

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1949

6

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ОРГАН АКАДЕМИИ НАУК СССР, МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР  
И МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

## СОДЕРЖАНИЕ

Новаторы электротехники—лауреаты Сталинских премий за 1948 г.	3
Г. М. Розанов — Расчет расщепленных проводов линий 400 кВ	5
А. М. Мелькумов — Некоторые исследования применения металлических растворителей плав- ных вставок предохранителей	9
Д. К. Минов — Электрическое спаривание осей при электрической тяге	14
А. Д. Степанов — Устойчивость автоматического регулирования дизель-электрического пасса- жирского транспорта	24
Ю. М. Галонен — Из истории русского трамвая	29
М. А. Островский — К вопросу расчета призматических светильников	38
В. Е. Боголюбов — Квази-релаксационные колебания в феррорезонансных цепях с подмагничи- ванием	42
Ю. Я. Юров — Влияние газовых пленок на сопротивление контактов	42
<b>АВТОРЕФЕРАТЫ</b>	
Л. Я. Цивьян — Передвижной многоскоростной электропривод для сельского хозяйства	51
Л. М. Шильдинер — Экспериментальное исследование размагничивающего действия реакции якоря	54
А. В. Нетушил, К. Б. Исаев и С. К. Федоров — Применение системы формул Максвелла для расчета сопротивлений между электродами при электропрогреве бетона	56
А. М. Левигский — Определение реактивной мощности синхронных генераторов	60
<b>СТАНДАРТЫ И НОРМЫ</b>	
Г. С. Плисс — Стандартизация автотракторного электрооборудования	64
<b>ОБЗОРЫ И РЕФЕРАТЫ</b>	
Л. Ш. Казарновский — Развитие магнитных материалов	68
<b>ДИСКУССИИ</b>	
К статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского „Экономически целесообразная шкала стан- дартных напряжений в диапазоне 10—220 кВ“	74
<b>ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА</b>	
<b>ХРОНИКА</b>	
День радио — 7 мая	87
Академик Б. А. Введенский. К присуждению золотой медали имени А. С. Попова	88
Конференция по вопросам эксплуатации трамвайных вагонов нового типа	88
Всесоюзный электротехнический институт им. Ленина. Диссертации.	89
Академик Г. О. Графтио	90
<b>БИБЛИОГРАФИЯ</b>	
С. А. Ринкевич — Книга А. Т. Голована „Электропривод“	91
Ф. В. Майоров — Книга Л. Я. Волчок „Электрические методы измерений в двигателях внутрен- него сгорания“	94
Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике	95

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Доктор техн. наук, проф. **Г. Н. Петров** (редактор), академик **А. И. Берг**,  
доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич**, доктор техн. наук, проф. **А. А. Гла-**  
**зунов**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик **В. Ф. Миткевич**,  
канд. техн. наук **И. А. Сыромятников**, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**

Адрес редакции: Москва, Б. Черкасский пер., д. № 2, тел. К 4-24-30

Адрес для телеграмм: Москва Электричество

Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт,  
почтовый ящик № 648

## Новаторы электротехники — лауреаты Сталинских премий за 1948 г.

9 апреля 1949 г. было опубликовано постановление Совета Министров Союза ССР о присуждении Сталинских премий за выдающиеся работы в области науки и изобретательства за 1948 год.

В числе лауреатов Сталинских премий, отмеченных в новом списке, имеются ученые и инженеры, которые удостоились этого славного отличия за свои исследования и работы в области электротехники. Они получили почетное государственное поощрение, обязывающее их работать еще более упорно и целеустремленно, памятуя о своем долге перед советским народом, памятуя о великой задаче построения коммунизма.

Характерной чертой творчества советских ученых, отчетливо выступающей при ознакомлении с постановлением Правительства о новом отряде передовой советской интеллигенции, является смелое новаторство, тесное содружество деятелей советской науки и техники с работниками промышленности, с заводскими инженерами и конструкторами, с рационализаторами и стахановцами производства.

Присуждение Сталинских премий за выдающиеся научные работы, изобретения и коренные

усовершенствования методов производственной работы отражает расцвет советской культуры, быстрый технический прогресс страны социализма, непрестанный рост наших сил.

Патриотический труд работников науки и техники высоко оценен Советским правительством и всем советским народом. Советский народ, испытывая большое и законное удовлетворение успехами своей культуры, ни в какой мере не намерен довольствоваться достигнутым. За истекший год создано немало выдающихся трудов в науке, — но этого еще недостаточно, надо больше! За истекший год предложено немало выдающихся изобретений и коренных усовершенствований методов производства, но этого еще недостаточно — мы ждем дальнейших открытий и усовершенствований во всех областях нашего народного хозяйства во имя могущества нашей горячо любимой Родины и счастья всех трудящихся.

Можно выразить уверенность, что советские ученые и инженеры-электрики, в глубоком сознании своего патриотического долга перед народом, будут и впредь неустанно трудиться для достижения новых успехов в научной и инженерной деятельности на благо Отчизны.

### СТАЛИНСКИЕ ПРЕМИИ ВТОРОЙ СТЕПЕНИ В РАЗМЕРЕ 100 000 РУБЛЕЙ ПРИСУЖДЕНЫ:

Гринбергу Георгию Абрамовичу, члену-корреспонденту Академии наук СССР, — за научные исследования по математической физике, имеющие большое значение для расчета и конструирования электронных приборов, изложенные в монографии «Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений», опубликованной в 1948 году.

Доброжанскому Владимиру Леонидовичу, инженеру, Анцеловичу Ефиму Самуиловичу, профессору Блиндерману Владимиру Михайловичу, Железову Фоме Фомичу, Хазину Григорию Лейзеровичу, инженерам, — за разработку новой радиоаппаратуры

Осипову Александру Ивановичу, руководителю работ, Куосману Вильяму Вильямовичу, Морееву Александру Кирилловичу, инженерам Центрального научно-исследовательского института механизации и энергетики лесной промышленности, Харламову Николаю Федоровичу, механику Архангельского лесотехнического института, Пациоре Павлу Павловичу, доценту Московского лесотехнического института, Вороницыну Константину Ивановичу, руководителю кафедры Архангельского лесотехнического института, Кривцову Николаю Назаровичу, Готчиеву Алексею Павловичу, электропищикам, — за разработку и внедрение в лесную промышленность новых типов электропил.

## СТАЛИНСКИЕ ПРЕМИИ ТРЕТЬЕЙ СТЕПЕНИ В РАЗМЕРЕ 50 000 РУБЛЕЙ [ПРИСУЖДЕНЫ:

Акульшину Павлу Кузьмичу, профессору, консультанту Центрального научно-исследовательского института связи, Гумеле Антону Николаевичу, Малышеву Виктору Захаровичу, научным сотрудникам того же института, Фролову Павлу Алексеевичу, главному инженеру Центрального управления Министерства связи,—за усовершенствование телефонно-телеграфной связи.

