыми анодами приходится каждый раз перед формовкой дважды, то расход электроэнергии на двойную формовку одного выпрямителя составляет 50 000 kWh, из которых примерно 35 000 kWh теряется бесполезно в нагревочном реостате, что является недопустимым.

Отсюда напрашивается вывод о необходимости промежуточной формовки выпрямителей по методу К. З.

Этот метод формовки был автором настоящей статьи проверен на одной из тяговых подстанций электрифицированного участка Томской железной дороги (расположен в Томске).

Для обеспечения главного регулирования напряжения следовательно, и нагрузки короткозамкнутого выпрямителя вначале были применены сварочные дроссели, которые дали желательных результатов. Затем по предложению инж. Рябченко Л. И. были использованы сварочные трансформаторы ТС-2, соединенные в каскад с трансформаторами собственных нужд.

Изменением с помощью водяных реостатов тока первичных обмоток сварочных трансформаторов от 0 до 50 А достигалось регулирование напряжения, подведенного к витой обмотке силового трансформатора выпрямителя от 330 В, что обеспечивало плавное регулирование напряжения короткозамкнутого выпрямителя от 100 до 1500 А. При фазовом напряжении равнялось около 20,5 В, ток вторичной обмотки трансформатора собственных нужд достигал 200 А, что соответствует кажущейся мощности 85 кВА. Общая активная мощность на стороне выпрямленного тока 150 kW.

Если нагрузку регулировать не сварочными трансформаторами, а потенциал-регулятором (для чего нужен асинхронный двигатель с фазным ротором на ток до 220—250 А, напряжением до 75—100 В на фазу ротора, или трансформатором с короткозамкнутыми подвижными обмотками «Электричество» № 10—11 за 1939 г., стр. 106), то за счет устранения регулировочных реостатов еще уменьшается и экономия энергии достигает примерно 10%.

Необходимо, однако, помнить, что в начальный период формовки при таком низком напряжении ртутный выпрямитель может не принять нагрузку из-за затрудненного зажигания дуги. В таком случае нужно формовку до нагрузки 150 А начать по обычной схеме при выпрямленном напряжении 100 В, а в некоторых случаях даже при 200 В.

Для облегчения горения дуги при фазовом напряжении 20,5 В в начальный период формовки был применен сварочный осциллятор, подключенный к катоду и одному из анодов. При этом было замечено свечение всей поверхности ртути катода после отключения возбуждения и стабилизации напряжения на анодах.

Если осциллятор включить при отключенном возбуждении, то свечение на катоде не возникает.

При подключении осциллятора к одному из анодов, которые (до того не горевшие) аноды принимали на себя нагрузку, но после отключения осциллятора дуга на анодах снова гасла. Таким образом было установлено, что осциллятор облегчает зажигание дуги на анодах, в полной эффективности, повидимому, вследствие недостатка мощности осциллятора, однако проверить это обстоятельство не представлялось возможным.

Расчет контактных проводов на нагревание

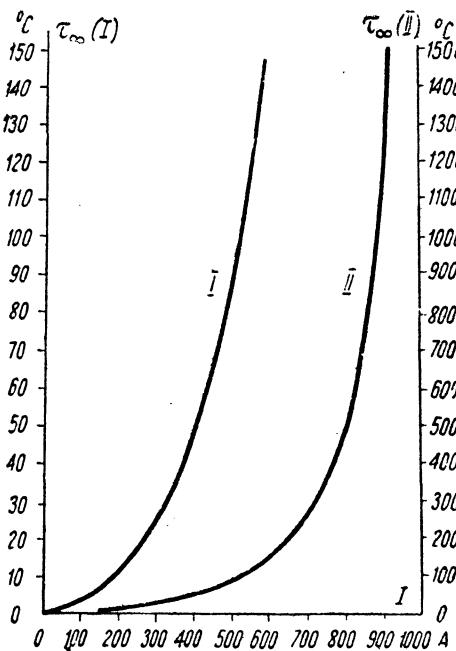
Л. Г. АБЕЛИШВИЛИ

Отдел электрификации Закавказской железной дороги

Нагрев электрических, голых проводов на открытом воздухе обычно нормируется на длительно действующую током. Нагрев при этом определяется наибольшей температурой 70—80°, не нарушающей нормальной работы контактных проводов.

Условия работы контактных проводов электрических дорог по характеру нагрузок сильно отличают-

¹ См. «Правила безопасности и правила устройства электротехнических сооружений сильного тока и высокого напряжений» с пояснениями, составленными Подольским ОНТИ, § 102, 1937, примечание 5.



1. Установившееся превышение температуры над температурой окружающей среды для контактного провода 100 mm^2 в зависимости от тока

ловий работы обычных воздушных линий общего значения. В контактных проводах преобладают кратковременные нагрузки и, как правило, длительные нагрузки отсутствуют.

Работа контактных проводов, в основном, определяется значением напряжения в сети, и нагревание их, обычно, имеет лишь проверочное значение. Нагревание контактных проводов может быть относительно значительным при коротких пролетах или нагрузках, сосредоточенных возле подвижки, т. е. при небольших сечениях контактной сети. В этих случаях проверка на нагрев, конечно, желательна. Проверка контактных проводов на нагревание должна проводиться не по длительным нагрузкам, а обязательно путем изменения нагрузок как по величине, так и во времени, ибо даже кратковременное повышение температуры $90-100^\circ$ может вызвать отжиг медного твердотянутого провода, а следовательно, повышенный износ контактной сети. Что касается среднеквадратичных токов, то, как увидел техника расчета по точным формулам настолько ясно, что расчет по среднеквадратичным токам теряет смысл.

Расчет проводов на нагревание при переменных, как по величине, так и во времени нагрузках излагается довольно полно в существующей литературе по электрическим сетям. Но при этом обычно пренебрегают увеличением сопротивления провода в результате нагревания его. Пренебрежение это приводит к погрешности, вполне ощутимой в инженерной практике. Как известно³, в теории нагревания тяговых двигателей введение температурного коэффициента привело к существенным поправкам в тепловых характеристиках. Таким образом существующие в общей теории расчеты нагревания проводов с учетом температурного коэффициента могут быть исправлены в сторону повышения их точности. Наконец, расчеты по формулам, содержащим показательные функции, можно считать, если не юзжими, то, безусловно, позволяющими искать более югого решения.

В настоящей работе предлагается расчет контактных проводов на нагревание при переменных нагрузках, учитывающий температурный коэффициент. Предлагаемый расчет является собою приложение к контактным проводам известной и распространенной в электрической тяге теории нагревания тяговых двигателей.

В одногонном метре контактного провода можно

написать следующее уравнение теплового баланса:

$$(1 + \alpha \tau) R_0 I^2 = B \cdot d t + c \cdot d \tau, \quad (1)$$

где: I — ток в А, τ — превышение температуры в $^\circ\text{C}$ контактного провода над температурой окружающей среды Θ_0 ($\tau = \Theta - \Theta_0$), R_0 — сопротивление метра провода в Ω при температуре $\Theta_0 = 30^\circ$, α — температурный коэффициент меди (разный для меди контактных проводов 0,00388), B — коэффициент, характеризующий охлаждение провода в $\text{W}/^\circ\text{C}$, t — время в мин, C — теплоемкость провода в $\text{W min}/^\circ\text{C}$.

Если ввести обозначения

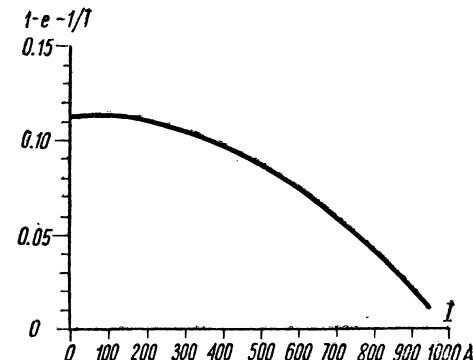
$$\tau_\infty = \frac{R_0 I^2}{B - \alpha R_0 I^2} [^\circ\text{C}] \quad (2)$$

и

$$T = \frac{e}{B - \alpha R_0 I^2} [\text{мин}], \quad (3)$$

то уравнение можно представить в виде:

$$d := (\tau_\infty - \tau) \frac{dt}{T}. \quad (4)$$



$$\text{Рис. 2. } \left(1 - e^{-\frac{I}{T}}\right) = \varphi(I).$$

При интегрировании в пределах от t до $t + \Delta t$ и неизменном токе интеграл уравнения (4) будет:

$$\Delta \tau = (\tau_\infty - \tau) \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}}\right). \quad (5)$$

Равенство (5) и представляет собою расчетную формулу. Величины τ_∞ и T суть тепловые параметры контактного провода. τ_∞ — представляет собою установившееся превышение температуры провода при заданной силе тока, T — называется (неправильно) „постоянной“ времени охлаждения провода.

Ниже мы ограничиваемся лишь перегонным контактным проводом сечением 100 mm^2 , так как меньшие сечения, подвешиваемые на стационарных путях, работают параллельно и нагреваются менее интенсивно. Для определения зависимости τ_∞ и T от тока нужно предварительно определить B .

Коэффициент теплоотдачи B может быть определен, если известна установившаяся температура для какого-либо значения тока. Для этой цели можно использовать таблицу, приводимую Л. П. Подольским⁴.

Контактный провод — цельнотянутый и имеет меньшую поверхность охлаждения, чем многожильные провода, для которых составлена названная таблица. Поэтому мы принимаем для него при $q = 100 \text{ mm}^2$ меньшую нагрузку, а именно $I = 400 \text{ A}$ при $\tau = 50^\circ$. Эти значения дают $B = 3820 \text{ R}_0$.

Подставив B в (2) и (3), найдем⁵ при $\alpha = 0,00388$

$$\tau_\infty = \frac{I^2}{3820 - 0,00388 I^2} \quad (6)$$

и

$$T = \frac{31350}{3820 - 0,00388 I^2}. \quad (7)$$

Равенства (6) и (7) определяют зависимости параметров τ_∞ и T от тока.

⁴ См. сноска 1.

⁵ Нами было принято: для контактного провода 100 mm^2 , $\Theta_0 = 30^\circ$, $R = 1,86 \cdot 10^{-4} \Omega/\text{м}$, $C_0 = 5,83 \text{ W min}/^\circ\text{C}$.

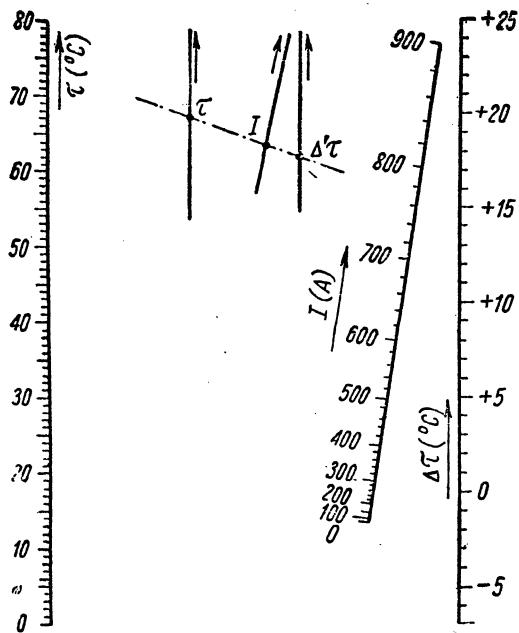


Рис. 3. Номограмма для определения превышения температуры контактного провода $q = 100 \text{ м}^2$ над температурой окружающего воздуха при $\Delta t = 1 \text{ мм}$

Непосредственное пользование формулой (5) технически неудобно, так как определение показательных функций для каждого значения тока представляет некоторые трудности. Формула (5) может быть упрощена, если положить $\Delta t = 1 \text{ мин.}$

Такое предположение практически вполне удобно: если токи определялись по выборкам из показаний регистрирующих приборов, то выборки для больших промежутков времени были бы не показательны, а для меньших промежутков просто затруднительны; если токи определялись расчетным путем, то в проектных заданиях обычно пользуются одноминутными или двухминутными промежутками.

После этого для дальнейшего упрощения формулы (5) можно ввести обозначения: согласно (6), $\tau_\infty = f(I)$, согласно (7),

$$\left[\left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{T}} \right) \right]_{\Delta t=1} = \varphi(I).$$

При этих обозначениях расчетное уравнение (5) примет вид:

$$\Delta t = [f(I) - \tau] \varphi(I). \quad (8)$$

Пользование формулой (8) будет весьма просто, если функции $f(I)$ и $\varphi(I)$ заранее определить и представить в виде графиков, что и сделано на рис. 1 и 2.

Однако расчет может быть еще более упрощен, если формулу (8) изобразить в виде номограммы. На рис. 3 представлена створная номограмма, состоящая из двух параллельных и одной криволинейной шкал. По номограмме Δt непосредственно определяется по заданным τ и I . Расчет превышений температуры по номограмме рис. 3 сводится к чтению значений Δt и складыванию их на счетах.

Исследование трансформаторных масел, содержащих прибавки кумароновых смол¹

А. А. ВОРОБЬЕВ и Н. А. ПРИХОДЬКО
Сибирский физико-технический институт при Томском государственном университете им. Куйбышева

В ряде исследований, проведенных в высоковольтной лаборатории СФТИ, было выяснено, что введение в масло доли процента кумароновых смол улучшает его свойства и повышает стойкость в эксплуатации сравнительно с исходным маслом.

¹ Постановлением от 3 июля 1939 г. бюро изобретений НКЭП авторам выдано авторское свидетельство.

Гигроскопичность масел с различным процентным со- нием кумароновой смолы в зависимости от времени хранения приведена на рис. 1. Кривые показывают, что при уве- нии процента содержания кумароновой смолы способность масла поглощать из воздуха влагу уменьшается. При со- жжении смолы 0,4% увеличение веса пробы масла после хранения почти не наблюдается.

Данные рис. 1 характерны для большинства различных сортов, подвергавшихся испытаниям.

Соответственно с изменением количества воды, поглощенной маслом, изменялось и его пробивное напряжение.

На рис. 2 представлено изменение пробивного напряжения в зависимости от времени открытого хранения масла. По оси ординат отложено значение пробивного напряжения при пробое на переменном напряжении, а по оси абсцисс — времена хранения. Электроды употреблялись стандартные с расстоянием между ними 2,5 мкм. Кривая 3 соответствует исходному маслу, 2 — маслу, в котором кумароновая смола была введена в момент изготовления вначале концентрированного раствора смолы в масле и затем разбавления этого концентрированного раствора до нужной концентрации (до 0,5%). Кривая 1 показывает ту же зависимость для масла, в которое было внесено 0,5% по весу мелкоизмельченной смолы, которая мгновенно растворилась, а частично осталась лежать на дне судна нерастворенной.

Приведенные на рис. 2 данные показывают, что за 30 суток открытого хранения исходное масло за счет поглоще-

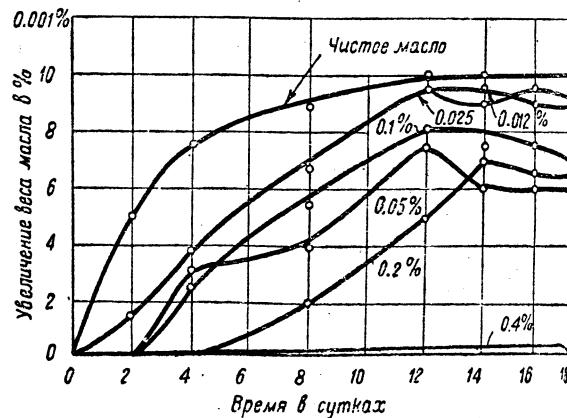


Рис. 1

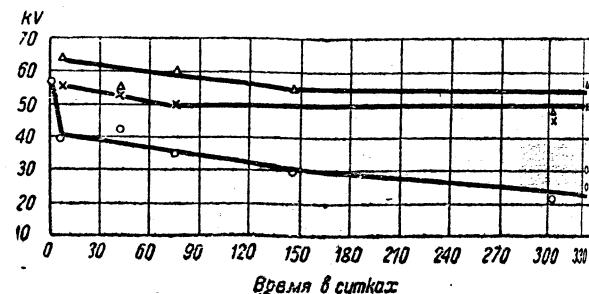
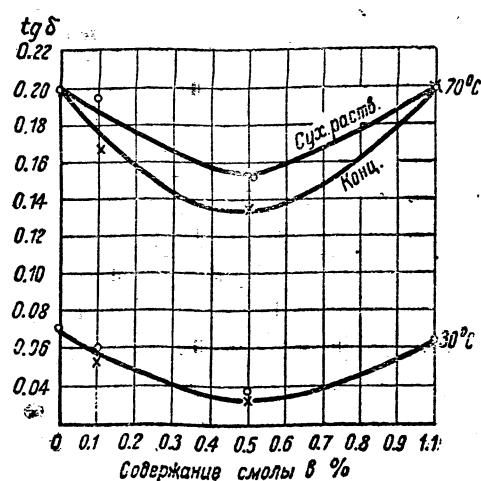


Рис. 2



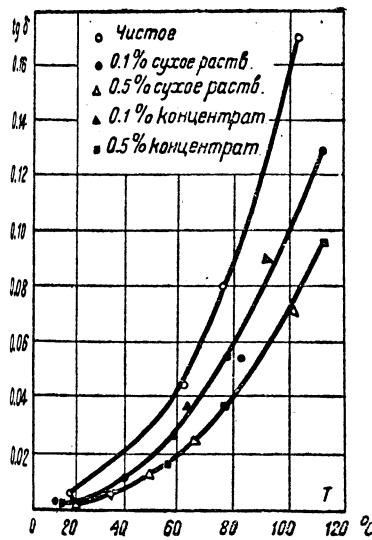


Рис. 4

лаги снизило пробивное напряжение на 64%, а масло, содержащее смолу, только на 10%.

Измерение диэлектрических потерь на мосте Шеринга показало, что некоторое процентное содержание смолы в масле приводит к понижению $\text{tg } \delta$ в 2 раза (рис. 3). Полученная зависимость показывает (рис. 3), что для данного масла существует некоторое оптимальное количество смолы, при котором потери получаются наименьшими.

Интересно отметить, что наименьшей гигроскопичностью обладают масла с содержанием смолы около 0,3—0,5%.

На рис. 4 изображена зависимость $\text{tg } \delta$ от температуры. Из этого рисунка видно, что при введении в масло кумароновой смолы общий характер температурной зависимости $\text{tg } \delta$ сохраняется. Однако величина диэлектрических потерь уменьшается (на рис. 4 в 2 раза), что приводит к смещению рабочей температуры масла в область более высоких температур.

О качестве масла можно судить по величине его поверхностного натяжения. С увеличением поверхностного натяжения в границе масло — вода улучшаются диэлектрические свойства масел.

С целью изучения влияния кумароновых смол на свойства масел были проведены измерения поверхностного натяжения масел после введения присадок кумароновых смол, за-чи после пребывания масел в атмосфере повышенной влажности, наконец, после пребывания в атмосфере кислорода. Измерения показали, что поверхностное натяжение масел, содержащих кумароновую смолу, сохраняется неизменным, то время как поверхностное натяжение чистых исходных масел заметно ухудшается.

Измерения поверхностного напряжения проводились прибором Ребиндера, прибором Курлина и методом отрывания пузырька.