Буткевичу Георгию Владимировичу, профессору Всесоюзного электротехнического института имени В. И. Ленина, Бронштейну Анатолию Марковичу, старшему научному сотруднику того же института, Грейнеру Леониду Карловичу, Коченовой Анне Ивановне, Гурвичу Вениамину Бецалелевичу, инженерам завода «Электроаппарат»,—за разработку и внедрение новой серии аппаратов распределительных устройств высокого напряжения.

Войцеховичу Борису Викторовичу, руководителю работы, главному конструктору, Павлову Георгию Алексеевичу, Андронникову Михаилу Григорьевичу, Георгенбергу Рудольфу Исидоровичу, Поляку Николаю Юльевичу, Хантбергера Михаилу Александровичу, Яковлеву Николаю Анисимовичу, инженерам,—за разработку нового типа радиостанции.

Голгофскому Федору Ивановичу, руководителю работы, главному конструктору, Полуянову Андрею Николаевичу, Шевякову Сергею Николаевичу, Занятнову Евгению Алексеевичу, Михееву Сергею Викторовичу, Красношапке Максиму Митрофановичу, инженерам,—за разработку малогабаритных электрических машин.

Грузову Марку Николаевичу, Нейману Зиновию Борисовичу, Костину Константину Федоровичу, Иванову Николаю Павловичу, инженерам,—за создание серии гидрогенераторов для электрификации сельского хозяйства.

Закгейму Льву Нахматовичу, руководителю работы, Михайловой Елене Ивановне, Ращектаеву Ивану Николаевичу, Годес Лидии Григорьевне, инженерам научно-исследовательского института,—за организацию производства высококачественных радиоконденсаторов.

Игнатьеву Игорю Александровичу, руководителю работы, главному конструктору, Кочуркову Виктору Антоновичу, Левину Иосифу Яковлевичу, Ярошенко Виктору Исидоровичу, Шаровскому Юрию Александровичу, инженерам, Калмыкову Валерию Дмитриевичу, директору научно-исследовательского института,—за разработку нового типа радиостанций.

Костенко Михаилу Полиевктовичу, члену-корреспонденту Академии наук СССР, Иосифяну Андронику Гевондовичу, члену-корреспонденту Академии наук Армянской ССР, Моносзону Науму Абрамовичу, инженеру завода, Сорокеру Теодору Густавовичу, профессору научно-исследовательского института, Явлинскому Натану Ароновичу, начальнику лаборатории Всесоюзного электротехнического института, Эпштейну Якову Соломоновичу, инженеру завода,—за разработку конструкции и освоение производства электрических машин.

Мартышову Константину Ивановичу, руководителю работы, Столярову Михаилу Михайловичу, Гайлиш Евгению Антоновичу, инженерам научно-исследователь-

ского института, Каминскому Бецалелу Хаймовичу, главному инженеру,—за организацию производства высококачественного радиооборудования.

Михаленко Николаю Матвеевичу, руководителю работы, Карро-Эст Борису Федоровичу, Ситникову Георгию Павловичу, Хубаеву Георгию Васильевичу, инженерам завода имени Козицкого, Метассу Николаю Александровичу, инженеру Министерства путей сообщения,—за разработку конструкции радиостанции.

Народицкому Илье Аароновичу, руководителю работы, Сорокину Петру Павловичу, Гейфу Изе Леонтьевне, инженерам завода имени Козицкого, Ласточкину Николаю Семеновичу, директору того же завода,—за разработку радиотелефонной станции «Урожай».

Пестрякову Владимиру Борисовичу, руководителю работы, Кудряцеву Владимиру Николаевичу, Семенову Владимиру Антоновичу, Тимофееву Александру Андреевичу, инженерам завода,—за разработку и промышленное освоение новой радиоаппаратуры.

Покровскому Андрею Глебовичу, руководителю работы, Скибарко Алексею Петровичу, инженеру, Юффа Леону Давидовичу, директору завода, Иллиеву Владиславу Викторовичу, инженеру, Русецкому Михаилу Леонтьевичу, главному технологу завода, Шунейко Витольду Сабировичу, главному конструктору завода, Горшкову Александру Порфирьевичу, инженеру,—за разработку конструкций радиоаппаратуры.

Савельеву Борису Николаевичу, руководителю работы, инженеру НИИ, Романову Василию Васильевичу, Биброву Алексею Ивановичу, научным сотрудникам НИИ, Климонтовичу Владимиру Александровичу, инженеру 1 ранга, Щеголеву Евгению Яковлевичу, научному сотруднику Физического института Академии наук СССР,—за разработку нового типа радиоаппаратуры.

Табачнику Бенциону Шлемовичу, инженеру Министерства электропромышленности, Панкратьеву Александру Федоровичу, Перцову Гершу Ицковичу, инженерам завода,—за создание электрооборудования для врубных машин.

Хрущеву Александру Андреевичу, руководителю работы, Болотникову Игорю Михайловичу, Матвеевскому Александру Сергеевичу, Фурдуеву Владимиру Владимировичу, научным сотрудникам Научно-исследовательского кинофотоинститута, Муромцеву Василию Васильевичу, начальнику лаборатории завода «Ленкинап»,—за создание новой системы воспроизведения звука, обеспечившей высокое качество звучания при демонстрациях кинофильмов.

Цехановичу Михаилу Васильевичу, руководителю работы, Адриановой Людмиле Николаевне, Миллеру Виктору Александровичу, Сырковой Варваре Даниловне, Нилейдеру Роману Алексеевичу, Цветкову Григорию Михайловичу, инженерам,—за разработку конструкции и освоение производства электронно-лучевых приборов.

Шапиrowsкому Якову Борисовичу, руководителю работы, Гитису Эммануилу Исааковичу, Корчмару Александру Ильичу, Кунявскому Гедалии Моисеевичу, инженерам,—за создание новой радиоаппаратуры.

# Расчет расщепленных проводов линий 400 кв

Кандидат техн. наук, доц. Г. М. РОЗАНОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Передача электрической энергии напряжением 400 кв может быть осуществлена либо одним проводом в фазе, либо расщепленными проводами. Практическое значение имеет число проводов в фазе при расщеплении от 2 до 4. Особенное внимание должно быть уделено расщеплению фазы на 2 провода.

При технико-экономическом сравнении передачи энергии с одним проводом в фазе и с расщепленными проводами необходимо тщательно установить количество материалов — металла и изоляторов, которые потребуются для сооружения линий в том и другом случае. Известно, что линии с расщепленными проводами имеют значительные преимущества в электрической части; в зависимости от числа проводов расщепления по линии может быть передана мощность, большая на 20—40% в сравнении с одним проводом в фазе. Что же касается механической части линий с расщепленными проводами, то до последнего времени считалось, что в этом случае (за исключением 2 проводов в фазе) потребуются больше металла и изоляторов, которые и увеличат стоимость линии с расщепленными проводами и сделают применение их менее выгодным.