Кислотность масла при введении кумароновой смолы несколько уменьшается, что показывают данные, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Содержание кумароновой смолы в масле %	Кислотное число mg. KOH	Содержание кумароновой смолы в масле %	Кислотное число mg. KOH
0,000	0,30	0,051	0,25
0,034	0,27	0,2	0,24

Вязкость масла, содержащего кумароновую смолу, определенная по методу ЦЭС, как это видно из табл. 2, не меняется.

Вязкость масел при введении кумароновой смолы увеличивается в сотых долях градусов Энглера (табл. 3). При низких температурах масла содержание кумароновой смолы снижает вязкость масла.

На рис. 5 представлена зависимость логарифма вязкости от температуры. Кривая, идущая по черным кружочкам, имеет зависимость логарифма вязкости от температуры исходного масла, застывшего в спокойном состоянии, охлаждения, кривая, построенная по крестикам, — для

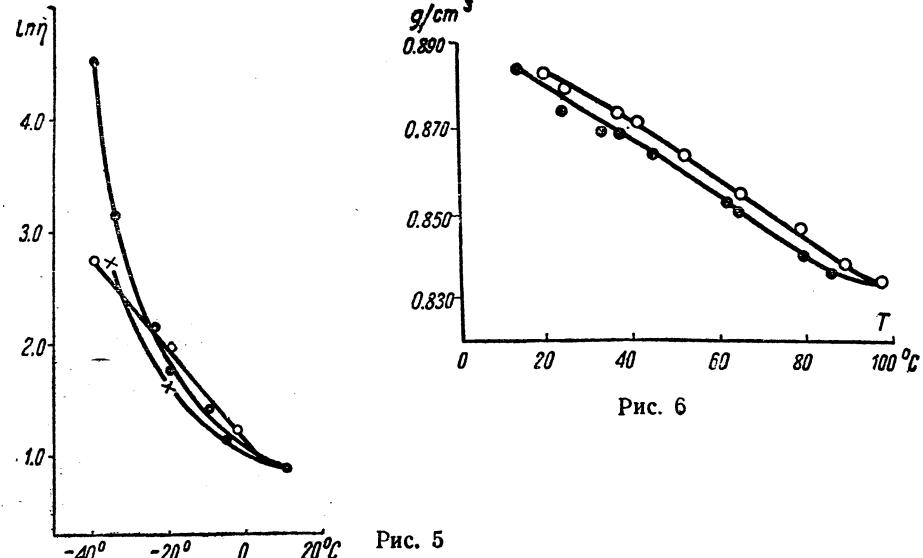


Рис. 5

Рис. 6

Таблица 2

Содержание смолы %	Кислотность mg KOH		Осадок, %	Содержание смолы %	Кислотность mg KOH		Осадок, %
	до окисления	после окисления			до окисления	после окисления	
0	0,3	0,65	0,14	0	0,05	0,42	0,11
0,3	0,3	0,56	0,15	0,3	0,05	0,40	0,12

Таблица 3

исходное масло	Вязкость в Э_{20}		
	масло с присадкой смолы 0,5%	исходное масло	масло с присадкой смолы 0,5%
5,47	5,50	6,22	6,28
5,72	5,76		

масла, перемешанного перед измерением. Вследствие нарушения структуры вязкость масла после перемешивания значительно уменьшилась. Прямая (светлые кружочки) изображает ту же зависимость для масла, содержащего кумароновую смолу. Нужно заметить, что характер зависимости вязкости от температуры при введении кумароновой смолы изменился в благоприятную сторону и величина вязкости при низких температурах уменьшилась. Температура загустевания масла сдвинулась в область более низких температур.

Плотность масла, содержащего кумароновую смолу, в зависимости от температуры представлена на рис. 6. Измерение плотности велось весами Вестфalia. Проба приготавлялась следующим образом: на дно сосуда насыпалась кумароновая смола и заливалась маслом, затем сосуд нагревался с помощью водяной бани. При повышении температуры смола растворялась.

Одна кривая на рис. 6 дает зависимость плотности масла от температуры при нагревании, другая кривая (кружочки) — то же при охлаждении. Ход кривых показывает, что растворившаяся при повышении температуры смола при последующем понижении температуры не выпадает из раствора.

С целью изучения поведения масел с присадками кумароновых смол в условиях работы трансформаторов были проведены полугородковые наблюдения за трансформаторами, заполненными маслом с 0,3% смолы.

Два трансформатора типа ТМ, 3300/220 V, мощностью 75 kVA, и два трансформатора такого же типа, мощностью по 50 kVA, были выделены для этих целей Управлением сетей и подстанций Томской тэц. Кроме этих трансформаторов, под наблюдением находилось еще два трансформатора нашей лаборатории напряжением 10 kV мощностью 1,5 kVA. Три трансформатора из шести были заполнены чистыми маслами, три — маслом с кумароновой смолой, введенной в масло

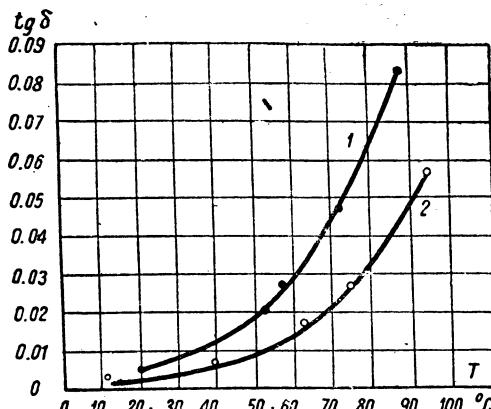


Рис. 7

или в виде концентрированного раствора в масле или в виде порошка. Наблюдения за этими аппаратами показали, что масла с кумароновыми смолами в условиях службы трансформатора более устойчивы, чем исходные масла: кислотность масел, содержащих смолу, с течением времени растет медленнее; пробивное напряжение меньше падает.

Другие характеристики этих масел также меньше изменяются со временем. На рис. 7 представлен температурный ход тангенса угла диэлектрических потерь для масел, взятых из двух спаренных трансформаторов после их годовой работы. Как видно, в обычном масле (кривая 1) потери в 2 раза больше, чем в масле, содержащем кумароновую смолу.

Данные наблюдений за изменением свойств масла в трансформаторах, находящихся в эксплоатации, позволяют говорить о положительном итоге испытаний масел, содержащих кумароновую смолу, в эксплоатационных условиях.

Кроме указанных выше наблюдений за изменением свойств масел с присадками кумароновых смол в условиях эксплоатации, проводятся систематические наблюдения за старением масел с присадками смол в условиях открытого хранения. Под наблюдением находятся три сорта масел, из которых приготовлены 15 проб с различным содержанием смолы, введенной различным образом. Результаты годовых наблюдений за этими пробами показали, что масла, содержащие смолу, старятся медленнее, чем исходные масла, находящиеся в тех же условиях открытого хранения.

Все вышеизложенные данные позволяют нам поставить вопрос о применении масел с присадками кумароновых смол для опытной эксплоатации в более широких масштабах, чем в наших опытах. Мы считаем возможным употреблять масла, содержащие кумароновые смолы, для заливки трансформаторов, конденсаторов, втулок и изготовления пропитывающего состава для кабелей.

Как показывает опыт, для каждого испытанного масла имеется своя оптимальная присадка смолы, величина которой легко подбирается при измерении угла потерь в зависимости от содержания процента смолы. Величина оптимальной присадки колеблется в пределах 0,2—0,5%.

В процессе работы были опробованы следующие способы введения смолы в масло: растворение смолы в масле при комнатной температуре и температуре 60—80°; изготовление концентрированного раствора смолы в масле (3—5%) и затем — разбавление концентрата в масле до нужного разведения; разгонка кумароновой смолы и введение в масло отдельных погонов; растворение кумароновой смолы в растворителе (бензол, ксиол и др.); введение этого концентрата в масло и удаление растворителя. Наиболее простыми и дающими хорошие результаты являются способы 1, 2 и 3.

При большом содержании кумароновой смолы в масле (от 50 до 90%) получаются компаунды, которые обладают хорошими электроизолирующими свойствами. Например, пробивной градиент компаунда с содержанием смолы в масле в 90% достигает 10⁶ В/см. В горячем состоянии эти компаунды хорошо пропитывают пористые и волокнистые материалы — бумагу, дерево, ткань. Кабельная бумага, пропитанная компаундом, увеличивает свое пробивное напряжение в 10 раз. Компаунд с содержанием кумароновой смолы от 80% и выше при комнатной температуре является твердым. Конденсаторы, изготовленные с использованием этого компаунда, при толщине слоя диэлектрика в 4—5 мкм работали в ударном контуре при рабочем напряжении 60 кВ. Емкость конденсатора достигала 1000 см.

Литература

1. А. А. Воробьев и Н. А. Приходько. Заявка на авторское свидетельство в НКЭП. 15690.
2. Ш. А. Приходько. Труды СФТИ в печати.

Магнито-электрический амперметр переменного тока

(Предварительное сообщение)

Л. А. ГОНЧАРСКИЙ
Ленинград

Направление отклонения катушки магнито-электрического прибора определяется направлением тока, текущего обмотке рамки прибора. Поэтому магнито-электрические приборы применялись только для измерений постоянного тока. При пропускании переменного тока через прибор начинает вибрировать, что обычно обнаруживается по движению стрелки прибора. Казалось бы, что периодически приложенная к рамке, меняющая свое направление с изменением полярности питающего тока, лишает возможность применить магнито-электрический прибор для измерения переменного тока. Однако можно показать, что подобное включение справедливо не для всех случаев. Если находится в неоднородном магнитном поле, например в форме полюсных наконечников, приведенной на рисунке, то, кроме периодической силы, толкающей рамку, редко то в одну, то в обратную сторону, появляется торовая постоянная сила, стремящаяся повернуть рамку, причем эта сила тем больше, чем больше сила тока и больше при одном и том же значении тока амплитуда колебаний рамки.

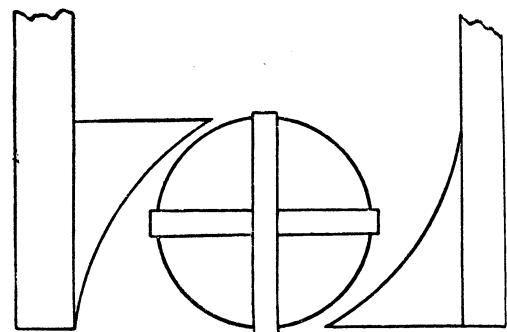


Рис. 1

Это явление можно, повидимому, характеризовать «детектирование механических колебаний при помощи магнитного поля».

При включении обычного магнито-электрического амперметра с полюсными наконечниками, показанными на рисунке, можно обнаружить, кроме вибрации стрелки, смещение в одну сторону.

Величина смещения определяется силой тока, текущего через рамку, поэтому магнито-электрический амперметр симметричным магнитным полем может быть использован для измерения переменного тока.

Однако значительный момент инерции рамки, стрелки и другие элементы, сильно понижают чувствительность прибора; с другой стороны, колебания стрелки позволяют точный отсчет показаний прибора.

Для увеличения чувствительности прибора следует дать наилучшие условия детектирования, т. е. особый род вибрационного фильтра, который задерживает колебания большой частоты и пропускает быстрые изменения (модуляцию) их амплитуды. Таким фильтром может служить всякая упругая система с большим моментом инерции (большой временной постоянной), в частности, масляная рамка без всякой обмотки.

Эта рамка несет стрелку и имеет отдельную пружину, обеспечивающую восстанавливющий момент. Рамку с пружиной (без стрелки) необходимо связать с фильтром рамкой другой пружиной, обеспечивающей ей возможность совершать частные колебания с достаточной амплитудой для использования наилучшим образом градиентов однородности магнитного поля.

Для опытов был использован прибор типа МН «Электроприбор». Полюсные наконечники магнита были лены, как это показано на рисунке. Подвижную часть прибора изготовили в виде двух рамок. Внутренняя (рамка того же прибора МН), несущая обмотку, вращалась на кернах, упирающихся в подшипники, укрепленные на внешней рамке, изготавленной из латуни, а внешняя в свою очередь вращалась на кернах в подшипниках, лежащих в каркасе прибора. Рамки расположили крест-накрест (как это показано на рисунке) для того, чтобы различивать ширину воздушного зазора. Внутренняя и внешняя рамки были связана стальной спиральной пружиной.

жесткой), а наружная рамка была связана с каркасом бронзовой спиральной пружиной, применяемой в приборе МН. Стрелка прикреплялась к наружной рамке. Таким образом была получена система внутренней рамки малой массы и соответственно малого периода качания, дающей врачающий момент, и система наружной рамки, имеющей большой период качания и несущей стрелку. Направление изменения воздушного зазора было выбрано так, чтобы ширина воздушного зазора была наименьшей при левом положении рамки и возрастала с отклонением рамки. Испытание показало, что чувствительность прибора с двумя рамками к переменному току оказалась во много раз большей однорамочного прибора.

Не касаясь в настоящем сообщении условий, определяющих наибольшую чувствительность прибора, следует все же отметить целесообразность уменьшения собственного периода внутренней рамки и приближения ее собственной частоты к частоте измеряемого тока.

Шкала прибора оказалась нелинейной, причем линейному закону изменения воздушного зазора соответствовала приблизительно квадратичная шкала. Вероятно, для увеличения равномерности шкалы следует изменить форму воздушного зазора, сделав нарастание ширины его в начале шкалы более интенсивным, чем в конце¹.

¹ Проф. Г. А. Гриинберг и проф. Б. А. Остроумов дали автору ряд ценных указаний по изложенному вопросу.

К ПЕРЕСМОТРУ СТАНДАРТОВ И НОРМ

Замечания к проекту стандарта „Правила испытания силовых трансформаторов“¹

Испытание трансформатора на нагревание, согласно рассматриваемому проекту, производится при некоторой условной нагрузке, создающей в трансформаторе потери, равные потерям в нем при номинальной нагрузке и при температуре обмоток 75° . Так как при температуре окружающей среды порядка $5-10^{\circ}$ и выше обмотки трансформатора при номинальной нагрузке имеют температуру больше 75° , то в этих случаях для получения заданных потерь испытание на нагревание производится при нагрузках, пониженных по сравнению с номинальной. Наоборот, при температурах окружающей среды ниже $5-10^{\circ}$ испытание на нагревание производится при нагрузках выше номинальной. Поскольку выделяющиеся в трансформаторе во всех этих случаях потери одинаковы (а именно, равны потерям в нем, получающимся при номинальной нагрузке и температуре обмоток 75°), составители проекта стандарта предполагают, что превышения температуры обмоток над температурой окружающей среды будут во всех этих случаях одинаковы.

В действительности коэффициент рассеяния тепла трансформаторов с естественным охлаждением зависит от температуры окружающего воздуха; поэтому превышения температуры, получаемые при испытании, несмотря на одинаковую величину выделяющихся потерь, оказываются зависящими от температуры окружающего воздуха, а это, естественно, может вызвать недоразумения при приеме трансформатора.

Таким образом при методе испытания, предложенном в проекте стандарта, недостаточно создать трансформаторе при испытании определенные потери, надо еще учесться, при какой стандартной температуре окружающей среды следует производить испытание на нагревание, и в том случае, когда температура отличается от стандартной, надлежит поправки, учитывающие влияние температуры окружающего воздуха на превышение температуры обмоток.

Вопрос о необходимости введения поправок был некоторыми членами рабочей комиссии при проектировании проекта стандарта, причем было

поручено составителям стандарта осветить этот вопрос в пояснительной записке к стандарту. Следует отметить, что по нормам других стран испытание трансформатора на нагревание должно производиться не при заданных потерях, соответствующих температуре обмоток 75° , а при номинальных значениях тока и напряжения. При таком испытании потери в трансформаторе растут при увеличении температуры воздуха, но это изменение потерь в трансформаторах с естественным охлаждением компенсируется изменением коэффициента рассеяния тепла. Вопрос об изменении потерь и коэффициента рассеяния тепла нашел отражение в американском стандарте на трансформаторы, в котором указано, что при испытании трансформаторов с естественным охлаждением превышение температуры обмоток практически не зависит от температуры воздуха при изменении этой температуры от 10 до 40° (испытание по американскому стандарту производится при номинальных значениях тока и напряжения).

Составители проекта стандарта, рассматривая трансформаторы с естественным охлаждением, пришли к другому выводу, указывая, что «целесообразнее все испытания основывать на определенном значении потерь, пренебрегая изменением теплоотдачи при изменении температуры окружающей среды». Согласиться с таким выводом, однако, никак нельзя, так как при обосновании его в пояснениях к проекту стандарта допущен ряд ошибок. Если эти ошибки исправить, то получается результат, обратный тому, который получили составители проекта стандарта. Укажем здесь эти ошибки.

1. Уравнение Лоренца (уравнение 1) в том виде, в каком оно приведено в пояснениях к стандарту, справедливо только для газов, у которых коэффициент объемного расширения² равен $\alpha = \frac{1}{\theta_0}$ (см. Lorenz, Ann. Ph. Chem. 1881, Bd 13,

стр. 582, и Рихтер „Электрические машины“, т. I, стр. 315, уравнение 451 нем. изд.). У масла коэффициент α можно считать в пределах температур $20-80^{\circ}$ постоянным [2, стр. 81, табл. 11], поэтому при определении τ_k — превышения темпе-

² Обозначения и нумерация источников, на которые делают ссылки, те же, что и в пояснениях к проекту стандарта. „Электричество“ № 2, 1940.

ратуры меди над температурой масла, следует вместо уравнения (1) применять уравнение

$$\Phi = 0,548 \sqrt{\frac{c g \alpha \lambda \gamma^3}{\mu h} (\theta - \theta_0)^5}$$

2. В пояснительной записке к проекту стандарта принято $c \gamma^2 \lambda^3 = \text{const.}$

Теплоемкость масла c , действительно, можно считать постоянной. Плотность масла γ , как следует из данных табл. 11, стр. 81 [2], изменяется с температурой незначительно. В среднем для разных сортов масла при температурах масла θ_m от 20 до 80° можно считать

$$\gamma = \gamma_{80} \left(1 + \frac{80 - \theta_m}{60} 0,046 \right),$$

где γ_{80} — плотность при температуре масла $\theta_m = 80^\circ$.

Данные о теплопроводности масла λ , заимствованные из книги А. В. Трамбицкого "Расчет трансформаторов" (стр. 202, рис. 149), приведены ниже в табл. 1, в которой вычислены также отношения $\gamma^2 \lambda^3$ при различных температурах масла к $(\gamma^2 \lambda^3)$ при $\theta_m = 80^\circ$. Как видно из данных табл. 1, нельзя принять $c \gamma^2 \lambda^3$ постоянной величиной.

Таблица 1

Температура воздуха θ_0	35	25	15	0
Температура масла θ_m	80	70	60	45
Теплопроводность λ				
Отношение γ / γ_{80}	2,05	2,00	1,91	$1,80 \times 10^{-3}$
μ / γ (по данным лаборатории им. Смуррова)	1	1,008	1,016	1,027
$(\gamma^2 \lambda^3) / (\gamma^2 \lambda^3)_{80}$	0,070	0,082	0,100	0,165
Отношение $(\tau_k)_{\theta_0} / (\tau_k)_{85}$ при условии, что принято:	1	0,946	0,836	0,714
1) μ по данным лаборатории им. Смуррова	1	1,046	1,117	1,276
2) μ обр. проп. θ_m	1	1,039	1,099	1,200
3) μ по данным пояснений к проекту	1	1,013	1,048	1,098

3. Вязкость масла μ на основании данных Рихтера и опытов ВЭИ принята в пояснениях обратно пропорциональной температуре масла. Данные опытов, произведенных в лаборатории им. Смуррова, не соответствуют этой зависимости [2, стр. 82, рис. 37].

Учитывая замечания, приведенные в пп. 1 и 2, мы произвели пересчет значений $\frac{(\tau_k)_{\theta_0}}{(\tau_k)_{85}}$, причем вследствие расхождения данных о вязкости масла было сделано два расчета: при первом было предположено, что вязкость обратно пропорциональна температуре, при втором — значения $\frac{\mu}{\gamma}$ были взяты по данным опытов в лаборатории им. Смуррова [2, стр. 82, рис. 37, кривая 2]. Результаты подсчетов приведены в табл. 1, в которую для сравнения внесены отношения $\frac{(\tau_k)_{\theta_0}}{(\tau_k)_{85}}$, фигурирующие в пояснениях к проекту.

Соответственно изменениям в отношении $\frac{(\tau_k)_{\theta_0}}{(\tau_k)_{85}}$ изменяются значения коэффициента k_1 , учитывающего влияния температуры воздуха на коэффициент рассеяния тепла при постоянстве потерь (табл. 2).

При всех этих расчетах соотношение потерь и превышения температур меди и масла были приняты такими же, как и в пояснениях к проекту стандарта.

В табл. 2 внесены еще значения k_1 , приведенные в пояснениях к проекту стандарта, и коэффициент k_2 , характеризую-

	$O_u / O_k = 0,1$	$O_u / O_k =$
а) Значения μ / γ взяты по данным лаборатории им. Смуррова		
θ_0	0	15
$(\tau_{\text{мер}})_{\theta_0} / (\tau_{\text{мер}})_{85}$	1,008	1,002
$(\tau_k)_{\theta_0} / (\tau_k)_{85}$	1,26	1,117
k_1	1,094	1,046
k_2	0,93	0,96
$k_1 k_2$	1,016	0,998
k_1 по пояснению к стандарту	1,038	1,017
	1,004	1,054
	1,025	

б) Значения μ приняты обратно пропорционально

θ_0	0	15	25	0	15
$(\tau_{\text{мер}})_{\theta_0} / (\tau_{\text{мер}})_{85}$	1,008	1,002	1,000	1,032	1,014
$(\tau_k)_{\theta_0} / (\tau_k)_{85}$	1,200	1,099	1,039	1,200	1,099
k_1	1,072	1,034	1,013	1,088	1,042
k_2	0,93	0,96	0,98	0,93	0,96
$k_1 k_2$	0,997	0,992	0,993	1,012	1,000
k_1 по пояснению к стандарту	1,038	1,017	1,004	1,054	1,025

ший изменение потерь при изменении температуры воздуха. Как видно из данных табл. 2, значения k_1 , фигурирующие в пояснениях к проекту стандарта, преуменьшены, и значение о том, что $1 - k_2$ в несколько раз больше k_1 неверно.

Интересно отметить, что произведение $k_1 k_2$, характеризующее влияние изменения температуры воздуха на изменение температуры обмотки при учете изменения потерь коэффициента рассеяния тепла, сохраняется почти постоянным. Так, при изменении температуры воздуха от 15° это произведение отличается от единицы менее чем на 1%.

Таким образом в результате анализа соотношения коэффициентов k_1 и k_2 (вычисленных с исправлением ошибок опущенных составителями проекта стандарта), при следующим заключениям в отношении трансформатора с естественным масляным охлаждением:

а) Незначительное изменение произведения $k_1 k_2$ не влияет на правильность рекомендации американского стандарта о независимости превышения температуры обмотки от температуры окружающего воздуха, если испытание на нагревание производится при номинальных значениях тока и напряжения.

б) Сравнительная близость величин $k_1 - 1$ и $1 - k_2$ вызывает на неправильность вывода, приведенного в пояснениях к проекту стандарта, о возможности преебречь изменение коэффициента рассеяния тепла.

Вследствие этого, если испытание трансформатора на нагревание производится при потерях, соответствующих температуре обмоток 75°, необходимо вводить поправки к измеряемым при испытании значениям превышения температуры обмоток и масла для учета влияния изменения коэффициента рассеяния тепла.

В связи с необходимостью вводить указанную поправку возникает вопрос, к какой температуре окружающей среды приводить получаемые при испытании значения превышения температуры. Поскольку в проекте стандарта предполагается испытание при потерях, соответствующих температуре обмоток 75°, то мы считаем единственно правильным приводить превышения температуры обмоток к той температуре окружающей среды, при которой в условиях номинальной нагрузки обмотки имеют температуру 75°. Если вводить поправку, то полученное таким образом превышение

температуры, как следует из изложенного выше, окажется выше превышению температуры, получаемому при испытании трансформатора на нагревание в условиях, предусматриваемых нормами IX ВЭС, а именно, при номинальных значениях тока и напряжения.

Следует отметить, что предписания стандарта на силовые масляные трансформаторы (ОСТ 2524, § 26), касающиеся допустимых превышений температур, а также предписания рассматриваемого нами проекта стандарта, касающиеся испытания на нагревание, не давая указаний, к какой температуре окружающего воздуха следует относить превышения температур, в неявной форме преуменьшают истинные превышения температур и в то же время могут повести к отмеченным выше недоразумениям.

По этим причинам мы полагаем, что способ испытания трансформаторов на нагревание, принятый в нормах других стран, а также указанный в правилах и нормах для испытания трансформаторов, одобренных IX ВЭС, а именно, испытание при номинальных значениях тока и напряжения является более целесообразным и ему следует отдать предпочтение.

Приведенные выше рассуждения относились к трансформаторам с естественным охлаждением. Необходимо дополнить

стандарт также указаниями о влиянии температуры воздуха и воды на превышения температуры трансформаторов с искусственным охлаждением.

Касаясь прочих разделов проекта стандарта, следует отметить, что указание § 63 о необходимости измерения сопротивления изоляции само по себе недостаточно; необходимо дать указания о требуемой величине сопротивления изоляции, так как в противном случае такое измерение не имеет смысла.

Кроме того, следует ввести в состав контрольных испытаний испытания бака (§§ 53 и 56 проекта стандарта).

А. В. ТРАМБИЦКИЙ
Ленинградский завод „Электрик“

С. М. ГОХБЕРГ
Ленинградский институт инженеров связи

З. П. ЧЕРНОГУБОВСКИЙ
„Ленгидэп“

В. И. ИВАНОВ
„Ленгидэп“

Г. П. АЛЕКСАНДРОВ
Ленинградский индустриальный институт

БИБЛИОГРАФИЯ

БЫЧКОВ В. Электротехника в военно-инженерном деле. М. 1939, 328 стр., 239 рис. (Военно-инженерная академия им. Куйбышева), 1500 экз., цена 21 р. 35 к.*

Несмотря на довольно широкое и многообразное применение электрической энергии в военно-инженерном деле, до сих пор в специальной военно-технической и учебной литературе было работы, в которой были собраны все основные сведения по этому вопросу.

Текущая работа В. Бычкова дает возможность как служащему военно-инженерное дело, так и военному инженеру, находящемуся уже на практической работе, познакомиться в одной книге с основами применения электротехники в военно-инженерном деле.

В первой главе «Применение электродвигателей для привода» автор излагает главным образом вопросы, связанные с эксплуатацией электродвигателей применительно к возможным случаям их использования для механизации (приведение в действие машин — орудий и исполнительных механизмов) творения военно-инженерных и военно-строительных работ. Читая, что производство военно-инженерных работ проходит и ночью или в особых условиях без естественного освещения, вопрос об устройстве электроосвещительных устройств и рациональной организации освещения, в том числе и боевого прожекторного освещения, автор выделил отдельную вторую главу.

Третья глава — «Использование электрической энергии для нуждностей военно-инженерного дела» — состоит из двух подразделов.

«Электрическое отопление».

«Электропрогрев бетона» — вопрос, особенно важный при производстве бетонных работ в зимнее время.

«Электросигнализация». Здесь автор ограничивается описанием наиболее распространенных схем электросигнализации, применяемых для лучшей организации и ускорения ведения работ при большой разбросанности строительных работ.

«Применение электроэнергии для транспорта». Электрический транспорт представлен только кратким описанием устройства и эксплуатации электрокаров, изготавляемых промышленностью.

«Электризованные искусственные препятствия». Ввиду этого вопрос является совершенно специфическим, и он предваряется параграфом «Физиологические действия электрического тока на человеческий организм». При этом вопроса автор учел опыт мировой империальной войны и последних войн.

Материалам информационно-библиографического секции научной библиотеки.

В четвертой главе — «Электрические сети» — рассматриваются техника и организация передачи энергии в пункты потребления.

Не рассматривая вопросов проектирования электрических станций, считая это делом специалиста-электрика, автор в пятой главе рассматривает лишь общие вопросы устройства и организации эксплуатации электрических станций и подстанций.

В главе шестой — «Защита от вредных проявлений электрической энергии» — рассматривается чрезвычайно важный вопрос об обеспечении защиты строительных сооружений и оборудования от грозовых разрядов.

Таким образом содержание книги составляет изложение первоначальных основных сведений по производству, передаче и использованию электрической энергии в военно-инженерном и строительном деле. При этом особенное внимание обращается на выбор и технико-экономическое обоснование тех способов и приемов, которые наилучшим образом соответствуют различным конкретным условиям.

Изложено учебное пособие методически правильно и продуманно. В начале каждой главы имеется параграф «Общие сведения», в котором даются теоретические основы вопроса, рассматриваемого в данной главе, а в начале главы «Электрическое освещение» изложен даже краткий курс светотехники. Материал изложен с предельной простотой и четкостью, однако таким образом, что популярность изложения не идет в ущерб глубине и строгости изложения.

Обилие технических примеров и схем делает это учебное пособие особенно полезным при учебном курсовом и дипломном проектировании.

Наряду с указанными достоинствами книги следует отметить, что объем ее мог быть значительно сокращен, если бы автор не повторял изложение многих технических вопросов, которые с большой подробностью освещены в общих курсах электротехники.

Совершенно недостаточно освещены вопросы электрификации уже готовых инженерных сооружений. Также недостаточно приведено сведений по применению автоматики в управлении рабочими процессами. Так, за исключением двух типов электромагнитных реле — токового реле и реле времени — устройство релейных защитных систем и их применение в военно-инженерном деле не освещены. Не рассмотрен вопрос о трансформаторах с точки зрения специфики применения их в подвижных и временных станциях и подстанциях.

В основном же автор свою задачу создания учебного пособия по курсу военно-прикладной электротехники для слушателей военно-инженерной академии им. Куйбышева разрешил вполне успешно. Большая работа, затраченная на составление этого нового учебного пособия, приблизила ее по содержанию и изложению к тем требованиям, которые предъявляются к учебнику.

Книга эта является ценным пособием не только для слушателей академии, но и для военно-практических кадров.

Н. Гол.
Военная академия

НОВЫЕ КНИГИ

Айзенберг Б. Л. Улучшение коэффициента мощности промышленных предприятий помошь статических конденсаторов высокого напряжения. Конспект лекций, читанных в институте в 1939/40 уч. году по циклу «Экономия электроэнергии и рационализации электрохозяйства». Л., Ин-т усовершенствования по энергетике, автоматике и связи, 1940, 36 стр. со схем., беспл.

Акулов Н. С. Ферромагнетизм. М.—Л. Гостехиздат, 1939, 188 стр. с чертеж. и граф., цена 5 р. 25 к., перепл. 1 р. 50 к.

Алаторцев С. А., Максимов А. Е. и Покровский Г. И. Горная электротехника. Под ред. Ф. Н. Шклярского. Утв. ВКВШ при СНК СССР в качестве учебн. пособия для горных вузов. Л.—М. Гостоптехиздат, 1939, 544 стр. с иллюстр. и черт., цена 16 р. 25 к., перепл. 1 р. 75 к.

Бабат Г. И. и Лозинский М. Г. Поверхностное упрочнение стали обработкой токами высокой частоты. М., Наркомсредмаш СССР. Центр. дом техники, 1940, 48 стр. с иллюстр. и чертеж., цена 2 руб.

Батуриин Н. И. Эксплоатация загородных сетей низкого напряжения. Консультант А. Н. Соколов. М.—Л. Госэнергоиздат, 1940, 52 стр. с иллюстр. и черт., цена 1 р. 15 к.

Бердичевский Б. Е. Параллельная работа самолетных генераторов постоянного тока. М., 1940, 92 стр. с иллюстр., чертеж., граф. и схем. (Труды Центра Аэро-гидродинамики ин-та им. проф. Н. Е. Жуковского, вып. № 483), цена 4 р. 50 к.

Васильев И. В. Аварии и неполадки электрических машин и мероприятий по борьбе с ними. М.—Л. Госэнергоиздат, 1940, 44 стр. с чертеж. и схем., цена 85 коп.

Викулов Н. Ф. Расчет и устройство защитных заземлений и занулений в установках потребителей электрической энергии. Конспект лекций, читанных в институте в 1939/40 уч. году по циклу «Экономия электроэнергии и рациональное ведение электрохозяйства». Л., Ин-т усовершенствования по энергетике, автоматике и связи, 1940, 76 стр. с чертеж., беспл.

Вологдин В. Поверхностная индукционная зажигалка. Метод лаборатории им. В. П. Вологдина. Л.—М., Оборонгиз, 1940, 72 стр. с иллюстр. и чертеж. [Ленинградск. электротехнич. ин-т им. В. И. Ульянова (Ленина)], беспл.

Гаврилов Д. А. Передвижные электростанции. М., Госкиноиздат, 1940, 92 стр. с иллюстр. и чертеж., цена 2 р. 50 к.

Горшков П. Н. Основы техники кабелей сильного тока. Утверждено ВКВШ при СНК СССР в качестве учебника для электротехнических вузов. Л.—М., Госэнергоиздат, 1940, 303 стр. с иллюстр. и чертеж., цена 7 руб., перепл. 2 руб.

Геревич Л. Э. Электродинамика. Ч. 1. Микроскопическая электродинамика. Л., Ленинградск. гос. университет, 1940, 258 стр. с чертеж., цена 11 руб.

Золотарев Т. Л. Гидроэлектроцентраль в электротехнической системе (Энергетич. и техн.-эконом. расчеты). Под ред. В. Вейц. М.—Л. Изд-во Академии наук СССР, 1939, 200 стр., с чертеж. и граф. (Энергетический ин-т им. акад. Г. М. Кржижановского), цена 17 р. 50 к.

Изучение молний, искрового разряда и защитного действия молниевыводов. (Сб. статей.

Ред. А. Д. Смирнов.) М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, с иллюстр. и чертеж. (Труды Всес. электротехн. ин-та Отраслев. бюро тех. информации Главэлектропрома цена 3 р. 25 к.

Исследования в области электрических измерений. (Сборник статей.) Под ред. Н. А. на. Л., Всес. научно-исслед. ин-т метрологии, 1939, с иллюстр. и чертежами. [Труды ВНИИМ, вып. 2 цена 4 р. 50 к.

Калантаров П. Л. и Нейман Л. Р. Теоретические основы электротехники. Утв. ВКВШ при СНК в качестве учебника для энергетич. и электротехнич. и физ-к. Ч. 1, П. Л. Калантаров «Теория переменных», Изд. 2, 412 стр. с чертеж., граф. и схем., цена 8 р. перепл. 1 р. 75 к.

Кондрашов А. А. и Матвеев М. И. Монтаж и пластика оборудования распределительных устройств. Консультант-редактор Н. П. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 43 стр. с граф. и схем., цена 1 руб.

Кунцевич Б. А., Разумов Б. А. и Ривлин Л. Б. Фабрико-заводские электросиловые установки ГУУЗ Наркомэлектро в качестве учебника для курсов мастеров соц. труда. Л.—М., Госэнергоиздат, 1940, 708 стр. с иллюстр., чертеж., граф. и схем., цена 15 руб., перепл. 2 руб.

Кутыловский М. П. и Сургучев В. Д. Электрическая тяга на городских железных дорогах. Испр. и дополн. М.—Л. Изд-во Наркомхоза РСФСР, 400 стр. с иллюстр. и чертеж., цена 8 р. 10 к. Менордные нормы и правила по энергетике. (Межведомственная электротехническая комиссия.) Под общ. ред. А. В. В. и М. А. Шателена. Л., Ком-т по участию СССР в народн. энергетич. объединениях. 1940.

Вып. XVIII. Электродвижение судов. (Пр. норм.) Пер. под ред. В. И. Полонского. 20 стр. Беспл.

Обмотки электрических машин. Сост. Еремеев, В. И. Зимин, М. Я. Каплан и др. Изд. 2, Утв. ГУУЗ Наркомэлектро в качестве учебника для мастеров соц. труда. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 80 стр. с иллюстр., чертеж., граф. и схем., цена 12 р. 75 к.

Стекольников И. С. Молния. М.—Л., изд-во Академии наук СССР, 1940, 328 стр. с иллюстр. и граф. (Энергетика им. Г. М. Кржижановского), цена 18 руб.

Тартаковский П. С. Внутренний фотоэфект в диэлектриках. М.—Л., Гостехиздат, 1940, 204 стр. с чертеж. и график., цена 7 руб.

Эксплоатация силовых трансформаторов. (Сост. Оргрэс) М.—Л., Госэнергоиздат, 1940, 160 стр. с иллюстр. и чертеж. (Нар. Ком. электростанций и зданий пром. СССР. Тех. совет. Типовые инструкции по эксплуатации энергетич. систем), цена 2 р. 20 к., перепл. 60 коп.

Электрические машины. Учебник для энергетич. техникумов. Сост. И. И. Брейль, Л. Н. Г. Б. Меркин и др. Под ред. Л. М. Пиотровского. Л.—Госэнергоиздат, 1939, 450 стр. с чертеж. и график., цена 7 р. перепл. 1 р. 50 к.

Электроматериаловедение. Общая ред. Тареева. (Сост. В. А. Баев, Н. Г. Дроздов, И. И. Ильин и др.) (Для мастеров соц. труда) М.—Л., Госиздат, 1940, 284 стр. с иллюстр., чертеж., график., цена 6 р. 60 к., перепл. 2 руб.

Электроматериаловедение. Сост. колл-работников Моск. энергетич. ин-та им. В. М. Морозова. Общ. ред. Е. Ф. Камаркова. Изд. 5, перераб. и дополн. минимум. М.—Л., Госэнергоиздат, 1939, 164 стр. с иллюстр., чертеж., график., цена 2 р. 75 к., перепл. 75 коп.

Новая система освещения ПВО. *Metro-Vickers Gasette*. № 322, февраль, 1940.

В годовом отчете фирмы Метро-Виккерс за 1939 г. много внимания уделено новому методу освещения, при котором не требуется выключать освещение во время воздушной тревоги. Эта система, получившая название «Ttaffoblak», состоит в замене обычных осветительных устройств натриевыми лампами в баллонах из окрашенного стекла и покрытием всего покрытия (окна, стеклянные двери и крыши) особым силикатным лаком, который хорошо пропускает дневной свет, но полностью поглощает желтый свет натриевых ламп.