Такой вывод базировался на том, что при расщеплении фазы сечения отдельных проводов уменьшаются, а это в свою очередь ведет или к уменьшению длины пролета (при одинаковых высотах опор), или к увеличению высоты опор (при одинаковых пролетах). В том и другом случае расчет промежуточных опор на обрыв всех проводов в фазе приводит к большому расходу металла и изоляторов, т. е. к большей стоимости линии. Даже если подобрать такое сочетание числа проводов в фазе и их сечений, чтобы обрывные натяжения проводов были равными, что привело бы при прочих равных условиях к равным весам опор, то и в этом случае из-за разных длин пролетов получились бы различные количества потребного металла и изоляторов. Особняком в этом отношении находятся расщепленные провода марки 2XACU 400, которые имеют одинаковые длины пролетов с одним проводом в фазе [Л. 1].

Дается метод определения напряжения в оставшихся расщепленных проводах при обрыве одного или нескольких проводов пучка. Приводятся величины напряжений в оставшихся проводах при обрыве для линий 400 кв. Указанный метод расчета может быть применен для линий 400 кв и даст значительный экономический эффект. Статья является дополнением к работе П. С. Жданова, В. А. Веникова и Г. М. Розанова «Электрпередачи 400 кв переменного тока» (Электричество, № 11, 1943).

Как выше было указано, при расчете расщепленных проводов принимался обрыв всех проводов в фазе. Такое тяжелое для расщепленных проводов допущение, по мнению автора, не отвечает требованиям норм и совершенно не обосновано. Принимая обрыв только одного провода в фазе, мы получим усилия на опору значительно меньшие, чем при обрыве всех проводов, и расчетным случаем будет нормальный режим, который и приведет к меньшему весу опор и числу изоляторов. Тогда стоимость линий с расщепленными проводами при любом количестве проводов в фазе приблизилась бы к стоимости обычной передачи.

Приведем соображения в пользу только что высказанного положения.

В практике эксплуатации линий с большими сечениями проводов (АСУ 185 ÷ 400) обрыв проводов — явление очень редкое. Провода обрываются чаще всего по случайным причинам, но не вследствие возрастания механических нагрузок. Сталеалюминиевые провода, в особенности усиленной прочности, имеют очень большой эксплуатационный коэффициент запаса прочности.

Весьма характерным в этом отношении является случай очень хорошей работы сталеалюминиевых проводов в условиях больших гололедов на Северном Кавказе [Л. 2].

Поскольку обрывы проводов, хотя и очень редко, но все же случаются, нормы по проектированию и устройству воздушных линий в разделе расчетных случаев кроме нормального режима требуют проверки опор и по аварийному режиму. Интересно отметить, что в нормах СССР климатические условия аварийных режимов не всегда были одинаковыми. Во всех нормах до 1939 г. считалось, что при обрыве проводов гололед сбрасывается; ветер максимальной скорости; температура — 5° С. В нормах 1939 г. и действующих в настоящее время (1947 г.) принимается, что гололед при обрыве проводов не сбрасывается; ветер отсутствует; температура — 5° С. Вследствие этого при глухих зажимах получилось утяжеление промежуточных опор и изоляторов. В то же время линии (например, напря-

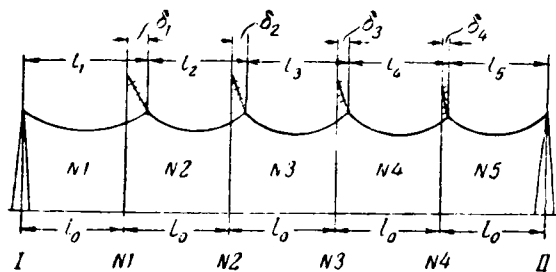


Рис. 1.

жения 220 кВ), построенные по нормам до 1939 г., находятся в эксплуатации уже свыше 10 лет и работают вполне исправно.

Приведенной справкой автору хотелось подчеркнуть всю условность расчетных схем, с которыми приходится считаться, но которые подчас приводят к тяжелым результатам.

Очевидно, что для линий 220 ÷ 400 кВ необходимо разработать отдельные нормы.

Согласно действующим в настоящее время нормам, промежуточные опоры должны рассчитываться независимо от числа проводов на опоре на обрыв только одного провода, причем в этом случае гололед на проводах сохраняется, а ветер отсутствует.

Принимая в дальнейшем это положение за основное, мы, кроме того, для сравнения приведем для проводов марки 2ХАСУ 400 и другой расчетный случай: обрыв одного провода при сброшенном гололеде и максимальной скорости ветра.

Возьмем линию с расщепленными проводами и пятью пролетами между двумя анкерными опорами I и II (рис. 1). Пусть один из расщепленных проводов фазы в первом пролете оборвался. Тогда вследствие неуравновешенного натяжения проводов гирлянда изоляторов на промежуточной опоре № 1 отклонится в сторону натяжения оборванного провода. В оставшихся проводах фазы получится добавочное усилие, которое и приведет гирлянду изоляторов в положение равновесия.

Произведенные подсчеты показали, что при обрыве одного провода в фазе натяжения в оставшихся проводах не только не превосходят временного сопротивления сталеалюминиевых проводов, но в некоторых случаях не превосходят даже и предела упругости алюминиевой части провода. Таким образом, нет никаких оснований предполагать возможность обрыва других проводов в фазе при обрыве одного из них.

Прежде чем привести результаты проведенных подсчетов натяжений оставшихся проводов в фазе при обрыве различного их количества, укажем на метод, которым пользовались для этих расчетов.

В данном случае был применен несколько измененный автором метод А. А. Глазунова, данный им для определения натяжений при обрыве проводов, монтированных на деревянных опорах со штыревыми изоляторами с учетом поддерживающего действия оставшихся проводов [Л. 3]. Этот метод — графоаналитический; строятся три кривые, при помощи которых находятся натяжения проводов во всех пролетах (рис. 2).

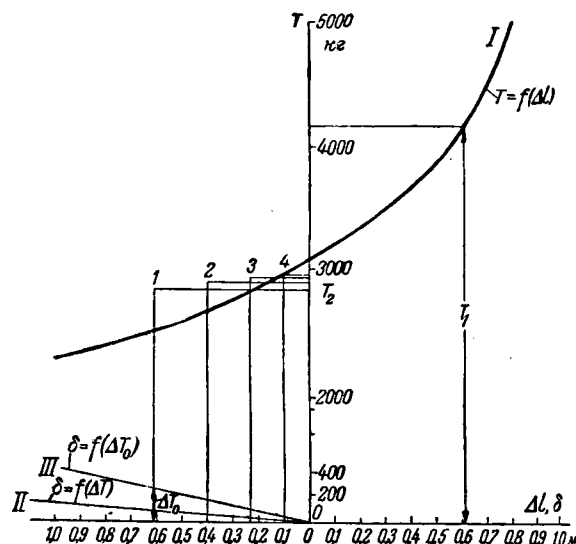


Рис. 2

Кривая I дает зависимость натяжения провода от изменения длины пролета  $T = f(\Delta l)$ . Эту кривую можно построить по формуле

$$T = \sigma \cdot S = S \sqrt{\frac{P \cdot g_3^2}{24(L_0 - l)}}, \quad (1)$$

где  $T$  — натяжение провода, кгс;

$\sigma$  — напряжение провода, кгс/мм<sup>2</sup>;

$S$  — сечение провода, мм<sup>2</sup>;

$l$  — изменяемая длина пролета, м;

$g_3$  — суммарная вертикальная удельная нагрузка, кгс/м · мм<sup>2</sup>;

$L_0$  — длина провода в пролете, м;

$$L_0 = l_0 + \frac{8}{3} \cdot \frac{f_0^2}{l_0};$$

$l_0$  — начальная длина пролета, м;

$f_0$  — стрела провеса при длине пролета  $l_0$ , м.

Значения длины пролета  $l$  в формуле (1) берутся большие и меньшие нормальной длины пролета  $l_0$ , так как в первом пролете будет иметь место увеличение длины пролета, а в последующих пролетах — уменьшение длины пролета. По оси абсцисс откладываются разности длин пролетов  $\Delta l = l - l_0$ .

Кривая II дает зависимость отклонения гирлянды изоляторов (на всех промежуточных опорах, кроме первой) от разности натяжения проводов  $\delta = f(\Delta T)$ . Эта кривая строится по формуле

$$\delta = \lambda \frac{n \cdot \Delta T}{\sqrt{\left(nP + \frac{Q}{2}\right)^2 (n \cdot \Delta T)^2}}, \quad (2)$$

где  $\delta$  — отклонение гирлянды изоляторов, м;

$\lambda$  — длина гирлянды изоляторов, м;

$n$  — число проводов в фазе;

$\Delta T$  — разность натяжения провода фазы и смежных пролетах, кгс;

$P = g_3 \cdot S \cdot l_0$  — вес одного пролета провода фазы, кгс;

$Q$  — вес гирлянды изоляторов, кгс.

Кривая III дает зависимость отклонения гирлянды изоляторов на первой промежуточной опоре в зависимости от разности натяжения всех проводов  $\delta = f(\Delta T_0)$  и строится по формуле, аналогичной (2):

$$\delta = \lambda \frac{\Delta T_0}{\sqrt{\left(P_0 + \frac{Q}{2}\right)^2 + \Delta T_0^2}}, \quad (3)$$

где  $\delta$  — отклонение гирлянды изоляторов на первой промежуточной опоре, м;

$\Delta T_0$  — разность натяжения всех проводов фазы также на опоре № 1, кг;

$P_0$  — вес всех проводов фазы, приходящейся на гирлянду изоляторов опоры № 1, кг. Прочие обозначения те же, как и выше.

Пользуясь этими тремя кривыми, можно найти натяжения всех проводов при обрыве и разность натяжения  $\Delta T_0$  для расчета промежуточной опоры. Последовательность нахождения натяжений проводов следующая (рис. 2).

Задаются натяжением оставшегося провода в первом пролете ( $T_1$ ). Проводя линию, параллельную оси абсцисс до пересечения с кривой I, находят увеличение длины первого пролета. Отклонение гирлянды изоляторов на опоре № 1 будет равно увеличению длины первого пролета. Отклонение гирлянды изоляторов откладывается по оси абсцисс влево от начала координат.

Натяжение провода во втором пролете найдется из соотношений

$$\Delta T_0 = nT_2 - n_2 \cdot T_1;$$

$$T_2 = \frac{1}{n} (\Delta T_0 + n_2 \cdot T_1),$$

где  $\Delta T_0$  — разность натяжений проводов фазы на опоре № 1 (находится из кривой III по известному  $\delta_1$ );

$n$  — число всех проводов в фазе;

$n_2$  — число оставшихся проводов.

Отклонение  $\delta_2$  гирлянды изоляторов на опоре № 2 определится как разность между отклонением  $\delta_1$  гирлянды изоляторов на опоре № 1 и сокращением второго пролета  $\Delta L_2$ :

$$\delta_2 = \delta_1 - \Delta L_2.$$

$\Delta L_2$  находят по известному натяжению во втором пролете  $T_2$ , проведя линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой I. Зная  $\delta_2$ , по кривой II находят разность натяжений проводов на опоре № 2, а по этой разности  $\Delta T_2 = T_3 - T_2$  определяют натяжение в третьем про-

лете —  $T_3$ . Поступая аналогичным образом, получаем отклонения гирлянд изоляторов на опорах № 3 и № 4, а также натяжения проводов в четвертом и пятом пролетах —  $T_4$  и  $T_5$ .

Критерием правильности найденных величин будет равенство нулю отклонения гирлянды изоляторов на анкерной опоре II или, что то же самое, отклонение гирлянды изоляторов на опоре № 4 должно равняться сокращению пятого пролета. На рис. 2 точки 1, 2, 3 и 4 указывают отклонения гирлянды изоляторов на соответствующих опорах.

Описанный выше метод впервые был применен автором<sup>1</sup>. По этому методу были получены при обрыве натяжения оставшихся проводов в первом пролете и усилия, передающиеся на промежуточную опору № 1 для следующих марок проводов и длин пролетов:  $2 \times \text{АСУ } 400$ ,  $l = 450$  м;  $3 \times \text{АСУ } 240$ ,  $l = 420$  м;  $4 \times \text{АСУ } 185$ ,  $l = 405$  м.

Длины пролетов определялись, исходя из одинаковых высот опор. Расчет велся по II району гололедности, т. е. с толщиной стенки гололеда 10 мм.

Число пролетов между анкерными опорами принято 5. Длина гирлянды изоляторов для расщепленных проводов и  $U = 400$  кв взята 5,25 м с весом около 250 кг. Число оборванных проводов в фазе рассматривалось различным, а именно: для проводов марки  $2 \times \text{АСУ } 400$  — обрыв одного провода в фазе; для проводов марки  $3 \times \text{АСУ } 240$  — обрыв одного и двух проводов в фазе; для проводов марки  $4 \times \text{АСУ } 185$  — обрыв одного, двух и трех проводов в фазе.

Полученные натяжения проводов сравнивались с временным сопротивлением  $\sigma_s$  сталеалюминиевого провода и фиктивным напряжением предела упругости  $\sigma_y$  по алюминиевой части провода.

Результаты подсчетов напряжений  $\sigma$  оставшихся необорванными проводами и значений разности натяжений  $\Delta T_0$ , воспринимаемой промежуточной опорой, сведены в таблице.

Из таблицы следует, что обрыв одного провода в фазе дает увеличение напряжения в оставшихся проводах до 12,75—17,9 кг/мм<sup>2</sup>, т. е. составляет 40 ÷ 57 % от временного сопротивления и провода не обрываются. Кроме того, разность натяжений проводов, передающаяся на опору, в этом случае равна 220 ÷ 340 кг.

При обрыве трех проводов в фазе (провод марки  $4 \times \text{АСУ } 185$ ) натяжение в оставшемся

<sup>1</sup> Г. М. Розанов. Диссертация. Линии электропередачи высокого напряжения с расщепленными проводами, 1938.