В журнале описано применение этой системы для освещения автобусов и промышленных складов. Указывается, что удалось подобрать теплостойкий желтый лак для ламп накаливания, что позволяет применять последние наряду с натриевыми.

А. И. Фройман

Монтаж опытно-показательной подстанции ПВО в Англии. *Electrician* № 3232, *El. Review* № 3259, 1940.

Центральное электроуправление оборудовало недалеко от Лондона опытно-показательную трансформаторную подстанцию типа ПВО. Она представляет интерес как по способам хоружения, так и по типу оборудования. Работы при сооружении подстанции велись в условиях противовоздушной обороны за исключением ночного перерыва. Все комплектное оборудование подстанции было заказано и погружено в 7 h 30 min утра со склада резервного оборудования ПВО, который отстоит от площадки подстанции на расстоянии 12 km. На следующий день в 6 h 30 min вечера подстанция была готова к пуску. Монтажные работы продолжались 19 h. Тельные элементы подстанции были заранее размещены, что упростило сборку.

При проектировке подстанции была учтена особенность района — темнота и необходимость экономии места при размещении отдельных агрегатов подстанции.

От воздушной высоковольтной линии 33 kV проведено отключение к временной деревянной опоре. Оттуда провода идут к бушингам понижающего трансформатора 20 MVA и 33/6,6 k. Трансформатор принадлежит к мощным типам ПВО и имеет минимальные габариты для удобства перевозки железной дороге и на грузовиках. Это достигнуто отказом от больших отдельных масляных охладителей. Двойные вентиляторы, масляные насосы для принудительной циркуляции трансформатор в 30 kVA и 400/230 V для собственных нужд подстанции размещены на основном трансформаторе. Работа по присоединению кабелей производилась одновременно с работой по установке остальных элементов подстанции. Для холодной спайки кабельных концов была взята машина д-ра Dunshlath, которая сокращает эту операцию до 10 часов.

М. М. Финкель-Моисеев

Электрификация США в 1939 г. По материалам *Electrical World*, 1940; от 13/1; *Combustion*, янв. 1940; *Elektrizitätswirtschaft* № 10, 1940.

Электрификация США в 1939 г. развивалась в основном под знаком военного фактора, «затушевавшего» влияние на производство экономического кризиса¹. Официальный фактор, в частности, обусловил подъем кривой потребления электроэнергии после значительного снижения ее в 1938 г. (табл. 1).

В результате сильной засухи гидростанции произвели на 10% kWh меньше, чем в 1938 г.; поэтому покрытие всей нагрузки легло в основном на тепловые станции, и выработка которых возросла на 21,5% (рис. 1). К сожалению, по тепловым и гидравлическим станциям годовой прирост в 1939 г. составил 12%.

Среднегодовая мощность станций за истекший год возросла на 14 млн. kW и составила к началу 1940 г. 37,47 млн. kW (рис. 2).

1. Работу В. И. Вейц, Некоторые особенности новейшего состояния электроэнергетики в капиталистических странах. *Электричество* № 8, 1939.

Таблица 1

Производство электроэнергии на электростанциях общего пользования США (в млрд. kWh)

Годы	Всего	В том числе:	
		тепловые станции	гидростанции
1937	115,2	74,2	41,0
1938	109,7	68,8	40,9
1939	123,0	83,6	39,4

Таблица 2

Динамика роста установленной мощности электростанций общего пользования США (в млн. kW на конец года)

Годы	Всего	В том числе:	
		тепловые станции	гидростанции
1937	34,96	26,33	9,63
1938	36,33	26,67	9,66
1939	37,47	27,54	9,93

Подавляющая часть новой мощности (78% по тепловым станциям и такой же процент по гидростанциям), как и в предыдущие годы, введена в порядке расширения действующих установок.

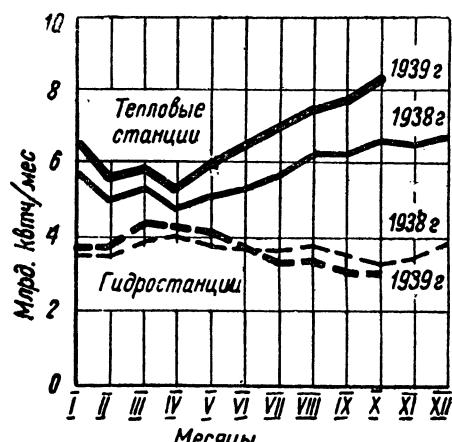


Рис. 1. Динамика месячной выработки электрической энергии на станциях общего пользования США

Млн. kW

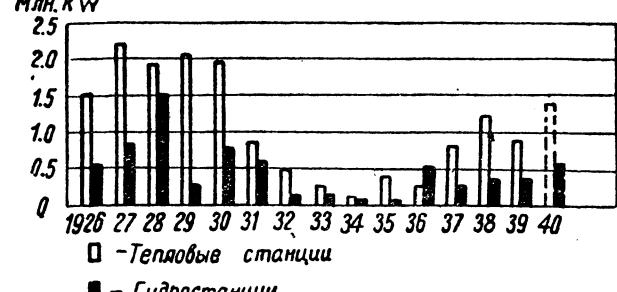


Рис. 2. Ввод новых мощностей на электрических станциях общего пользования США

Наиболее крупное расширение получила гидростанция Боулдер-Дам (165 MW), мощность которой в настоящее время доведена до 700 MW.

В 1940 г. намечается к вводу всего около 2 млн. kW, в том числе 1,4 млн. на тепловых станциях и 0,6 млн. kW на гидравлических. Отдельные электросистемы предполагают значительно увеличить мощность тепловых станций, так на-

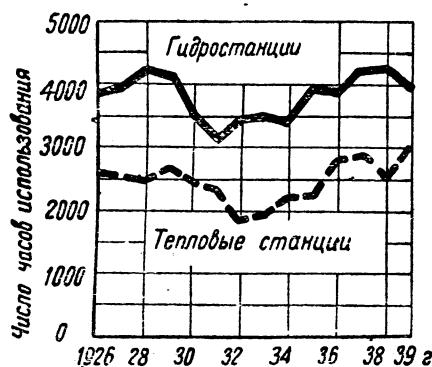


Рис. 3. Использование установленной мощности электрических станций общего пользования в США

пример, Коммюнэльс Эдисоновская компания рассчитывает ввести 105 MW, Пасифик Гэл энд Электрик, Паблик Сэrvис оф Нью-Джерси — по 100 MW.

Наряду с ростом генерирующей мощности в 1939 г. отмечалось дальнейшее развитие сетевого хозяйства. Протяженность новых линий электропередачи составляла:

В 1936 г.	2 940	км
• 1937	8 200	
• 1938	8 240	
• 1939	8 600	
• 1940 (план)	10 580	

Общая длина сетей напряжением от 30 kV и выше возросла от 192 000 km в 1929 г. до 234 000 km в 1938 г.

В течение последних лет особенно значительно расширены распределительные сети в сельских местностях. За период с 1935 по 1939 г. только за счет финансирования администрации по сельской электрификации (REA) было построено 290 000 km сельских сетей, охвативших 400 000 абонентов.

В связи с военными задачами в истекшем году был выдвинут вопрос о создании высоковольтного костяка в наиболее важных промышленных районах страны (в северо-восточных и северо-центральных штатах).

Капиталовложения в электро строительство (централизованный сектор, не включая правительственные объекты) в 1939 г. составили 430 млн. долл. против 482 млн. долл. в предыдущем году.

В текущем (1940) году предполагается вложить в строительство 600 млн. долл., повысив, главным образом, долю вложений в тепловые станции (табл. 3). Однако, уровень капиталовложений остается все же значительно ниже 1930 г.

Таблица 3

Капиталовложения в электро строительство США
(в млн. долл.)

	1930	1937	1938	1939	1940 (план)
Тепловые станции	176,5	94,9	133,0	101,5	231,3
Гидростанции	117,6	13,0	17,6	17,9	14,8
Линии передачи	139,5	80,0	86,0	45,5	67,5
Подстанции	123,5	40,7	46,4	31,8	39,3
Распределительные сети	258,7	203,2	215,0	210,5	220,5
Разные	103,6	34,0	34,0	22,8	31,6
Всего	919,4	455,5	482,0	430,0	605,0

Военный фактор наложил свой отпечаток и на структуру расходной части электробаланса США (табл. 4).

В связи с ростом военных отраслей потребление электроэнергии в промышленности увеличилось на 19% против 1938 г., между тем как бытовое потребление, которое даже в кризисный 1937 г. дало годовой прирост в 10%, в 1939 г. повысилось лишь на 7%.

Потребление электроэнергии по отраслям на хозяйства США

(Централизованное электроснабжение)

Отрасли	1937 млрд. kWh	1938 млрд. kWh	1939 млрд. kWh
Промышленность			
Торговые предприятия и мелко-моторная нагрузка	53,5	44,9	53,
Коммунальное хозяйство (освещение улиц и пр.)	17,6	18,3	19,9
Быт	3,4	4,3	4,8
Сельское хозяйство	16,9	18,5	19,8
Электрифициров. ж. д.	2,4	2,5	3,3
Пригородные ж. д. и трамвай	1,3	1,4	1,9
Всего	99,5	93,9	107,0

Развитие сетей и рост охвата электроснабжением сел и местностей обусловили значительное повышение спроса на электроэнергию со стороны этой категории потребителей (годовой прирост 32%). Однако доля последней в суммарном балансе невысока (3,1%).

Средний коэффициент использования мощности по сектору общего пользования возрос от 3065 h в 1938 г. до 3200 h в 1939 г. Улучшение этого показателя шло только за счет тепловых станций (3040 h в 1939 г. против 2940 h в 1938 г.). По гидростанциям, в силу отмеченных причин, коэффициент использования понизился от 4000 h в 1938 г. до 3940 h (рис. 3).

Произведенная в последние годы значительная реконструкция электростанций на базе высоких параметров пароводяных установок сыграла существенную роль в дальнейшем снижении удельного расхода топлива, доведенного в 1939 г. до 0,621 kg/kWh против 0,639 kg/kWh в 1938 г. и 0,648 kg/kWh в 1937 г.

В. И. Мих

G. Bertling. Водные силы Швеции и их использование

Wasserkraft & Wasserwirtschaft, 15 марта 1940.

Территория Швеции на 8,5% занята поверхностью рек, площадь которых составляет 37 900 km². Потенциал водных сил, по произведенным подсчетам, составляет 42 625 000 MWh в год, из которых 76,6% находятся в верной Швеции. Промышленные водные энергетические сурсы страны оцениваются в 32 500 000 MWh в год, что составляет 76% от всех потенциальных водных сил. 5000 h годового использования вся промышленная мощность водных ресурсов Швеции составляет 6500 MW, занята в Западной Европе третье место после водных сил Норвегии (12 100 MW) и Франции (7900 MW). За последние годы общее годовое электропотребление Швеции составляет 4000 MWh, из которых промышленное электропотребление составляет около 80%, коммунальное — около 13% и транспортное — около 7%. Мощность электрификации в Швеции составляет около 1500 MW при среднем извлечении 4250 h в год, из которых 1200 MW — мощность гидроэлектростанций. В электробалансе Швеции главную роль играет гидроэнергия. Наиболее низкой себестоимостью характеризуется гидроэнергия, вырабатываемая мощными государственными гидроэнергетическими комплексами, преимущественно тяжелую промышленность. Стоимость установленного kW в зависимости от мощности для 651 гидроэнергетической установки в Швеции и составляет 65% суммарной мощности гидроэнергетики страны, характеризуется следующими средними цифрами: ниже 50 л. с. — 969 kron/kW, от 1000 л. с. до 5000 л. с. — 576 kron/kW, выше 10 000 л. с. — 379 kron/kW.

Средняя стоимость установленного kW для обследованных гидроэнергетических установок составляет 475 kron/kW. Тепловые электростанции в Швеции используются только в тех сравнительно редких случаях, когда река не допускает достаточного регулирования выработки энергии сооруженными на ней гидростанциями.

Н. А. Карапетян

Единственным источником электрификации Марокко вследствие отсутствия угля являются водно-энергетические ресурсы. Строительство гэс во французском Марокко начало развиваться в 1924 г., когда было приступлено к промышленной добыче полезных ископаемых (молибден, фосфориты, вольфрам, железо) и начата электрификация железных дорог. Это время годовое электроснабжение возросло с 11 000 MWh в 1925 г. до 128 000 MWh в 1938 г., при 78% доли гидроэнергии в электробалансе.

Основные показатели наиболее мощных гэс следующие:

Название гэс	Год пуска гэс	Напор, м	Число и мощность гидрогенераторов MVA	Мощность гэс, MW	Выработка электроэнергии в 1938 г.
Сиди-Машу . . .	1929	19	4 × 5,2	20,8	45,411
Мисба-Зидания	1936	37	2 × 4,45	7,0	37,621
Ф (нижняя) . .	1934	52	2 × 1,18	2,0	10,941

Кроме того, имеется 4 малых гэс с суммарной выработкой энергии 14 000 MWh. Для всех гэс напряжение генераторов жестко равным 5,5 kV и частота 50 Hz. Гэс Фэ полностью автоматизирована. Объединение гэс в систему осуществляется при напряжении 60 kV. Вследствие крайней неравномерности режима большинства рек, стекающих с гор Атласа, все эти гэс, не располагающие достаточным регулированием, имеют резервные дизель-электрические установки. Кроме того, Риш-Нуар сооружена тепловая электростанция мощностью 3 MVA, выполняющая функции резерва системы. Схемы гэс Марокко предусматривают одновременное разрешение задач энергетики и ирригации, которая здесь широко развита.

Н. А. Карапулов

I. Housley. Защита гидрогенераторов от конденсации влаги. *El. World № 14, 1940.*

В течение длительных остановок части агрегатов гэс во время маловодных сезонов года, обмотки гидрогенераторов могут быть легко повреждены конденсирующейся влагой, и температура частей машины окажется ниже точки росы. Влага может быть поглощена изоляцией обмоток, что снижает ее диэлектрическую прочность и ускоряет процесс старения.

Кроме того, влага повреждает защитный слой лака, находящийся между листами железа, и вызывает появление влаги. При неблагоприятных условиях в конечном результате может возникнуть ослабление пакетов железа и значительное потери в железе генератора. Температурные расширения и сжатия, повторяющиеся в течение длительного периода времени, также сокращают срок службы изоляции. Это мероприятие заключается в искусственном регулировании температуры генератора. Это достигается, во-первых, охлаждением вентиляции генератора сразу же после его остановки. Кроме того, в ряде случаев необходимо применять малые электрические обогреватели, при вертикальных машинах, устанавливаемые в турбинном колодце, непосредственно под генератором.

На гэс Сэнтилла (США), оборудованной двумя вертикальными генераторами по 25 MVA при 450 об/мин, средняяальная температура окружающего воздуха зимой составляет 0°. С целью повысить температуру генератора во время остановки до 20° потребовалось установить для машины 24 обогревателя мощностью 500 W каждый. Кэлдервуд (США) такими же нагревателями оборудован вертикальный гидрогенератор мощностью каждый 1000 кВт. В этом случае оказалось существенным, что генератора до каждого его пуска предотвращает возможные повторные механические напряжения в охлажденное изоляции обмотки статора.

о нагреве гидрогенераторов в периоды их остановки важна для ряда гэс СССР, расположенных в умеренного и влажного климата.

Н. А. Карапулов

Новая передвижная электростанция Nunn & Co, Manchester спроектирована на тележке на резиновом ходу, которая может быть прицеплена к любому автомобилю. Назначение передвижной электростанции — обслуживание ремонтных восстановительныхочных работ и эксплуатация в пожарных командах.

Общий вид электростанции представлен на рис. 1. Электростанция состоит из генератора трехфазного переменного тока нормальной частоты мощностью 22,5 кВт при напряжении 400 V. Привод генератора осуществляется от восьмицилиндрового двигателя внутреннего сгорания, работающего

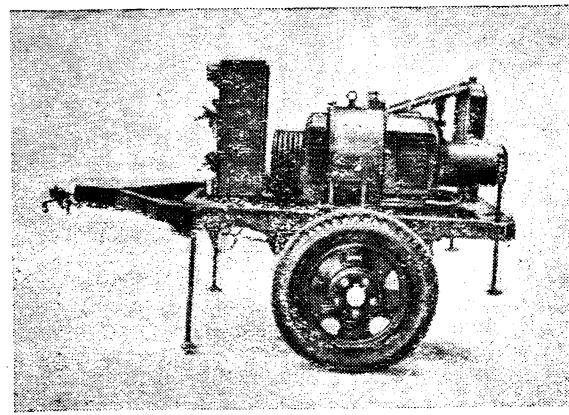


Рис. 1. Передвижная дизель-генераторная установка

на керосине или газе. Радиатор водяного охлаждения двигателя снабжен термостатическим контролем. На этой же тележке расположен распределительный щит со включающей аппаратурой и измерительными приборами. Габарит тележки: длина — 2,44 м, ширина — 1,68 м.

Наряду с описываемым агрегатом для ремонтных работ используется внимание портативный дизель-генераторный агрегат, выпускаемый фирмой Motor Boat Mag. Co. Агрегат Pioneer изготавливается мощностью от 100 до 5000 W. Портативная дизель-генераторная установка снабжена рукоятками для переноски.

Вес портативного агрегата мощностью 200 W составляет всего 21 kg.

Ю. М. Галонен

E. Hug. Генерирование электрической энергии мускульной силой. *Bull. assoc. Suisse des Electriciens № 1, 1940.*

Национальная Швейцарская выставка 1939 г. в г. Цюрихе экспонировала установку, демонстрировавшую превращение мускульной силы человека в электрическую энергию. Стенд, с одной стороны, в занимательной форме знакомил посетителей с возможностями превращения силы человека в другие виды энергии и, с другой стороны, дал возможность обследовать широкие массы посетителей и собрать ценные данные о пределах физической энергии человека. Последнее имеет практическое значение вследствие того, что мускульная сила человека применяется для генерирования энергии в ряде случаев — в военных, радиотелеграфных и сигнализаци-

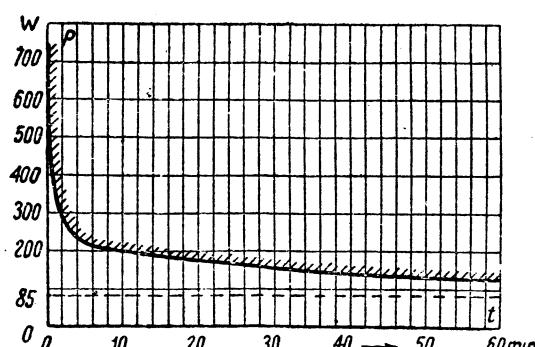


Рис. 1. Кривая физической мощности человека

ционных установках, для вентиляции казематов и противогазовых убежищ, в практике освоения полярных районов, на высокогорных ледниковых станциях различного назначения и т. д. Привод к электрическим генераторам на выставке осуществлялся путем применения колеса с лестничными ступенями, велосипедной установки и ручного привода. Вырабатываемая электроэнергия поглощалась электрическими лампами, превращалась в тепловую или механическую энергию. Для демонстрации электрической работы груз в 3670 kg мог быть поднят на высоту до 1 m, что отвечает работе 10 Wh. Приборы и аппараты установки были проектированы на основе теоретических расчетов и размещены на трех панелях специального щита. Рис. 1 приводит предельную кривую в функции времени физической мощности, показанной в среднем посетителям выставки. Кривая асимптотически приближается к значению длительной мощности — около 83 W ($1/2$ л. с.). Перегрузка может превысить длительную физическую мощность человека в 5—10 раз. Предельная физическая работа человека составляет 0,6—0,7 kWh в течение дня.