Марка провода	$\sigma_s$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\sigma_y$ , кг/мм <sup>2</sup>	Обрыв одного провода		Обрыв двух проводов		Обрыв трех проводов	
			$\sigma$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\Delta T$ , кг	$\sigma$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\Delta T$ , кг	$\sigma$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\Delta T$ , кг
$2 \times \text{АСУ } 400$	31,4	14,6	17,9	340	—	—	—	—
$3 \times \text{АСУ } 240$	31,9	14,71	14,0	260	26,2	390	—	—
$4 \times \text{АСУ } 185$	32	14,65	12,75	220	17,8	380	33,5	460



одном проводе становится выше временного сопротивления и он должен оборваться.

Для проводов марки  $2 \times \text{АСУ } 400$  были проведены также расчеты напряжений в оставшемся проводе после обрыва одного из них по условиям требования норм до 1939 г. В этом случае принимался обрыв одного провода при сброшенном гололеде; скорость ветра максимальная и равная  $25 \text{ м/сек}$ ; температура воздуха —  $5^\circ \text{С}$ . Напряжение в оставшемся проводе получилось не превосходящим  $14 \text{ кг/мм}^2$ , что ниже предела упругости провода и составляет 45% от временного сопротивления.

Разность натяжений проводов, передающаяся на опору,  $\Delta T_0 = 230 \text{ кг}$ . Как видно, результаты, полученные по нормам до 1939 г., более благоприятны, чем приведенные выше по нормам 1947 г. Весьма вероятно, что фактическое напряжение в оставшемся проводе АСУ 400 окажется средним из полученных выше и не будет превосходить 50% от временного сопротивления.

При анализе вопроса, связанного с обрывами расщепленных проводов, не учитывалось влияние так называемых распорок или фиксаторов. Фиксаторы применяются для удержания расщепленных проводов в определенном друг от друга расстоянии. Для сталеалюминиевых проводов фиксаторы должны быть выполнены из алюминия. Поскольку при нормальной работе они не несут нагрузки, их конструкция будет очень легкой.

Число фиксаторов принимается различным в зависимости от числа расщепленных проводов в фазе. Для двух проводов в фазе будет достаточно одного или двух фиксаторов.

Если взять провода марки  $2 \times \text{АСУ } 400$ , то максимальное натяжение каждого из них составляет около  $5000 \text{ кг}$ . Весьма сомнительно, чтобы слабые алюминиевые фиксаторы смогли удержать при обрыве сильно напряженный и нагруженный гололедом провод и он, очевидно, по всей длине пролета упадет на землю.

Но, несмотря на высказанные соображения, был произведен подсчет напряжений в оставшемся проводе при расщеплении  $2 \times \text{АСУ } 400$  и в таком маловероятном случае, когда при обрыве провода АСУ 400 он удерживается фикса-

торами. Принимая добавочный вес оборванного провода, покрытого гололедом, равным половине веса пролета провода, мы получили напряжение в оставшемся проводе  $18,5 \text{ кг/мм}^2$  (59% от  $\sigma_0$ ), т. е. несколько больше, чем без учета добавочного веса ( $\sigma = 17,9 \text{ кг/мм}^2$ ). Гирлянда изоляторов в этом случае отклонилась на несколько меньшую величину, а разность натяжений проводов, передающаяся на опору, уменьшилась до  $300 \text{ кг}$ .

Для большего числа проводов в фазе подсчеты напряжений в оставшихся проводах при обрыве одного из них с учетом добавочного веса не проводились. Так как вес оборванного провода распределится на два или три оставшихся провода, то прирост напряжения в проводах не будет большим, чем в приведенном выше случае.

На основании вышеизложенного можно сделать заключение, что для всех рассматриваемых марок проводов обрыв одного провода не вызывает чрезмерных напряжений, могущих привести к их обрыву. Поэтому при аварийном режиме для расщепленных проводов вполне допустимо принимать обрыв только одного провода в фазе. Поскольку разность натяжений проводов, которая будет восприниматься промежуточной опорой, очень невелика ( $\Delta T_0 = 220 \div 340 \text{ кг}$ ), то расчетным случаем опоры при расщепленных проводах окажется нормальный режим. Это поведет к уменьшению, с одной стороны, веса металла промежуточных опор, с другой, — количества дорогостоящих изоляторов, так как вместо двух гирлянд изоляторов на каждую фазу возможно будет применить только одну. Таким образом, линии с расщепленными проводами в совокупности окажутся более экономически выгодными, чем линии обычной конструкции.

#### Литература

1. П. С. Жданов, В. А. Веников и Г. М. Розанов. Электропередачи  $400 \text{ кВ}$  переменного тока. Электричество, № 11, 1948.
2. Ш. А. Бунин. Исключительный случай гололеда в электросетях Северного Кавказа. Электрические станции, № 9, 1948.
3. А. А. Глазунов. Линии электропередачи, ч. 1. Механический расчет проводов и тросов. Изд. МЭИ, 1928.

[28.2.1948.]



# Некоторые исследования применения металлических растворителей плавких вставок предохранителей

Кандидат техн. наук А. М. МЕЛЬКУМОВ

Всесоюзный электротехнический институт им. Ленина

Количество энергии, которую необходимо передать плавкой проволоке для доведения ее до плавления и испарения, невелико и измеряется обычно десятками и сотнями ватт-секунд. Однако, при медленном нагреве проволоки вследствие теплоотдачи в окружающую среду количество энергии, выделяемой внутри предохранителя, весьма возрастает. При бесконечно медленном повышении температуры плавкой проволоки почти вся выделяемая энергия будет отдаваться в окружающую среду и температуру отдельных элементов предохранителя в различные моменты времени можно считать установившейся. Тогда соотношения между температурами отдельных элементов предохранителя могут быть определены из условий установившегося нагрева.

На рис. 1 приведены установившиеся температуры перегрева отдельных элементов предохранителя с кварцевым песком в зависимости от линейной нагрузки патрона (линейной нагрузкой мы назвали энергию, выделяемую на 1 см длины патрона), полученные расчетным путем. В области до 200—300°С эти данные проверены экспериментально и хорошо совпадают с результатами опытов. Как видно из рис. 1, при весьма медленном плавлении проволоки, т. е. при токах, близких к минимальному плавящему, может иметь место нагрев фарфоровых элементов

Приведены результаты исследований плавких вставок с металлическими растворителями для высоковольтных и низковольтных предохранителей. Приведены данные о влиянии материала и количества растворителя, характера нагрузки и условий эксплуатации на характеристики плавления вставок предохранителей. Описан способ фиксации шарика растворителя на проволоке, затрудняющий спадание шарика при его расплавлении.