Н. А. Караулов

F. Guilot. Пассажирский электровоз для Бразильской железной дороги, *Paulista Railway. GER, стр. 151—157, № 4, 1940.*

Электрификация линии Paulista Railway началась в 1921 г. В настоящее время находится в эксплуатации 287 km электрифицированного пути, обслуживаемого 49 электровозами. В 1939 г. фирма GEC изготовила по заказу этой дороги 4 пассажирских электровоза новейшего образца. Новые электровозы обтекаемой формы с формулой осей 2—С + С—2.

Общий вес электровоза — 165 t при сцепном весе 122 t. Таким образом вес, приходящийся на каждую ведущую ось, составляет 20,4 t. Диаметр ведущих колес электровоза 1165 mm, а бегунковых 910 mm. Общая длина электровоза — 22,8 m, ширина 3,22 m. Кузов электровоза цельнометаллической сварной конструкции (самый большой не соченленный сварной кузов, построенный до настоящего времени в США).

Максимальная конструктивная скорость электровоза — 145 km/h. Часовое тяговое усилие 15 600 kg при часовой скорости 79 km/h.

Электровоз предназначен для питания от сети постоянного тока напряжением 3000 V. На электровозе установлено 6 тяговых двигателей типа GE-729 часовой мощностью 498 kW при 3050 об/мин на 1500 V каждый.

На новом электровозе предусматривается пневматическое и рекуперативное торможение. В реферируемой статье приводится подробное описание схемы управления электровоза.

Новые электровозы предназначаются для эксплуатации на электрифицированном участке с гористым профилем Jindiah—Rincao, максимальный подъем которого достигает 18,5%.

Ю. М. Галонен

G. Bührle. Троллейбусы в Гера. *Verkehrstechnik, стр. 33—37, Heft 3, 1940.*

В 1934 г. в г. Гера (Германия) были приняты в эксплуатацию дизель-автобусы. Тяжелый профиль с подъемами, достигающими 80%, оказывал сильное влияние на рентабельность эксплуатации, в связи с чем было принято решение о переходе на троллейбусное сообщение. В ноябре 1939 г. в г. Гера была принята в эксплуатацию первая троллейбусная линия. Курсирующие на этой линии 2 троллейбуса, как и все германские троллейбусы, оборудованы серийными двухколлекторными двигателями. Мощность двигателя составляет 85 kW. Управление двигателем осуществляется с помощью многоступенчатого контроллера с ползунковым контактом.

Новые троллейбусы замечательны тем, что оборудованы однотягловым токоприемником¹.

Основным достоинством одноштангового токоприемника является упрощение конфигурации контактной сети и повышение маневроподвижности троллейбуса. Одноштанговый токоприемник троллейбусов в г. Гера работает на сменных угольных вставках. Для направления токоприемника на загруглениях служат направляющие ролики из изоляционного

¹ Первые опыты с применением одноштангового токоприемника на двухполюсной контактной сети в Германии относятся к 1907 г. Эксперименты с одноштанговым токоприемником для современных троллейбусов начались в Германии в 1936 г.

материала, вращающиеся на шарикоподшипниках. Крого, головка токоприемника для направления на вострелках снабжена направляющей шпорой. Давление приемника на одну контактную поверхность составляет 7 kg. Срок службы угольных вставок определяется примерно 2000 km.

Первый месяц эксплуатации троллейбусов показал, что энергия составляет 1,6 kWh троллейбусо-километровые в эксплуатационных условиях пик тока не превышали 200 A на троллейбус.

Конструкция контактной сети, в связи с применением штангового токоприемника, позволяет значительно уменьшить расстояние между контактными проводами до 180—200 mm. Интересными являются мероприятия, предприняты для предупреждения образования гололеда. Перед началом плацаций ежедневно оба провода контактной сети, соединенные противоположной подстанции замыкаются накоротко, что дает эффективные результаты в борьбе с гололедом.

Ю. М. Галонен

J. H. Cansdale и др. Аккумуляторные электромобили в Англии. *El. Rev., стр. 177—183, 317, № 3247 и 3251, 1940.*

За последнее время электромобиль находит в Англии широкое применение. Особенно сильный рост электромобилей ощущается со времени начала войны 1940 г., когда становится недостаток жидкого горючего. В 1939 г. количество находящихся в эксплуатации электромобилей в Англии составило 4750 шт.

Наибольшее распространение в Англии электромобили находят для обслуживания торговой сети. Аккумуляторные электромобили применяются для доставки молока, мяса, яиц и других продуктов, а также для вывозки мусора.

Полугрузовые электромобили строятся для полезного грузоподъемностью от 250 до 1500 kg, однако имеются также специальные грузоподъемностью на 2 и даже 5 t. Наиболее распространенным типом в Англии является аккумуляторный электромобиль грузоподъемностью 600—750 kg, оборудованный аккумуляторной батареей емкостью 129—290 Ah.

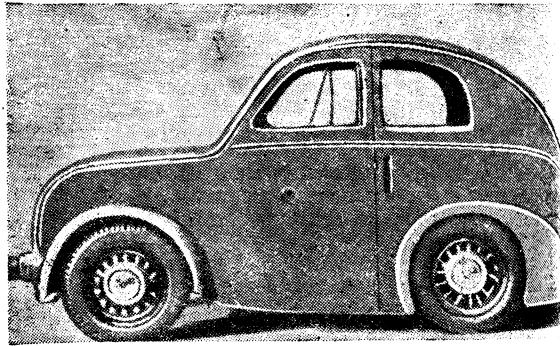


Рис. 1. Миниатюрный легковой электромобиль фирмы Cleco Electric Industries

Обычно напряжение аккумуляторной батареи составляет 24 V. Электромобиль оборудуется исключительно специальными тяговыми батареями (стартерного типа), не чувствительными к тряске и допускающими разрядный ток большой мощности. В основном находят применение 2 типа батарей: синтетические и щелочные.

Средняя часовая мощность тягового двигателя, приводящего на электромобиле, составляет 7,5 л. с.

Максимальная скорость электромобиля достигает 48 km/h. Радиус действия на одну зарядку колеблется от 55 до 96 km.

Наряду с распространением полугрузовых электромобилей находят широкое применение и легковые электромобили. Рис. 1 представлен миниатюрный легковой электромобиль фирмы Cleco Electric Industries.

Кроме того, существуют также электромобили для личной эксплуатации, служащие для доставки небольших пассажирами.

Автор указывает на необходимость дальнейшего увеличения количества электромобилей, так как замена обывающей торговую сеть 100 000 грузовых автомобилей электромобилями даст годовую экономию около 320 000 (70 000 000 галлонов) жидкого горючего.

Ю. М. Галонен

M. Roger Gasquet. Электромобили во Франции. Bull. de Soc. Française des El., стр. 205—222, № 112, 1940.

Стремление к освобождению от импортного жидкого топлива вызвало необходимость для Франции интенсивного выскания заменителей жидкого горючего для городского транспорта. Остановившись на возможностях использования древесного и сжатого газов, автор считает однако основным заменителем жидкого горючего — электроэнергию, используемую путем широкого внедрения аккумуляторных электромобилей.

Анализируя возможность применения аккумуляторных электромобилей, автор приходит к выводу, что идея аккумуляторного электромобиля, в самом начале его развития, была предъявляемыми к нему чрезмерными требованиями в отношении скорости и длины пробега.

Автор полагает, что аккумуляторные электромобили полностью удовлетворяют условиям внутригородских перевозок, частности особо пригодны для обслуживания торговой сети.

Число аккумуляторных автомобилей Франции автор оценивает примерно в 900 шт., указывая при этом на значительное развитие Франции по производству этого вида транспорта, так как в Германии число аккумуляторных электромобилей достигает 9000, а в Америке составляет порядка 15—20 тыс. шт. В США имеются отдельные предприятия, насчитывающие 2000 шт. собственных электромобилей.

Распространение аккумуляторных электромобилей во Франции началось около 10 лет назад. Вначале промышленность ориентировалась на более мощные грузовые электромобили грузоподъемностью до 3 т, а затем перешла на электромобили грузоподъемностью, не превышающей 1,2—2,5 т. Аварии с этим за последнее время нашли широкое распространение электромобили грузоподъемностью менее 1 т. Автор приходит к выводу, что применение электромобиля в условиях городского движения наиболее эффективно (при небольшом суточном пробеге) при наличии необходимости в частых остановках и небольшой скорости движения.

Статья относится к началу 1940 г.

Ю. М. Галонен

Härt. Результаты эксплуатации аккумуляторных электромобилей. Bull. Assoc. Suisse des Electriciens, стр. 214, № 9, 40.

Аккумуляторные тележки для перевозки багажа уже много лет применяются на вокзалах Швейцарских железных дорог. Эти тележки отлично зарекомендовали себя в эксплуатации, причем стоимость содержания каждой тележки за последние годы составляет около 6800 франков в год, из которых 57% (3900 фр.) составляет зарплата водителей, 15% (1690 фр.) — ремонт, 68% (460 фр.) — энергия и 12% — всевозможные отчисления. Содержание каждой из шести аккумуляторных тележек Бернского вокзала для доставки багажа на дом обходится по 11 000 франков в год, причем из этой суммы 6600 франков (60%) составляет зарплата шоfera, 18% (2100 фр.) — ремонт, около 2% (200 фр.) — шины, 5% (550 фр.) — электроэнергия и 15% — всевозможные отчисления. Незначительная стоимость электроэнергии объясняется использованием дешевого ночного тарифа — 1 сантима за kWh летом и 6 сантимов зимой.

В. А. Соловьев

H. Аргемо. Электромагнитные муфты для судов. ASEA—Mital, стр. 34—37, № 3, 1940.

Новая электромагнитная муфта предназначается для передачи крутящего момента от двигателей дизеля к гребному винту судов.

Основными преимуществами электромагнитной муфты по сравнению с другими видами механического соединения являются: полная надежность конструкции; отсутствие жесткого соединения обеспечивает возможность поворота гребного винта при ремонтах независимо от вала дизеля. Ограничение максимального момента, передаваемого электромагнитной муфтой, значением 170—250% к номинальному предохраняет гребной винт от поломок при заклиниваниях. Вибрации не передаются гребному винту, чем достигается более плавный ход судна. Применение электромагнитной муфты позволяет передавать крутящий момент двух или нескольких валов на один гребной винт через посредство редуктора. Применение электромагнитной муфты обеспечивает абсолютную плавность пуска и повышает маневренность судна. Электромагнитная муфта состоит из двух частей: из внешней муфты, представляющей собой стальной замкнутый пояс (остов) с вделанной в него беличьей клеткой.

Остов муфты жестко соединяется с приводным двигателем и покоится на подшипниковых опорах. Внутри кольца располагается часть муфты, соединенная с приводным валом, т. е. с редуктором гребного винта. Ротор снабжен электромагнитными полюсами, подобно ротору синхронных машин.

Обмотка ротора возбуждается постоянным током через контактные кольца. Пуск дизеля осуществляется обычно вхлостью с последующим постепенным возбуждением муфты.

К. п. д. всей трансмиссионной установки, включая редуктор, составляет 95—96%, что обуславливается высоким к. п. д. электромагнитной муфты, достигающим 97—98%.

Электромагнитная муфта, смонтированная на испытательном стенде, представлена на рис. 1. Зубцы на периферии остова муфты служат для проворачивания дизеля.

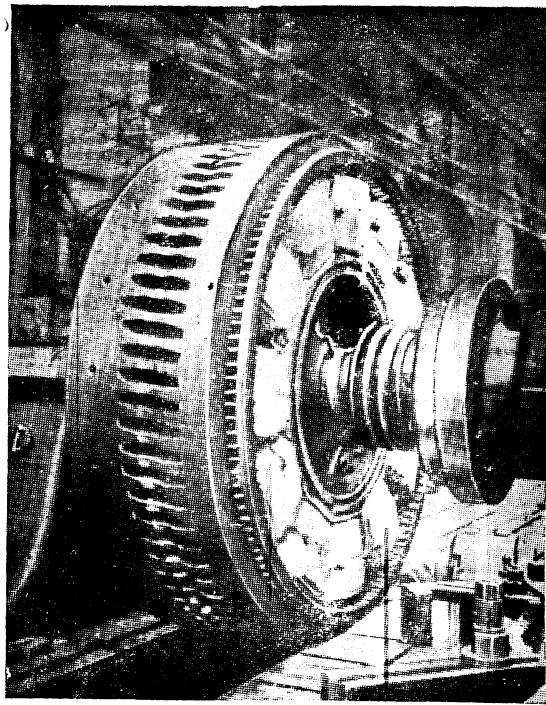


Рис. 1. Электромагнитная муфта для судового привода

Примером применения электромагнитных муфт может служить шведский теплоход Formosa водоизмещением 9400 т. На этом теплоходе был установлен ранее двигатель Дизеля 3100 л. с. Использование электромагнитных муфт дало возможность переоборудовать теплоход на 4 дизеля по 1280 л. с., 300 об/мин каждый, работающих через редуктор на один гребной винт. В результате получилось значительное повышение скорости судна с 11,5 до 14 узлов в час.

До настоящего времени электромагнитными муфтами ASEA оборудовано 16 судов, на которых установлено 63 электромагнитных муфты, передающих суммарную мощность в 83 340 л. с.

Самая большая построенная до настоящего времени ASEA электромагнитная муфта — это муфта типа S-206, служащая для передачи мощности в 3600 л. с. при 215 об/мин.

Ю. М. Галонен

A. C. Hordy. Электрификация флота. The Electrician, стр. 141, № 3221, 1940.

До недавнего времени электричество на кораблях служило только для вспомогательных целей.

Но несколько лет назад в США электричество использовали для вращения корабельных гребных винтов, главным образом на специальных судах. Наконец, одна из фирм построила корабли с электродвигателями, приводящими в движение винты океанских танкеров, применив вначале дизель-электропривод, а затем и турбоэлектропривод. В конце прошлого года другая фирма выпустила три корабля, причем один из них был оборудован турбогенератором в 5000 л. с. на одном валу, позволяющем судну развивать скорость в 24 км/ч при нагрузке его нефтью в 156 000 барелей (250 000 гектолитров). Перелив нефти из судна происходит при применении электронасосов и требует 11 л.

В Германии за последние два года технике электропривода судов уделяют большое внимание, используя турбоэлектропередачу с котлами La Mont. Интересна в этом отношении электроустановка на пароходе «Heloland», построенном для обслуживания линии Гамбург—Америка. На нем установлены два 1650/1750 kW, 3500 V турбогенератора с трехфазной передачей энергии к двум 2000 л. с. 6000 об/мин вертикальным, синхронным двигателям, приводящим в движение гребной винт через редуктор (6:1). Генератор используется также для питания осветительных и нагревательных цепей через два 250 kVA, 380/220 V трансформатора. Турбина получает пар от двух котлов La Mont; расход пара при наиболее экономичной нагрузке составляет 4,5 kg/kWh. Ток от генератора подводится к винтовым электродвигателям нереверсивного типа. Поскольку винты работают всегда в одном направлении при постоянной скорости, скорость и направление движения судна изменяются поворотом лопастей.

М. Д. Трейвас

S. Withington. Тенденции в развитии движущей силы на железнодорожном транспорте. *El. Eng.*, стр. 141—148, № 4, 1940.

Одной из важных проблем железнодорожного транспорта в настоящее время является увеличение скорости поездов. Это требует увеличения мощности и уточнения конструкции различных видов движущей силы: паровозов, дизель-локомотивов и электровозов, обслуживающих пассажирское и товарное магистральное, а также товарное местное и маневровое движение. Сравнение упомянутых видов локомотивов, обладающих различными характеристиками, вообще достаточно затруднено; но взятое по отношению их веса на единицу мощности сравнение показывает, что вес стандартного паровоза с тендером составляет 85—100 кг/л. с.; дизель-локомотива 67—72,5 кг/л. с., а электровоза 45—55 кг/л. с. Соотношение их стоимостей, если взять стоимость паровоза за 100%, составляет для электровоза 250% и для дизель-локомотива — 330%. Однако, приняв во внимание допускаемые этими локомотивами кратковременные перегрузки, можно эти цифры изменить в сторону их уменьшения; так, для 90% перегрузочной способности электровоза относительная стоимость его падает до 130%, а вес до 25—30 кг/л. с.

Рассматривая различные типы локомотивов, приходится констатировать, что паровоз, несмотря на ряд крупных усовершенствований в его конструкции, все еще имеет термический к. п. д. равный 7—8%, и что одним из достижений является увеличение длины пробега между осмотрами со 160 до 800—1200 км. Поэтому применение дизель-локомотива, обладающего термическим к. п. д., равным 25—30%, находит все большее применение на железнодорожном транспорте, особенно в легковесных высокоскоростных поездах. Машины эти строятся от 4 до 12—16-цилиндровыми, вертикальными или V-образными, мощностью 750—1200 и даже 2000 л. с. с электрической, механической и гидравлической передачей.

В области электрической движущей силы также имеется тенденция к концентрации мощности в одной единице и к увеличению скорости электровозов. Широкое развитие последних стало возможным благодаря улучшениям в конструировании тяговых двигателей и других механических и электрических деталей.

За границей и в частности в США имеется определенная тенденция к отказу от шатунно-рычажной передачи и переходу на индивидуальную передачу через зубчатки, при этом применяют как простую жесткую, так и эластичную передачи.

Что касается тяговых двигателей, то за последние 10 лет отмечается улучшение в их проектировании, в особенности однофазных двигателей. Улучшение коснулось щеткодержателей, увеличения числа полюсов, конструкции коллектора, допускающего большие окружные скорости, изоляции, увеличения к. п. д. вентиляции и т. п.

Однофазные двигатели допускают теперь повышенные напряжения при больших скоростях. Регулирование напряжения на однофазных электровозах производится посредством переключения отпаек как вторичной, так и первичной обмоток силового трансформатора.

В Европе широко применено электрическое торможение, причем для осуществления рекуперативного торможения как электровозы постоянного тока, так и электровозы однофазного требуют незначительного добавочного оборудования.

Интересные работы проведены по использованию однофазного тока при частоте 50 Hz для электрических железнодорожных дорог.

Построенный в 1932 г. в Венгрии фазопреобразователем электровоз на 50 Hz успешно работает и в настоящее время. Тяговый двигатель электровоза, питаемый от фазопреобразователя, приводит электровоз в движение посредством шатунной передачи. На недавно построенных электрических станциях фазопреобразователя имеет две главные обмотки однофазную, подсоединенную к линии, и многофазную к тяговым двигателям.

Германские железные дороги, проводя подобные же экспериментальные работы с однофазным током 50 Hz при 20 кВ, испытывают несколько типов электровозов: с фазопреобразователями и трехфазными двигателями, ртутными выпрямителями и стандартными серийными двигателями и однотипными серийными коллекторными двигателями 50 Hz. В эксплуатации построен ряд мощных электровозов: час мощностью 12 000 л. с. с 16 тяговыми двигателями Си. Готтардской линии; 3600 л. с. (длительной мощности с 6 парами сдвоенных двигателей для дороги Нью-Гардена). Эти примеры еще раз подтверждают тенденцию к концентрации мощности в одной движущей единице.