предохранителя до очень высоких температур (600 ÷ 700°С), опасных для этих элементов. С уменьшением времени плавления плавкой проволоки суммарное количество энергии, выделен-

ной в процессе нарастания температуры, будет уменьшаться, и температуры которых достигнут отдельные элементы предохранителя, также будут ниже. На рис. 2 показано примерное соотношение температур, достигаемых к моменту плавления при различных временах плавления. Наиболее высокие температуры на фарфоре получаются при бесконечно медленном плавлении (кривая  $t_{nn} \approx \infty$ ). При чрезвычайно малых временах плавления (кривая  $t_{nn} \approx 0$ ), когда теплоотдача с поверхности проволоки не проявляется, температура остальных частей патрона за время плавления не возрастает. При промежуточных значениях времени плавления глубина проникновения тепла будет различной (кривые  $t_1$  и  $t_2$ ). Температура при этом не будет превышать значения, соответствующего  $t_{nn} \approx \infty$ , однако перепад температуры в толще фарфора может быть большим (кривая  $t_1$ ).

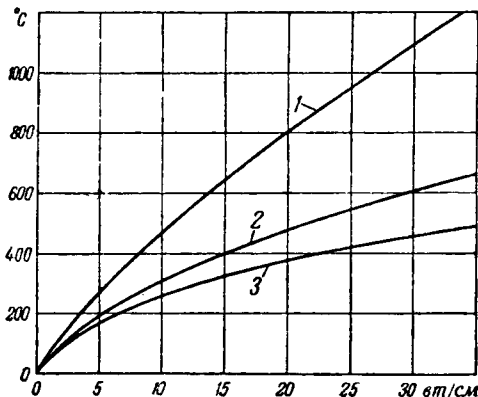
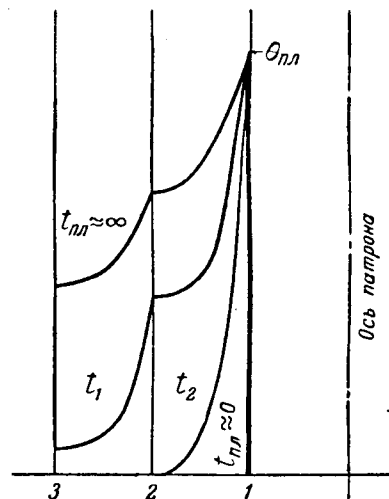


Рис. 1. Температура установившегося перегрева элементов предохранителя с кварцевым песком в зависимости от линейной нагрузки.

1 — плавкая вставка (средняя температура); 2 — внутренняя поверхность кожуха; 3 — наружная поверхность кожуха.

Рис. 2. Распределение температур по сечению патрона для различных времен плавления вставки.

1 — окружность расположения вставки; 2 — внутренняя поверхность кожуха; 3 — наружная поверхность кожуха.



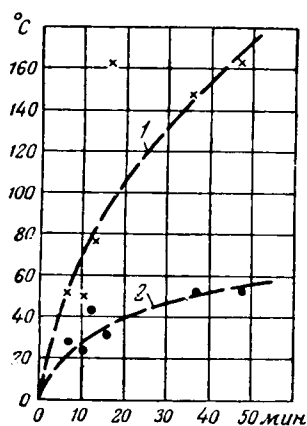


Рис. 3. Температура перегрева внутренней 1 и наружной 2 поверхности фибровой трубки предохранителя в момент плавления вставки в зависимости от времени плавления.

Таким образом, тепловая нагрузка патрона зависит не только от количества выделенной в нем энергии, но и от скорости выделения ее. Наиболее опасными в этом отношении будут токи, близкие к минимальному плавящему.

Такая же картина наблюдается и в предохранителях с газовыделяющими трубками. Температура перегрева внутренней поверхности трубки при большом времени плавления достигает величин, превышающих температуру разложения газовыделяющего материала (рис. 3). В результате этого происходит преждевременное газовыделение или даже обугливание (в случае фибры) или размягчение (в случае полиметилметакрилата) газовыделяющего материала, отрицательно отражающееся на дугогасящей способности предохранителя.

Чтобы предупредить тепловое разрушение предохранителя, применяются специальные меры, понижающие среднюю температуру плавкой вставки к моменту ее перегорания. Например, применение на плавких вставках небольших участков уменьшенного сечения приводит к плавлению вставки на этих участках при сравнительно низкой температуре остальной части вставки. Одной из таких мер, получивших применение в последние годы, является использование металлических растворителей. Этот метод чрезвычайно прост и имеет значительные преимущества в применении к вставкам из проволок небольшого диаметра, для которых, например, сужение сечения представляет значительные технологические трудности.

Сущность этого метода снижения средней температуры вставки заключается в том, что некоторые легкоплавкие металлы (олово, свинец и др.) в расплавленном состоянии способны растворять в себе более тугоплавкие металлы (медь, серебро). Получающийся сплав обладает иными характеристиками по сравнению с исходными металлами. Это может быть использовано для снижения температуры плавкой проволоки в момент ее перегорания. Небольшой шарик из легкоплавкого металла, надетый на плавкую проволоку из более тугоплавкого металла, расплавляется при достижении температуры плавления легкоплавкого металла и, растворяя проволоку, повышает ее сопротивление в

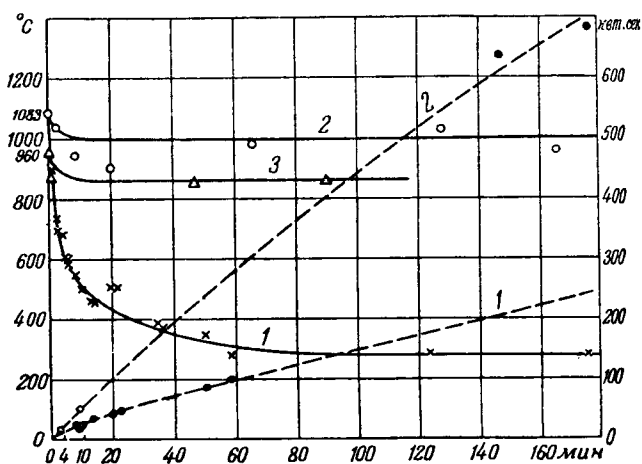


Рис. 4. Средняя температура плавкой проволоки (сплошные кривые) и энергия, выделенная ею в зависимости от времени плавления.

1 — для медной проволоки с шариком растворителя; 2 — для медной проволоки без растворителя; 3 — для серебряной проволоки без растворителя.

данном месте (как бы «суживает» ее), что приводит к ускорению перегорания проволоки.

Для растворения расплавленным шариком материала проволоки необходимо некоторое время. По мере увеличения времени все полнее происходит растворение материала проволоки, и температура в момент перегорания ее приближается к температуре шарика. При больших плотностях тока, когда нагрев проволоки происходит быстро, растворитель не успевает подействовать, и температура проволоки достигает температуры плавления ее материала.