М. Д. Тре

Развитие британской техники в области ртутных выпрямителей. *BEAMA Journal*, стр. 96—99, № 34, 1940.

1939 г. является годом дальнейшего развития в области изготовления ртутных выпрямителей — металлических с водяным охлаждением (для высоких напряжений), металлических отпаянных (безнасосных) с воздушным охлаждением и стеклянных выпрямителей (для более низких напряжений).

В области отпаянных выпрямителей больших успехов достигла фирма British Thomson—Houston Co., Ltd., издавшая несколько таких выпрямителей по 1500 kW и 2000 kW при 630 V. Ею же изготавливаются 12—1500 kW 630 V 12-фазных выпрямителей с водяным охлаждением. Из выпрямителей с управляемыми сетками для регулирования напряжения и защиты фирма изготавлила два 1500-V выпрямителя для дороги Нового Уэльса, два 1500 и один 2500-kW, 3000-V для Южной Африки. Необходимо отметить, что эта же фирма выполнила заказ на 300-kW и девять 400-kW выпрямителей для напряжения 10 000—15 000 V. Эти выпрямители оборудованы также управлением для регулирования и защиты, которое осуществляется через быстродействующее реле.

Что касается стеклянных выпрямителей, то, помимо маломощных (3,6—15 kW) и низковольтных (60—100 V) выпрямителей, а также ряда выпрямителей средних номинальных (40—800 kW) и напряжений (200—500 V), для Зеландских железных дорог фирма изготавливает две новинки по 1800 kW, 1600 V; каждая из установок состоит из шести колб, работающих параллельно и питающихся одного шестифазного трансформатора. Подобный агрегат выдерживает следующие перегрузки: 50% — 1 h; 100% — 15 min; 160% — 5 min и 160% — мгновенно. Для поддержания наилучшей рабочей температуры колб скорость охлаждения их вентиляторов автоматически изменяется в зависимости от нагрузки.

Фирма GEC, являющаяся пионером в области постотпаянных, воздухоохлаждаемых металлических выпрямителей, продолжала в 1939 г. их усовершенствование. В результате выпущены выпрямители мощностью в 500 kW, 630 V; 1000 kW, 1500 V и 1500 kW при 3000 V с управляемыми сетками и без них.

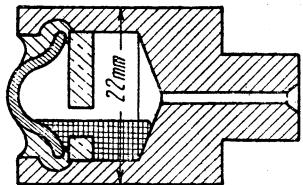
Ввиду большого интереса к подобным выпрямителям, заказ на эти выпрямители для промышленности определил суммарную мощность 20 000 kW и для транспорта 38 000 kW.

Наконец, фирма English Electric Co. выпустила стальные отпаянные выпрямители, но не со стеклянной, а с металлической колбой. Большое количество подобных выпрямителей было заказано адмиралтейством и министерством авиации, а также для трамвая, водонасосных станций, новых двигателей и т. п. Эти выпрямители представляют собой простую шестинодную колбу, смонтированную в изолированной раме; колбы могут быть оборудованы управляемыми сетками. Простоте колбы сильно содействует меняемое вакуумное уплотнение, при котором фарфоровый изолятор припаян непосредственно к металлу сосуда выпрямителя, что создает великолепный раковинный непроницаемый шов. За последние 5 лет подобные уплотнения с успехом применены фирмой на различных типах выпрямителей.

М. Д. Тре

Реферируемая статья посвящена исследованию влияния тока и давления газа, заполняющего камеру ртутного выключателя на дугу, возникающую при замыкании и размыкании тока.

Исследования производились на выключателях конструкции рис. 1 диаметром $7/8"$ (22 mm), а также на сходных по конструкции ртутных выключателях для бытовых приборов. Автор нашел, что время существования дуги также разрывная мощность сильно зависят от состава давления газа. Время существования дуги уменьшается, разрывная мощность растет вдоль ряда газов: аргон, азот, водород.



Феррико
Стекло
Керамическое кольцо
Ртуть

Рис. 1

Для водорода время существования дуги уменьшается, разрывная мощность растет с ростом давления. Приведенные в статье данные могут быть сведены в следующую таблицу:

Газ	Давление at	Максимальный разрываемый ток при постоянном напряжении 250 V	Время существования дуги при разрыве постоянного тока в 1 A sec
Аргон . . .	1	0,12	0,2
Водород . . .	1	1,4	0,014
Азот . . .	1	1,4	0,013
Водород . . .	1	100	0,0001
Водород . . .	30	500	0,00002

Нельзя отметить, что при заполнении пространства над водородом при давлении около 30 at миниатюрным выключателем можно было включать и выключать активную нагрузку в 40 kVA (при $\cos \varphi \approx 0,5$).

А. И. Фройман

Isler. Влияние высших гармонических в питающем токе на гармонические выпрямленного напряжения и первичного тока. *Arch. f. El., стр. 209, № 4, 1940.* Высшие гармоники в напряжении, питающем выпрямительную установку, влияют на режим установки двойным образом. С одной стороны, они изменяют амплитуду высших гармонических выпрямленного напряжения и первичного тока. При этом, каждая гармоника питающего напряжения влияет в основном только на те гармонические, порядок которых близок к ее собственному порядку. С другой стороны, высшие гармоники изменяют нагрузочную характеристику $U_g = f(I_g)$ установки. Новая характеристика зависит между двумя предельными характеристиками, плавными к исходной и отстоящими от нее на величину E_n , где n — порядок гармоники, а E_n — амплитуда

гармоники питающего напряжения.

Изолированно работающего шестифазного выпрямителя влияние обычно мало существенны. Для выпрямителя с большим числом фаз (12, 18 и т. д.) наличие гармоник в первичном напряжении сдвигает в различные характеристики отдельных шестифазных групп, что может быть разбит такую выпрямительную. Если генерации всех анодов выпрямителя одинаковый, то это приведет к неравномерной нагрузке отдельных групп. Если же токи отдельных групп будут подчинены постоянными посредством сеточного регулирования, отдельные группы будут отличаться по углу зачатия перекрытия анодов. Как в первом, так и во втором случае формы кривых напряжения и тока ухудшаются.

Я. М. Червоненкис

В настоящее время для всех новых бумагоделательных машин устанавливается исключительно многодвигательный привод. Однодвигательный привод применяется лишь при реконструкции бумагоделательной машины старого типа. При регулировании скорости отдельных секционных двигателей током возбуждения максимальные пределы регулирования соответствуют 1 : 6. При малой скорости, т. е. низком значении напряжения на якоре необходимо значительно большее ослабление потока, чем при высокой скорости для одного и того же процентного изменения скорости, вследствие чего двигатели при малой скорости работают с пониженным значением момента.

Двигатели с малым падением напряжения имеют значительно большие габариты и более высокую стоимость, чем нормальные. Поэтому целесообразно регулировку скорости отдельных двигателей производить напряжением на якоре, оставляя величину потока постоянной. Для этого последовательно с якорями двигателей включаются вольтодобавочные машины, мощность которых определяется номинальным током двигателей и падением напряжения в якоре. Если применяется согласно-встречное включение, то габариты их получаются весьма небольшие.

При такой системе двигатели работают на полном потоке и развивают значительный момент и при низком числе оборотов. Регулирование скорости осуществляется изменением тока возбуждения вольтодобавочной машины. Возможные пределы регулирования в этом случае достигают 1 : 20. Несколько вольтодобавочных машин может быть объединено в один агрегат с одним асинхронным двигателем. Для двигателей наката применяется регулирование скорости в зависимости от потребляемой силы тока, что дает постоянное натяжение бумажного полотна при возрастании диаметра рулона.

Для специальных сортов бумаги в основном используется цапфовый привод, однако в настоящее время он уже начинает находить применение для средних по качеству сортов бумаги и даже для газетной бумаги. Цапфовый привод работает бесшумно даже при весьма высоких скоростях.

Привод бумагоделательной машины может быть осуществлен и на переменном токе с шунтовыми коллекторными двигателями, однако пределы регулирования скорости должны быть не больше 1 : 3, так как при большем диапазоне значительно возрастает стоимость и габариты машины. Регулирование на всем диапазоне осуществляется с помощью регуляторов синхронного хода, воздействующих на передвижение щеток в двигателях, питаемых с ротора или на поворот потенциал-регулятора в двигателях, питаемых со статора. Поэтому регулятор синхронного хода устанавливается и на двигателе наката, где при постоянном токе его нет.

Для получения заправочной скорости устанавливается вспомогательный асинхронный двигатель с редуктором и муфтой, расцепляющейся при высоких скоростях. Привод на переменном токе вследствие больших размеров двигателей и большего их веса (в 2—3 раза) в цапфовом исполнении осуществлен быть не может.

Коэффициент полезного действия привода на переменном токе при диапазоне регулирования 1 : 3 получается на 5—10% выше, чем на постоянном токе. Однако повышенный к. п. д. обычно не компенсирует значительно большую стоимость электрооборудования (при диапазоне регулирования 1 : 3 на 30—50%) и те преимущества, которые получаются при установке двигателей постоянного тока. Поэтому можно считать, что и в будущем привод бумагоделательных машин в основном должен осуществляться на постоянном токе.

Ю. А. Сабинин

Jürgens. Новая установка для поверки счетчиков. *ETZ, стр. 161—163, № 8, 1940.*

Особенностью описываемой установки, в которой поверяемый и эталонный счетчики нагружаются одинаково, является отсутствие непосредственной механической связи между измерительной системой и приводом устройства для определения погрешностей (рис. 1), благодаря чему повышается точность установки. Управление приводом этого устройства осуществляется фотоэлектрическим путем.

Световой поток, идущий от источника света к фотоэлементу, регулярно прерывается дисков с отверстиями, расположенным на оси эталонного счетчика. Благодаря этому в цепи фотоэлемента возникает переменный ток, частота которого прямо пропорциональна числу оборотов эталонного счетчика. От этого тока работает синхронный двигатель, который приводит в действие устройство для определения погрешности.

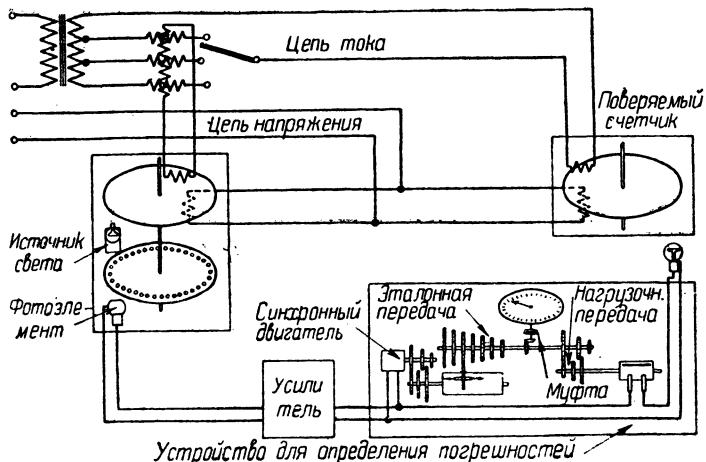


Рис. 1. Принципиальная схема для испытания счетчиков

стей. Последнее состоит из эталонной передачи, с помощью которой получается начальное число оборотов, соответствующее постоянной поверяемого счетчика, и из «нагрузочной» передачи, посредством которой получается число оборотов, равное уже числу оборотов поверяемого счетчика при той или иной нагрузке.

Передаточные числа подобраны так, что при достижении поверяемым счетчиком заданного числа оборотов замыкается контакт сигнального устройства. Установка позволяет быстро выяснить разность числа оборотов поверяемого и эталонного счетчиков и добиться минимально-возможной погрешности, последняя непосредственно определяется по шкале, которая имеется в устройстве для определения погрешностей и пригодна для поверки счетчиков с любой постоянной. С помощью описанного устройства можно производить поверку также трехфазных счетчиков, для чего требуются три однофазных эталонных счетчика.

Н. А. Шостын

Hermann. Пьезоэлектрические измерительные приборы. AEG-Mittel. 497, № 12, 1939.

Приборы для снятия индикаторных диаграмм в двигателях внутреннего сгорания должны удовлетворять целому ряду условий: иметь высокую частоту собственных колебаний, быть нечувствительными к сотрясениям, обладать стабильной во времени постоянной, иметь малые размеры, регистрировать импульсы давления.

Перечисленным требованиям отвечают пьезокварцевые измерители давления, состоящие из пьезокварцевого датчика, усилителя постоянного тока и катодного осциллографа.

Основные характеристические черты пьезокварцевых датчиков:

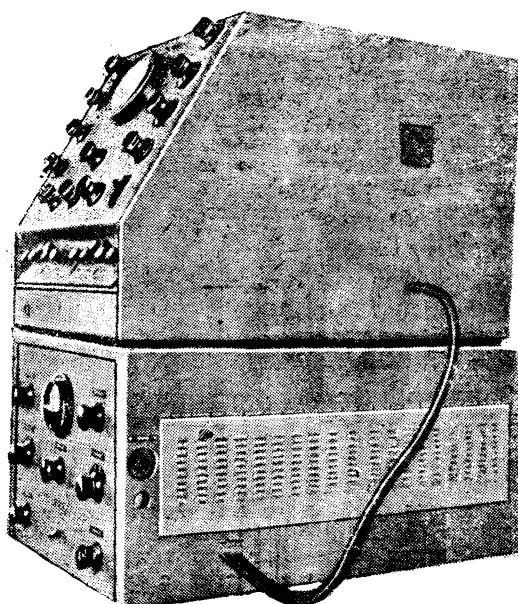


Рис. 1. Общий вид лампового электрометра с двухлучевым катодным осциллографом

а) высокая частота собственных колебаний, доходящая 30—50 kHz; б) нечувствительность к сотрясениям; в) стоячная датчика не зависит от температуры в пределах 300°.

Выделяющиеся в датчике электрические заряды изются посредством лампового электрометра (постоянное время входного контура 10—15 min). Датчик соединен с электрометром с помощью специального шланга (емкость шланга $\sim 40 \mu F/m$). Показания лампового электрометра гулируются катодным осциллографом. Наибольшая чувствительность прибора составляет (при нормальном давлении 15 mm/at).

На рис. 1 показан общий вид лампового электрометра (для двух датчиков) и двухлучевого катодного осциллографа (установлен сверху).

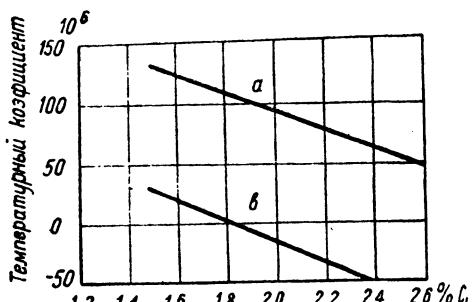
Масштаб времени в катодном осциллографе задается с помощью специального приспособления, механически связанного с валом исследуемого двигателя.

Градуировка прибора производится сжатым воздухом, давление которого измеряется манометром. В случае уменьшения постоянной времени входного контура электрометра долей минуты (вследствие ухудшения изоляции датчика и т. п.), градуировка должна производиться в приложении периодически изменяющегося давления.

М. С. Либ

A. Schulze. Золото-хромистые сплавы сопротивления ATM № 105, 1940.

При применении сплавов сопротивлений из благородных металлов для прецизионных сопротивлений особенно пригодны оказываются сплавы золота с хромом. Проведенные исследования показали, что если удельное сопротивление чистого золота при 20° составляет $0,02 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, то вредное добавление Cr сильно повышает его сопротивление. Уже при содержании 1,8% Cr удельное сопротивление вырастает до $0,27 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, а при 2,5% Cr достигает $0,41 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Одновременно с этим сильно изменяется температурный коэффициент. Изменения температурного коэффициента различных концентраций сплава Au—Cr приведены на рис. 1. Кривая *a* относится к твердотянутому образцу, а кривая *b* дана для отожженного образца. Соответствующий термообработкой температурный коэффициент может быть равен до 0. Исследования показали, что наиболее пригодны для этих целей является сплав с содержанием 2,05%. Его сопротивление при 20° равно $0,33 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Ток электродвижущая сила по отношению к меди составляет 7—8 μV на 1°.



Из этого сплава были изготовлены сопротивления с диаметром проволоки 0,6 mm, $10 \Omega \text{ mm}^2$, 0,3 mm, 1000 Ω — 0,04 mm. Проволока была бифилярно намотана на фарфоровый цилиндр, после чего сопротивления подвергнуты отжигу при 200° в течение 20 h с последующим медленным охлаждением, а затем покрыты. Исследование этих сплавов в течение 3 лет показало незначительное изменение температурного коэффициента удельного сопротивления. При этом установлено, что сплавы из сплава Au—Cr очень чувствительны к влажности воздуха, а потому могут использоваться в приборах с постоянной влажностью или должны помещаться в герметически закрытом сосуде, наполненном инертным газом.

П. П.

Негтапп. Замена двух правил «трех пальцев». ETZ, стр. 105—106, № 5, 1940.

Правила «трех пальцев» правой и левой руки можно изменить одним, если исходить из движения электрона в гнитном поле, причем одновременно достигается обобщение электромеханических явлений в последнем. При движении электрона за плоскость чертежа (рис. 1 и 2) взаимо-

вать, что направление движения электронов в проводнике является обратным тому направлению, в котором, как обычно принимают, протекает электрический ток.

Н. А. Шостын

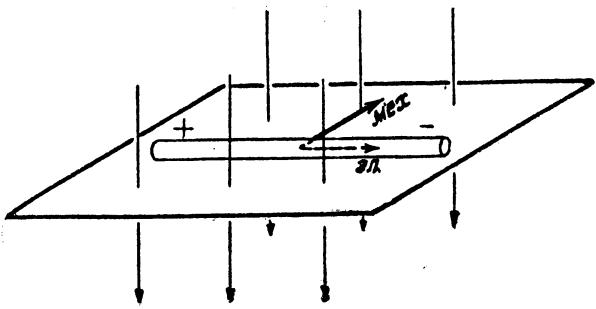


Рис. 1. Движущийся проводник в магнитном поле. Старое правило правой руки. Стрелка „мех“ показывает начальное, а стрелка „эл“ — новое направление движения электронов

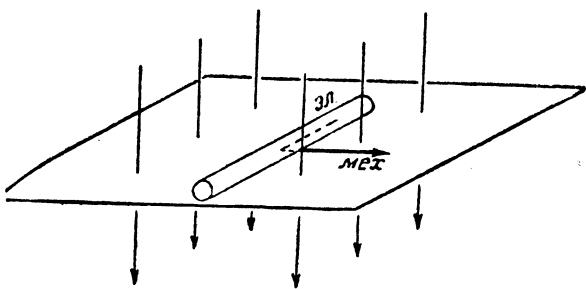


Рис. 2. Обтекаемый током проводник в магнитном поле. Старое правило левой руки. Стрелка „эл“ показывает начальное, а стрелка „мех“ — новое направление движения электронов

шнега магнитного поля и магнитного поля, возникающего вокруг движущегося электрона, заставляет последний отклоняться вправо. Если, как указано на рис. 1, проводник вместе с покоящимися в нем электронами движется в магнитном поле по направлению стрелки «мех» (за плоскость перпендикулярно полю), то электроны смещаются в проводнике направо, благодаря чему в последнем возникает электрическое напряжение. Если же, наоборот, имеет место движение электронов внутри проводника в направлении, указанном стрелкой «эл» (рис. 2), то электроны, смещаясь право, увлекают проводник за собой. Отсюда получается следующее правило: если большой палец левой руки направлена в сторону начального движения электронов (происходя ви вместе с проводником или внутри последнего), а указательный палец показывает направление магнитных линий, средний палец указает направление нового движения электронов. При пользовании этим правилом следует учиты-

С. Moler. Экономичность регулирования напряжения в сельскохозяйственных сетях серийс-конденсаторами. *El. World*, стр. 883 и 947, № 13, 1939.