На рис. 4 приведены результаты произведенного нами измерения средней температуры плавкой проволоки, расположенной в кварцевом песке, в зависимости от времени плавления при применении растворителя и без него. Опыты производились с проволокой диаметром 0,25 мм с шариком растворителя из сплава олова и свинца (температура плавления  $t_{пл} = 182^\circ\text{C}$ ). Средняя температура проволоки вычислялась по ее сопротивлению, измеренному методом падения напряжения. Из данных рис. 4 видно, что средняя температура проволоки без растворителя в момент плавления при времени плавления больше 10 мин. не зависит от времени и составляет около  $1000^\circ\text{C}$  для меди и около  $860^\circ\text{C}$  для серебра, т. е. мало отличается от температуры плавления этих материалов. При применении растворителя средняя температура проволоки уменьшается с увеличением времени плавления вначале резко, затем медленнее, приближаясь к некоторой величине, соответствующей температуре плавления материала шарика.

В интересующих нас пределах времени плавления (больше 30 мин.) растворитель снижает среднюю температуру в момент плавления проволоки до  $280 \div 400^\circ\text{C}$ . В соответствии с этим согласно рис. 1 и 2 температура на фарфоровом кожухе предохранителя не будет превышать  $200^\circ\text{C}$ . Таким образом, применение раствори-

теля в предохранителях с кварцевым песком снижает тепловую нагрузку их до безопасных пределов.

Применение растворителя плавкой проволоки в предохранителях ново и, естественно, возник ряд вопросов: какой материал целесообразнее применить для растворителя, каких размеров должен быть шарик растворителя, как влияют на характеристики плавления проволоки окружающая среда, характер нагрузки и условия эксплуатации. Ответ на эти вопросы дают приведенные ниже результаты наших исследований.

**Влияние материала растворителя.** Материал шарика, наплавленного на плавкую проволоку, оказывает существенное влияние на характеристики. В самом деле, чем ниже будет температура плавления материала шарика, тем соответственно меньше энергии выделится в проволоке до момента плавления и ниже будут температуры окружающих элементов. С другой стороны, чем ниже будет температура плавления материала шарика, тем ниже должны быть допускаемые при длительной нагрузке температуры, а следовательно, для одной и той же нагрузки больше должно быть сечение проволоки. Таким образом, с точки зрения нормальной нагрузки предохранителя желательно иметь шарик растворителя из материала, имеющего как можно более высокую температуру плавления.

С другой стороны, чем выше температура плавления материала шарика, тем выше и средняя температура плавкой проволоки к моменту плавления и тем больше будет выделено ею энергии, а следовательно, и больше окажется перегрев окружающих ее элементов. Таким образом, верхний предел температуры плавления материала шарика не может быть выбран произвольно, а определяется условиями нагрева окружающих плавкую вставку элементов и допускаемыми для них температурами.

Сравнительное испытание серебряных проволок диаметром 0,2 мм с шариками из сплава олова со свинцом ( $t_{пл} = 182^\circ\text{C}$ ) и олова ( $t_{пл} = 232^\circ\text{C}$ ) показало, что разница между минимальным плавящим током для сплава и для олова невелика (соответственно 9,4 и 9,9 а, при минимальном плавящем токе серебряной проволоки того же диаметра без растворителя — 13,4 а). Попытки нанести свинцовый шарик на серебряную проволоку не удалась, так как проволока в момент соприкосновения с шариком быстро перегорала или изменялась настолько, что опыты с ней были лишены смысла.

Хотя применение свинца и затруднено из-за трудности спайки его с серебром, однако для проверки его поведения были сделаны сравнительные опыты со сплавом, с оловом и со свинцом на медных проволоках. Соотношения минимального плавящего тока для сплава, олова и проволоки без растворителя аналогичны соотношениям, полученным на серебре. Свинец дает минимальный плавящий ток, близкий к проволоке без растворителя. Возможно, что это является следствием плохой спайки свинца с медью.

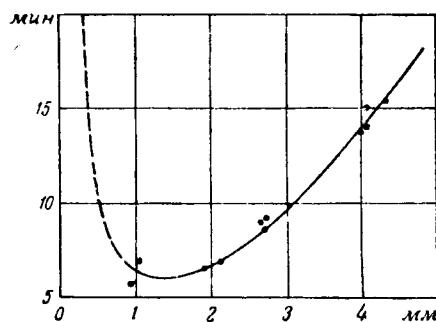


Рис. 5. Зависимость времени плавления проволоки от диаметра шарика растворителя.

Небольшая разница, получающаяся при применении олова или сплава, позволяет применить в качестве растворителя олово как более определенный материал. Повышение температуры нагрева плавкой проволоки к моменту плавления при этом невелико и, как показали многочисленные опыты, допустимо для предохранителей. В то же время применение олова позволяет несколько повысить допускаемую температуру при длительной нормальной нагрузке.

**Влияние диаметра шарика.** Размер шарика растворителя также оказывает влияние на характеристики плавкой проволоки. При очень малом шарике заключенного в нем материала будет недостаточно для полного растворения проволоки заданного диаметра. Процесс расплавления будет протекать, следовательно, при увеличенном времени и более высоких средних температурах. При очень большом шарике начинает сказываться теплоотдача с его поверхности, что также приводит к увеличению времени плавления и средней температуры проволоки.

Мы наблюдали, например, при диаметрах шарика свыше 4 мм, что медная проволока в воздухе раскалялась докрасна в средней части между местом заделки и шариком, а олово все еще не плавилось.

По литературным данным при серебряной проволоке диаметром 0,25 мм и шариках из сплава олова со свинцом ( $182^\circ\text{C}$ ) диаметром 0,8 мм и меньше уменьшение диаметра шарика приводит к резкому увеличению времени плавления, почему было рекомендовано применение шариков диаметром не менее 0,64 мм.

Наши исследования, проведенные с медной проволокой диаметром 0,25 мм и шариками из сплава олова со свинцом ( $t_{пл} = 182^\circ\text{C}$ ) диаметром от 0,9 до 4,3 мм, показывают, что и с увеличением диаметра шарика выше 2 мм также наблюдается значительное увеличение времени плавления. Результаты наших исследований приведены на рис. 5. Пунктирная часть кривой нанесена на основании литературных данных. Явно выражен минимум времени плавления при диаметре шарика 1–2 мм.

Таким образом, наши исследования показывают, что наиболее благоприятным является применение в предохранителях шариков растворителя диаметром около 1,5 мм. Изменение

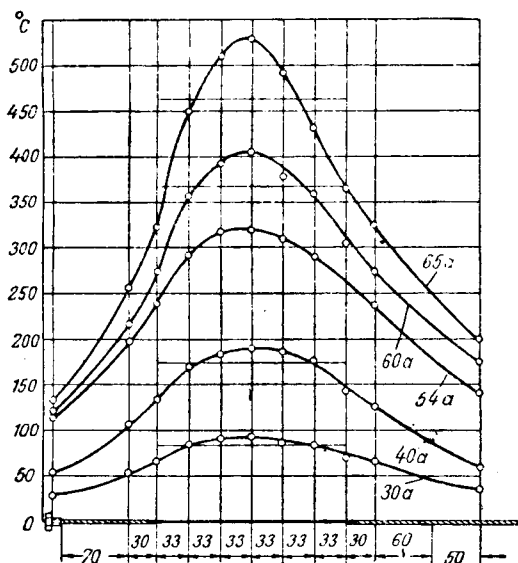


Рис. 6. Распределение температуры вдоль плавкой вставки, расположенной в фибровой трубке. При кривых указаны значения тока. Горизонтальные линии дают соответствующую среднюю температуру проволоки. Размеры по длине проволоки — в миллиметрах.