Стоимость серийс-конденсаторов невысока и вполне приемлема для применения их в сетях малой мощности. Однако до настоящего времени стоимость защитных устройств для них была весьма значительна. Недавно в США (штат Мериленд) осуществлена дешевая защита серийс-конденсаторов. На конденсаторе 5 kVA, 460 V были установлены контакторы на одном его бушинге и разрядник на другом (рис. 1). Катушка контактора включалась последовательно в цепь нагрузки, и контактор замыкал конденсатор, когда ток в главной цепи достигал величины, соответствующей полной нагрузке. Разрядник шунтирует конденсатор при перенапряжениях. Стоимость конденсатора составляла 45,1 долл., раз-

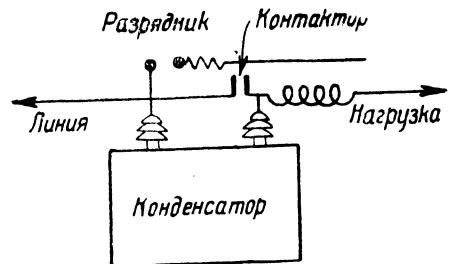


Рис. 1. Защитное устройство серийс-конденсатора

рядника 2,67 долл.; контактора 12,8 долл. Вся установка монтировалась на нормальной опоре и предназначалась для регулирования напряжения в сети с максимальной нагрузкой 25 kVA при $\cos \phi = 0,8$.

В статье показаны схемы линии 2,3 kV, в которой был установлен описанный серийс-конденсатор и графики напряжения вдоль линии с конденсатором и без него. Установка находилась в эксплуатации около тринадцати месяцев и работала вполне удовлетворительно.

За время эксплуатации контактор сработал три раза.

В установках с низким коэффициентом мощности серийс-конденсаторы имеют существенные преимущества перед другими способами регулирования напряжения в сетях, в частности, перед бустерными регуляторами. Они обеспечивают лучшее регулирование, исключают мигания света у потребителей, лучше защищены от перегрузок и перенапряжений, дешевле и требуют меньше места.

И. А. Будзко

Электропаяльники Бартеля

Образцовой конструкции и высокой производительности; экономные и надежные. Требуйте проспекты

„Barthel 2010“

Gustav Barthel, Dresden-A. 21 Ve

„Barthel 2010“

Германия

Сбыт заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

редактор Я. А. КЛИМОВИЦКИЙ
редакции М. Г. Башкова.

в набор 4/VII 1940 г.

В 1 п. л. 60307 зн.

Подписано к печати 26/VIII 1940 г.
Стат. формат 60×92^{1/8} д. л.

ДЛЯ МОСКОВСКОЙ
БИБЛИОТЕКИ
Обл. Библиотека

ИЗДАТЕЛЬ Госэнергоиздат
Техн. ред. С. К. Курапов

Печ. л. 11. Авт. л. 13,5
Заказ 2162. Тираж 10200

13-я тип. ОГИЗа РСФСР треста «Полиграфкнига». Москва, Денисовский 30.



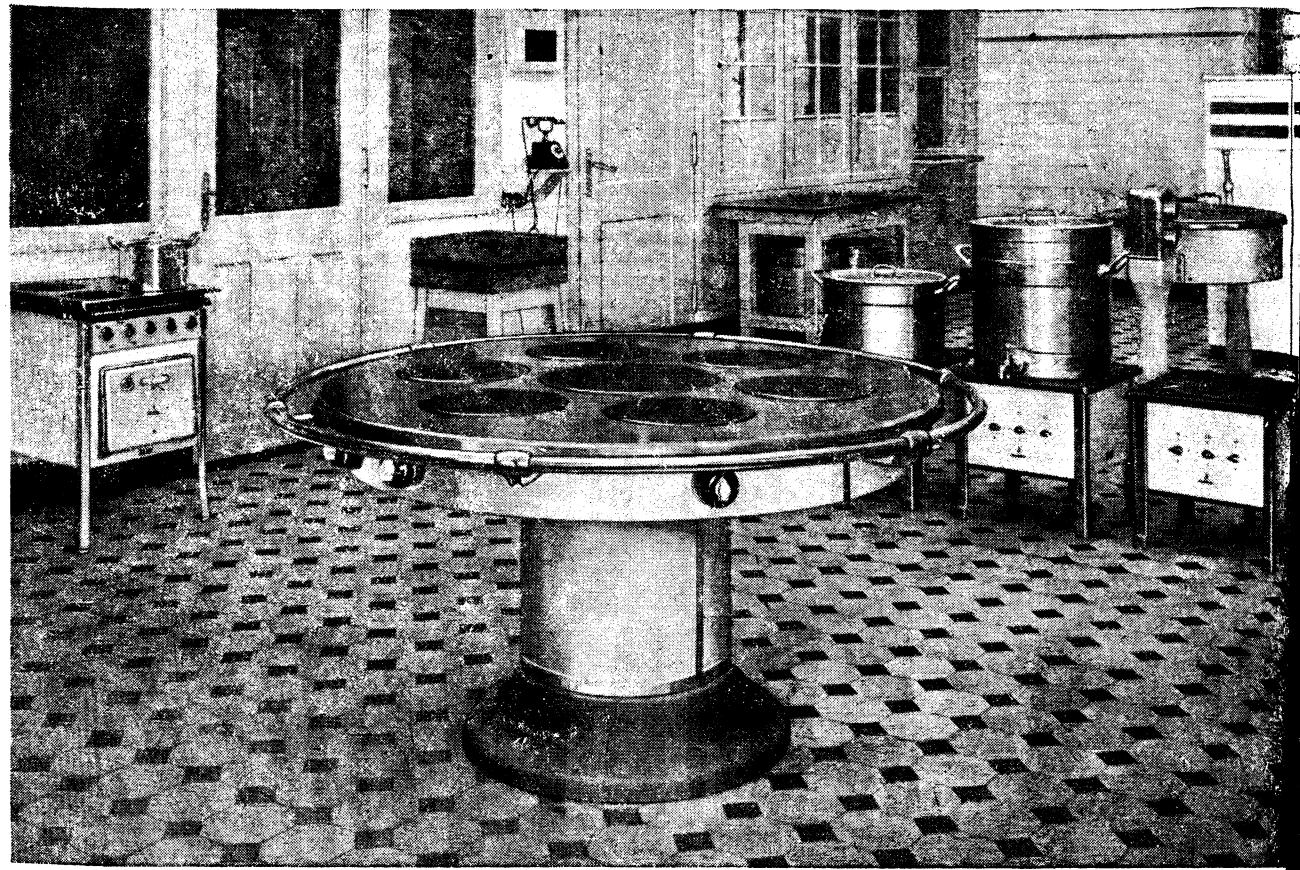
КУХНИ МАССОВОГО ПИТАНИЯ

Целесообразное расположение оборудования

Экономичность

Ударная работа при наплыве столующихся

Немедленная готовность к действию



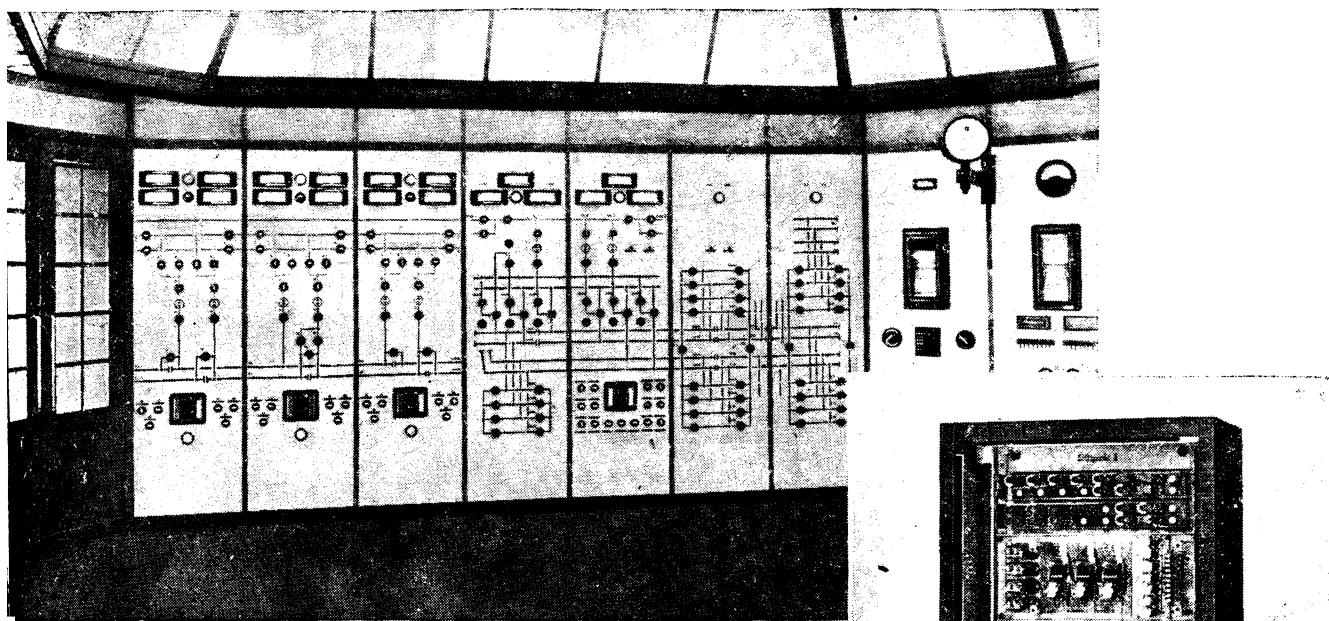
С запросами просим обращаться по адресу

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO
BERLIN-SIEMENSSTADT

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии в торговли.

ДИСПЕТЧЕРСКИЕ УСТАНОВКИ

для планомерного и надежного дистанционного управления и контроля энергоснабжения сетей электрических железных дорог

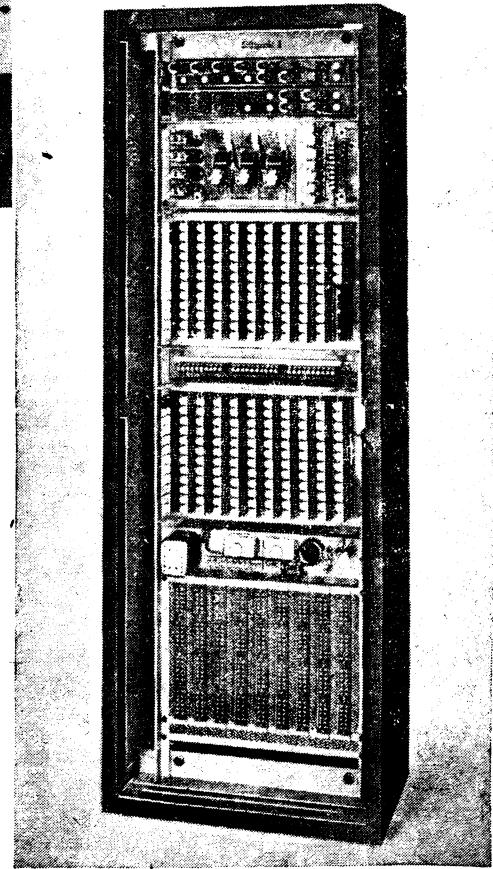


Фотография вид диспетчерского пункта управляющего выпрямительными установками и узловыми пунктами соединения.

Техника телеуправления объединяет все устройства по централизации управления замкнутыми системами или связанными между собой частями систем.

Устройства дистанционного управления Сименса обеспечивают:

1. Недопущение ошибочных операций и сигнализаций.
2. Проведение операций и обратной сигнализации положения каждого объекта в несколько секунд.
3. Одновременное выполнение нескольких команд после подготовительной установки, одним поворотом командногоискателя.



Диспетчерская аппаратура для управляющего и управляемых пунктов.

С запросами просим обращаться по адресу

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST
BERLIN-SIEMENSSTADT

AZRa.20

На заграничных товарах может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Производственные достижения фирмы AEG в 1939 г.

Сообщение фирмы AEG

Дальнейшее выполнение четырехлетнего плана и хозяйственное развитие повели в прошлом году к бурному росту почти всех отраслей промышленности. На долю фирмы AEG выпало также немалое количество возможностей, использование которых привело к результатам интересным как в техническом так и в хозяйственном отношении. Наиболее замечательные достижения отмечены нами ниже. Также и для иностранной промышленности фирма AEG выполнила ряд весьма интересных установок.

Промышленность, добывающая сырье, сдала в прошлом году большие заказы на выпрямительные установки для электролиза. В этой области повели к выпуску выпрямитель на 8000 А при 800 В. Для установок в 500...6000 А особенно оправдался новый безнасосный железный выпрямитель с воздушным охлаждением. Целый ряд мотор-генераторов с мощностями до 10 000 А при 300 В поставлены нами для электролиза и иных целей.

Для прокатных станов для горячей и холодной прокатки было поставлено много установок для приводов и управления. Один из двойных двигателей для привода тяжелого 900 тм-ового четырехзвенного прокатного триостана замечателен своими размерами; он представляет собой двухякорный двигатель постоянного тока мощностью при нормальной постоянной нагрузке в 10 800 кВт при 94 об/мин; максимальная мощность его достигает 40 700 кВт. Этот привод является таким образом наибольшим в мире приводом к прокатному стану. Кроме этого главный двигатель был поставлен целый ряд вспомогательных двигателей.

В горной промышленности в прошлом году была сдана в эксплуатацию крупнейшая в мире подъемная машина, обладающая подъемной шахтной мощностью в 572 ткм/ч. Она приводится в движение двигателем постоянного тока длительной мощностью в 3700 кВт и максимальной мощностью в 7500 кВт. Буроугольные копи пустили в ход значительное число крупных мостовых перегружателей, экскаваторов и сыпательей с поставленным фирмой AEG электротехническим оборудованием.

Центральные компрессоры для горного дела были также поставлены в значительном количестве. Единичная средняя мощность этих машин возросла примерно до 65 000 м³/ч. Большие центробежные компрессоры были сданы в эксплуатацию в химической промышленности и для дальнего газоснабжения. Главным образом для привода мощных поршневых компрессоров гидрогензационных установок было заказано 40 тихоходных двигателей трехфазного тока общей мощностью в 94 000 кВт.

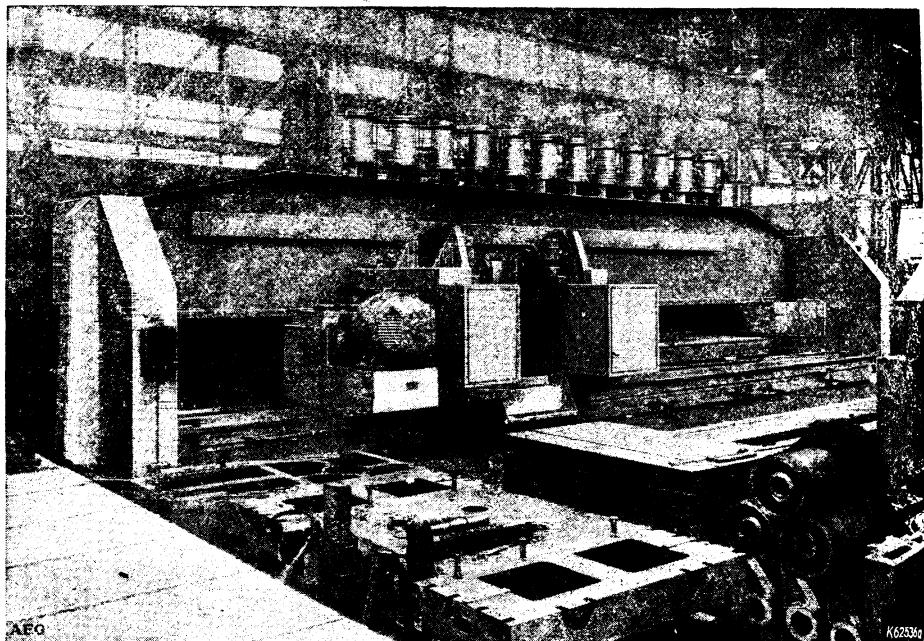
В области подъемных сооружений были поставлены зарекомендовавшие себя электро-гидравлические тормозные устройства «Eldro» для большого числа монтажных и литьевых кранов, а также портовых кранов для перегрузки тюков и грейферного типа. Среди оборудованных фирмой AEG портовых сооружений следует упомянуть подъемный мост в портовой части Бока в Буэнос-Айресе.

Значительные размеры приняли также поставки электротехнического оборудования к металлообработке вязущим станкам. Для первой очереди строительства завода народных малолитражных автомобилей фирмой AEG имела возможность поставить почти все двигатели для механического цеха. К мощным станкам было заказано большое число двигателей постоянного тока, в частности

в виде быстроходных приводов Леонарда к строгальным станкам (см. рисунок).

Недавно разработанные машины для точечной и шовной сварки с каскадным управлением были в большом количестве поставлены за границу. В области дуговой сварки наибольший интерес был проявлен к автоматическим сварочным установкам.

Мощные дуговые печи для электростали получили в отчетном году возможность дальнейшего развития; из поставленных установок особенно замечательна установка из двух печей по 40 т емкостью каждая; эта установка принадлежит к числу наибольших в мире. Особое внимание



Строгальный станок с электрическим приводом AEG

было обращено на дальнейшее развитие печей для ноксийского накала и установок с защитным газом. В настоящий момент нами строятся две мощные толкателевые печи с общей длиной в 32 м и полезным сечением 1000 × 500 мм², которые следует отнести к числу крупнейших в Германии проходных печей с защитой газами. Новая конструкция подъемного шлюза существенно снижает расход защитного газа.

Для бумагой и текстильной промышленности были разработаны и поставлены в Германии и за границей многочисленные специальные приводы и распределительные устройства.

В области исследовательской и испытательной работы в промышленности были построены испытательные установки для двигателей внутреннего сгорания и иных машин. В качестве достижения в этой области можно рассматривать находящийся еще в стадии строительства электрический тормоз малярникового типа на 1200 PS и 700...1800 об/мин. Наряду с поставкой многочисленных испытательных установок для высокого напряжения находится еще в работе опытная лаборатория высокого напряжения для одной известной фарфоровой фабрики. Эта лаборатория имеет между прочим трехдольный испытательный трансформатор на 1000 KVA для 2000 kV при последовательном и 660 kV при параллельном включении.

Кроме поименованных работ фирма AEG оказалась в состоянии принять на себя, а частью уже и выполнить интересные заказы на генераторные и распределительные установки, электровозы, измерительные и регулировочные аппараты для телевидения, а равно на осветительную и иную электротехническую аппаратуру для домашнего хозяйства и производства.

2 ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРА

результат старательнейшей разработки.

Точность по классу 0,2



Астатический
ваттметр вели-
чиной тока 100

Шielded am-
meter
ammeters

HARTMANN & BRAUN AG FRANKFURT/M, ГЕРМАНИЯ



Выключатели всевозможных
типов для регулировки
электрического отопления

по нормам Союза Германских Электротех-
ников и иностранным техническим условиям

на 10, 15 и 25а для кухонных
плит и производственных
нагревательных приборов



Ernst Dreeds, Unterrodach (Oberfr.)
Основ. в 1903 г. На выставке (ГЕРМАНИЯ)
в Лейпциге дом „Электротехники“, Г 3

МАСЛООЧИСТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ГЕРИНГА

для

трансформаторного масла

турбинного масла

масла выключателей и т. п.

Нами уже поставлены сотни установок в
СССР, начиная с самых простых фильтр-
прессов и центрифуг и кончая самыми
сложными вакуумными установками!

Кроме того:

- Масляные холодильники
- Маслоподогреватели
- Вакуумные пропиточные установки
- Вакуумные сушильные шкафы
- Установки для регенерации масла

Требуйте наши подробные проспекты!

Aktiengesellschaft

A. Hering, Nürnberg 2
(Abholfach)

Германия

6764

К Л Е Й Н Е В Е Ф Е Р С

ИГОЛЬЧАТЫЕ

экономайзеры

для использования тепла отходящих газов котельных установок
для подогревания питательной воды.

ИГОЛЬЧАТЫЕ

воздухоподогреватели

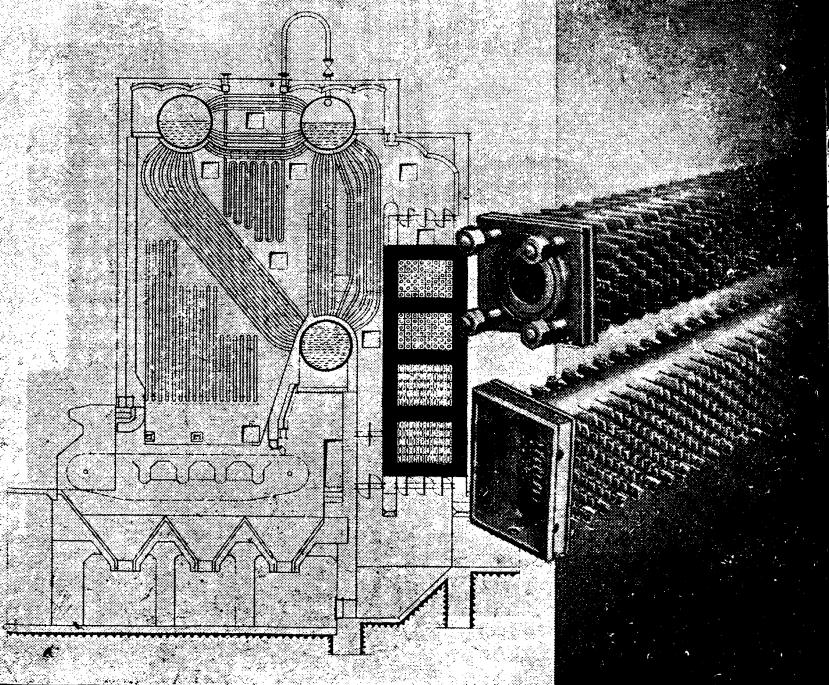
для использования тепла отходящих газов котельных установок
для подогревания топочного воздуха.

Игольчатая поверхность нагрева зарекомендовала себя во многих тысячах установок.

Длина элемента до 3,5 м.

Обращайтесь к нам за советом
во всех вопросах использования
тепла отходящих газов.

Наши русские проспекты
R 40/576 и R 40/501



J. & P. KLEINEWEFERS KREFELD/ГЕРМ.

ТЕЛЕФОН № 29145

Раньше: LIESEN & CO. Адр. для тел.: ECOLUVO

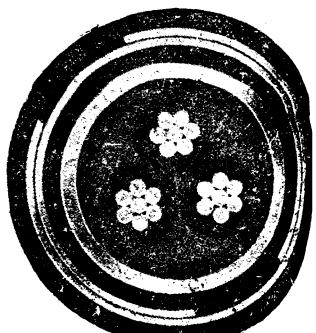
Берлинская контора: Berlin NW 87, Lessingstr. 25 · Телеф.: 39 36 06 · Венская контора: Wien 117, Peter-Jordanstr. 33 · Телеф.: A 13-0-52



Для передачи
электрической энергии
любого напряжения
пользуйтесь
ПОДЗЕМНЫМИ КАБЕЛЯМИ

производства

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS
ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI



Cablerie
Кабельный Завод



Charleroi
Шарлеруа - Бельгия

N. V. NEDERLANDSCHE KABELFABRIEK

DELFT (Голландия)



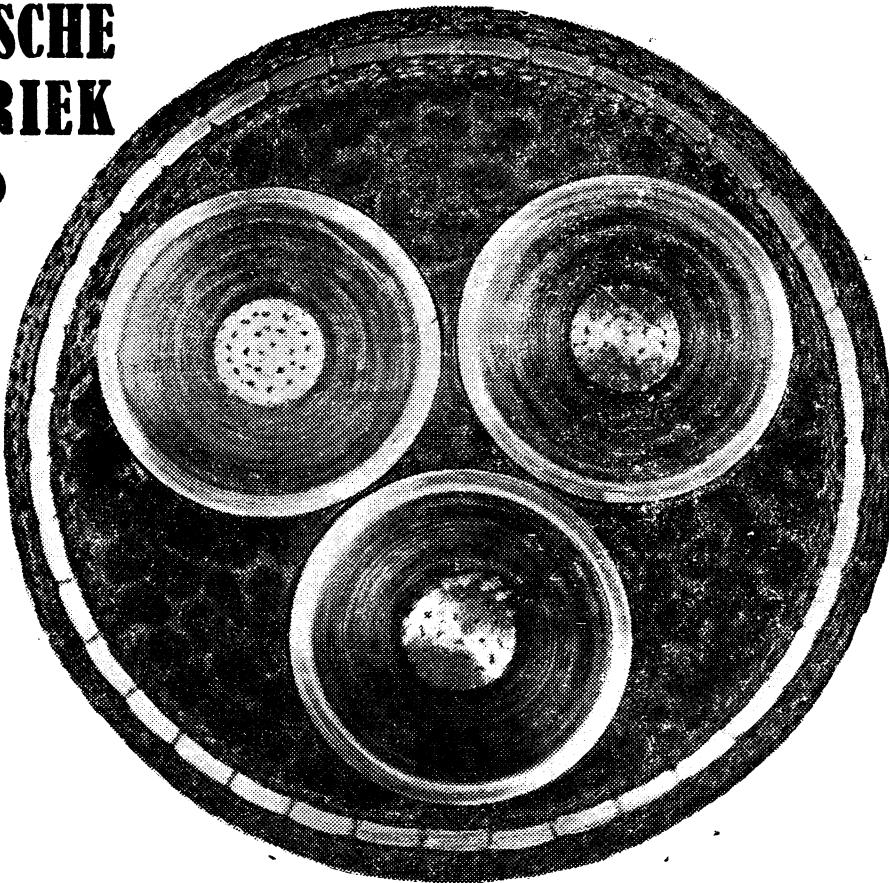
ПРОИЗВОДИТ:

Подземные электрические
кабели высокого и низкого
напряжения с бумажной
изоляцией

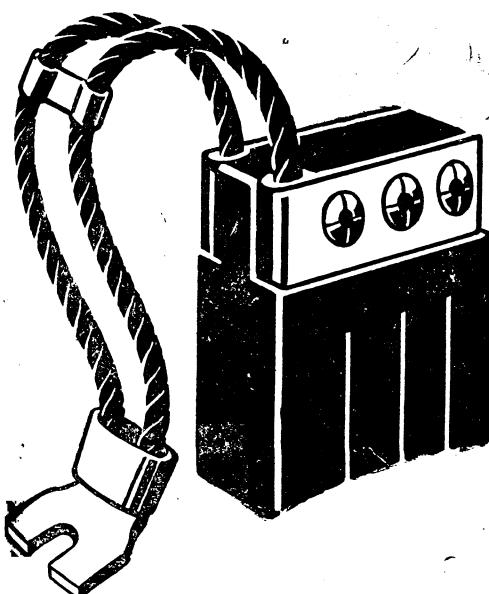
Подземные телефонные и
сигнализационные кабели

Подводные кабели

Неизолированную проволоку
и неизолированные кабели
из электролитической меди



RINGSDORFF



УГОЛЬНЫЕ ЩЕТКИ

НАША ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОГРАММА
ОХВАТЫВАЕТ ЩЕТКИ ИЗ ТВЕРДОГО, ГРА-
ФИТНОГО, БРОНЗОВОГО И ОБЛАГОРО-
ЖЕННОГО УГЛЯ РАЗЛИЧНЕЙШЕГО КА-
ЧЕСТВА. МЫ ИМЕЕМ, БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ,
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТАВИТЬ НА ЛЮБУЮ
МАШИНУ ПОДХОДЯЩИЕ К НЕЙ ЩЕТКИ.

6769

INGSDORFF-WERKE K.G. • MEHLEM-RHEIN (Германия)

заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

INREKLAMA

Moskau, Kusnezki Most, 18/7

INREKLAMA

empfängt Anzeigen in alle
in der UdSSR erscheinenden
Fachzeitschriften.

INREKLAMA

hat Vertretungen in allen
Ländern.

INREKLAMA

hat in Deutschland eine
einige rechtmässige Firma
A. Göbel: Berlin — Wilmers-
dorf, Hohenzollerndamm 193
(Ecke Pfalzburgerstr.)

ПЕРФОРАЦИОННЫЕ И ШТАМПОВАЛЬНЫЕ ШТИФТЫ

для
металла
бумаги
и т.п.

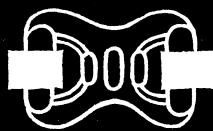


SCHUMAG
AACHEN

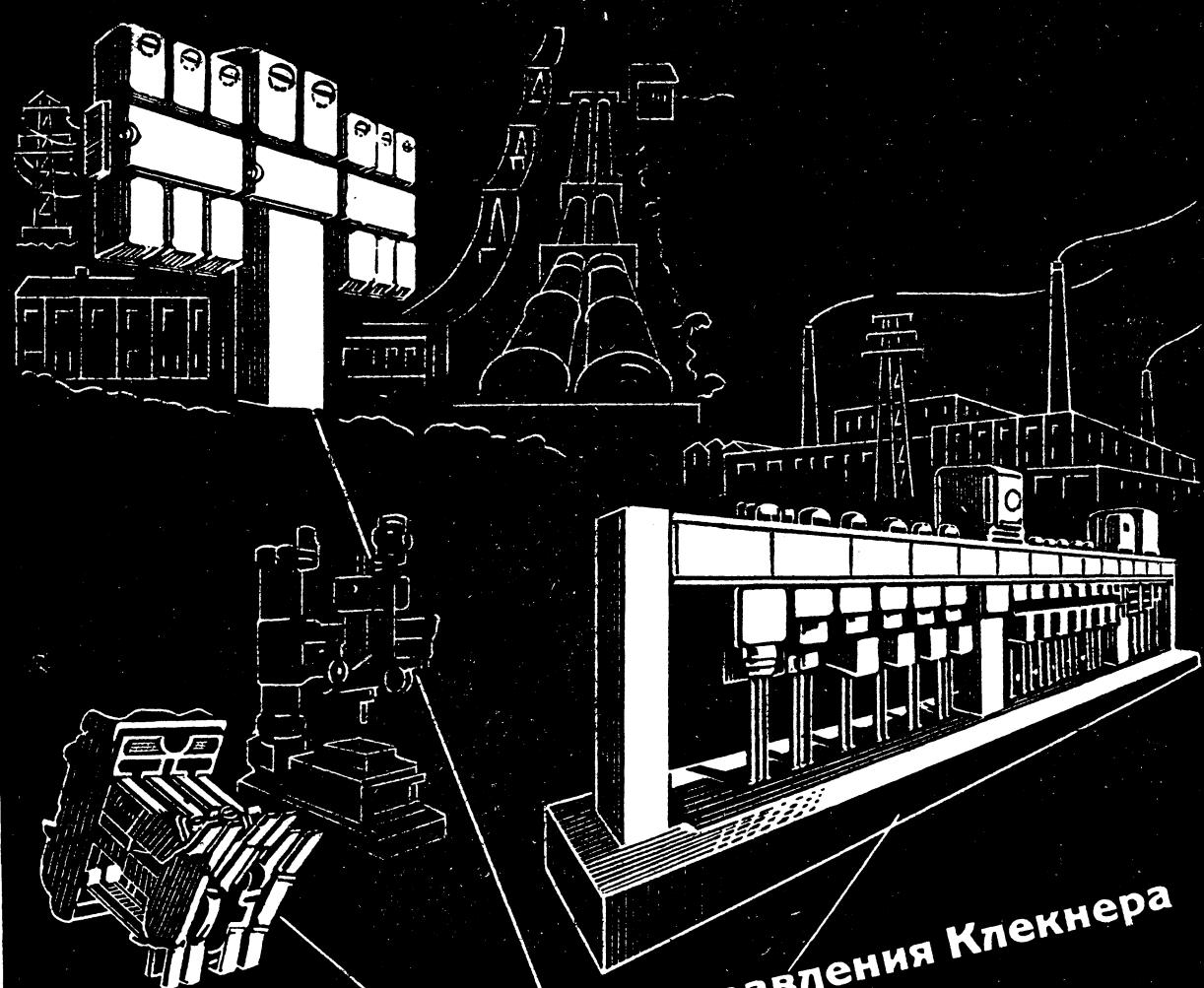
Германия

ПО НАУЧНЫМ МЕТОДАМ

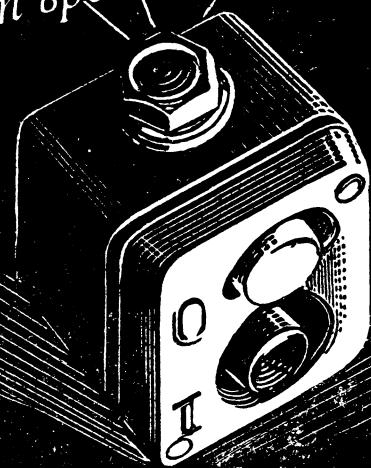
мы испытываем наши угольные щетки для
мощных машин. Наше производство специа-
лизировано в этой области уже десятки лет.
Поэтому мы ручаемся за долговечность и
величайшую производственную безопасность.



SCHUNK & EBE
GIESSEN-Германия



Аппараты дистанционного управления Клекнера
преодолевают время и пространство . . .



F. K L Ö C K N E R K.-G. K Ö L N - B A Y E N T H A L

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА, проезд Владимира, 4.

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

(июнь—июль)

ГОРДОН И. Л.— Водоприготовление в теплоэнергетическом хозяйстве. Утв. ГУУЗ НКЭП СССР в качестве учебного пособия для втузов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 250, ц. 12 р. 50 к. в перепл., тираж 3 000.

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (органические диэлектрики). Труды ВЭИ, вып. 38. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 111, ц. 4 р. 50 к., тираж 1 000.

ИНСТРУКЦИЯ ПО УСТРОЙСТВУ и обслуживанию паровых котлов (НКЭС СССР, Технический совет. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем, ХВ-09). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 39, ц. 1 р. 15 к., тираж 1 500.

ИНСТРУКЦИЯ по эксплуатации установок высокочастотной диспетчерской связи по линиям электропередачи, ч. I (НКЭС СССР. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем, СО-13). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 154, ц. 6 руб., тираж 1 000.

ИОГАНСОН В. И.— Изучение рея. Основы гидрометрических работ. Утв. ГУУЗ НКЭС СССР в качестве учебного пособия для курсов техминимума. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 135, ц. 4 р. 50 к. в перепл., тираж 3 000.

МАЙВАЛДОВ В. В., КАЗАНСКИЙ В. Е. и СПИРИДОНОВ В. К.— Релейная защита. Изд. 2-е, перераб. и дополненное. Утв. ГУУЗ НКЭС СССР в качестве учебного пособия для курсов техминимума. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 279, ц. 7 руб. в перепл., тираж 6 000.

НКЭС СССР, ОРГРЭС— Формуляры по ремонту паровых турбин, М., Госэнергоиздат, 1940 г., 36 формуларов, ц. 20 руб. в папке, тираж 2 000.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ при обслуживании и ремонте оборудования для персонала тепловых цехов электрических станций. Издание 2-е, стереотипное (НКЭС СССР, Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем, СО-13). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 111, ц. 4 р. 50 к., тираж 1 000.

тических систем). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 86, ц. 3 р. 70 к. в перепл., тираж 3 000.

СБОРНИК ИНСТРУКЦИЙ для котельных цехов электростанций. Вып. I. Должностные инструкции (НКЭС СССР, Технический совет. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 199, ц. 6 р. 25 к., тираж 4 000.

СПРАВОЧНИК для поступающих во втузы Наркомата электростанций СССР и Наркомата электропромышленности СССР в 1940 г. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 63, ц. 1 р. 75 к., тираж 3 000.

СПРАВОЧНИК для поступающих в техникумы Наркомата электростанций СССР и Наркомата электропромышленности СССР в 1940 г. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 35, ц. 1 р. 25 к., тираж 4 000.

СПРАВОЧНИК НОРМ ВРЕМЕНИ на ремонтные работы оборудования электростанций и сетей. Вып. I. ОТДЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ (НКЭС СССР, ОРГРЭС). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 99, ц. 5 р. 75 к., тираж 3 500.

СПРАВОЧНИК НОРМ ВРЕМЕНИ на ремонтные работы оборудования электростанций и сетей. Вып. II. КОТЛОАГРЕГАТ (НКЭС СССР, ОРГРЭС). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 130, ц. 7 р. 25 к., тираж 2 500.

СПРАВОЧНИК НОРМ ВРЕМЕНИ на ремонтные работы оборудования электростанций и сетей. Вып. VIII. ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ (НКЭС СССР, ОРГРЭС). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 98, ц. 5 р. 30 к., тираж 1 500.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ — Сборник материалов, вып. III. Составлен под редакцией члена-корреспондента Академии наук СССР Б. М. Вула (отв. редактор) и В. С. Квашнина (НКЭП СССР — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 175, ц. 7 руб., тираж 1 000.

СПИРИДОНОВ — Реле и защита, серия из 12 учебных таблиц. Формат 62 × 88 1/2 л., цена комплекта 24 руб., тираж 8 000.

ПЛАКАТЫ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ИНСТИТУТ ОХРАНЫ ТРУДА — А отключен ли масляный выключатель? Формат 62 × 94 1/4, ц. 1 р. 25 к., тираж 6 000.

НОЯТОВ Ф. Г.— Не загромождайте проезды по двору, подступы к зданиям и наружным пожарным лестницам. Формат 29 × 105 1/8, бесплатно, тираж 4 000.

НОЯТОВ Ф. Г.— При пожаре разверни пожарный рукав. Формат 29 × 105 1/8, ц. 75 коп., тираж 4 000.

ОРГРЭС — Проверяй отсутствие напряжения в установках 35 000 вольт специально приспособленный для этого индикатором. Формат 62 × 94 1/4, ц. 1 р. 25 к., тираж 6 000.