диаметра шарика от 1 до 2 мм почти не влияет на характеристики плавкой проволоки; это облегчает технологический процесс нанесения шарика на проволоку при массовом производстве, так как при этом большой точности выполнения величины шарика не требуется.

С увеличением диаметра плавкой проволоки наиболее благоприятный размер шарика растворителя также должен увеличиваться. Это связано с необходимостью растворить больший объем металла проволоки, для чего необходим и больший объем растворителя. По нашим исследованиям шарик диаметром 1,5 мм может быть применен без существенного влияния на изменение характеристик для проволок диаметром до 0,6 мм. При больших диаметрах проволоки (до 1 мм) целесообразно увеличить диаметр шарика до 2 ÷ 2,5 мм.

**Влияние процесса нанесения растворителя.** Процесс нанесения шарика растворителя на плавкую проволоку также может оказывать влияние на характеристики плавления. В процессе нанесения шарика проволока некоторое время находится в контакте с расплавленным материалом растворителя, вследствие чего уже начинается частичное растворение материала проволоки. Чем большее время будет продолжаться этот процесс, тем глубже проникнет процесс растворения в толщу проволоки, тем больше, следовательно, изменятся характеристики плавления ее. Чтобы характеристики плавких проволок получались однозначными, желательно время контакта плавких проволок с растворителем при нанесении шарика иметь одинаковым и по возможности малым.

Хорошо иллюстрируют влияния процесса нанесения шарика на характеристики плавления результаты следующих проделанных нами опытов. Сразу же после напайки шарик раствори-

теля сбрасывался с плавкой проволоки, так что на месте расположения шарика оставался лишь тонкий слой полуды. При снятии характеристик плавления таких проволок оказалось, что при времени плавления меньше 1 мин. они полностью совпадают с характеристиками проволок с нормальным шариком растворителя. При больших временах плавления такого совпадения уже не наблюдалось. Это явление не может быть результатом действия оставшейся на поверхности проволоки полуды, так как при этом характеристика плавления должна согласно рис. 5 лежать значительно выше и, следовательно, является результатом контакта проволоки с расплавленным оловом за то небольшое время, пока напавался и сбрасывался шарик растворителя.

**Влияние места расположения шарика.** Нагрев в различных точках длины плавкой вставки неодинаков. Температура уменьшается от середины проволоки к местам ее заделки. На рис. 6 приведены снятые нами кривые распределения температуры вдоль плавкой проволоки. Нетрудно видеть, что при расположении шарика в различных местах плавкой проволоки температура плавления его будет достигаться при соответственно различных величинах тока. Это дает возможность достигать некоторых изменений характеристики плавления путем смещения места расположения шарика, причем смещение его от середины проволоки будет увеличивать время плавления при заданном токе и притом тем больше, чем дальше смещается шарик. Это указывает также на необходимость фиксации места напайки шарика для получения однозначных характеристик партии предохранителей на один и тот же номинальный ток.

**Влияние характера нагрузки.** При длительной нагрузке номинальным током плавкая проволока не претерпевает каких-либо изменений, так как процесс растворения не проявляется, а низкая температура нагрева проволоки исключает вопрос об окислении ее.

Для проверки поведения плавкой вставки с растворителем были предприняты опыты с длительной нагрузкой током, мало отличающимся от минимального плавящего. Медная проволока диаметром 0,19 мм с шариком из сплава олова со свинцом ( $t_{пл} = 182^\circ\text{C}$ ), имеющая минимальный плавящий ток около 8 а, подвергалась нагрузке сначала в течение 2,5 час. током 8 а, затем 2 час. — током 7,9 а, 1,5 часа током 7,8 а и затем 4 дня подряд в течение 6 час. ежедневно током 7,3 а. Средняя температура проволоки при этом была около  $190^\circ\text{C}$ . Ежедневно в процессе этих испытаний измерялось сопротивление проволоки как в холодном, так и в горячем состоянии, причем каких-либо изменений сопротивления не было замечено.

Эти данные свидетельствуют об отсутствии старения проволоки с растворителем при нагрузках меньше минимального плавящего тока.

При перегрузках, достигающих минимального плавящего тока или немного больших, перегрузка может исчезнуть еще до плавления про-

волок; тогда частично имевший место и оставшийся незавершенным необратимый процесс растворения плавкой проволоки будет продолжен при следующей перегрузке, причем времени для его завершения, естественно, потребуется меньше. Мы наблюдали случай, когда в предохранителе на 50 а, нагруженном током 70 а в течение 3 час. и затем охлажденном, при повторном включении на ток 70 а, плавкая вставка перегорала за 15 мин.

Таким образом, при перегрузках, превышающих минимальный плавящий ток, происходит изменение характеристики плавкой вставки. Такое изменение характеристики имеет место в аналогичных условиях и в обычных предохранителях (вследствие окисления проволоки).

**Использование плавких вставок с растворителем.** Плавкие вставки с растворителем могут быть использованы как в предохранителях с кварцевым песком, так и в предохранителях с газовыделяющей трубкой; при этом, однако, имеется существенное различие в условиях работы растворителя. Шарик растворителя, расположенный в кварцевом песке, окружен твердой средой, препятствующей смещению его в расплавленном состоянии; в воздухе же он удерживается лишь благодаря молекулярному сцеплению и может спадать, особенно при вибрации или тряске. Естественно, что спадание шарика, приводящее к прекращению действия растворителя, будет сильно изменять характеристики плавления.

Опыты, сделанные нами с плавкой проволокой диаметром 0,2 мм, показали, что в воздухе, даже при отсутствии вибрации, имеет место спадание шарика растворителя, нанесенного на прямую проволоку, в момент расплавления его. При этом наблюдался чрезвычайно большой разброс времени плавления, иногда от нескольких секунд до многих десятков минут. Вместе с тем разница в величине минимального плавящего тока оказалась небольшой (7,6 а с растворителем и 8 а без него).

При опытах с прямой проволокой диаметром 0,55 мм случаев спадания шарика растворителя при отсутствии вибрации не наблюдалось. Здесь мы имеем большую поверхность сцепления шарика при несколько меньшем его весе. Однако, при наличии вибрации шарик сбрасывается с проволоки почти сейчас же после расплавления и на ней остается тонкий слой полуды. Это приводит к резкому изменению характеристики и большому разбросу времени плавления (от десятков секунд до часов) при некоторых значениях тока.

На рис. 7 приведены характеристики плавления медной проволоки без растворителя и с растворителем без вибрации и при вибрации. Кривые рис. 7 показывают, как сильно изменяется характеристика плавления в воздухе проволоки с растворителем. Такое изменение характеристик недопустимо, так как один и тот же предохранитель может находиться в разное вре-

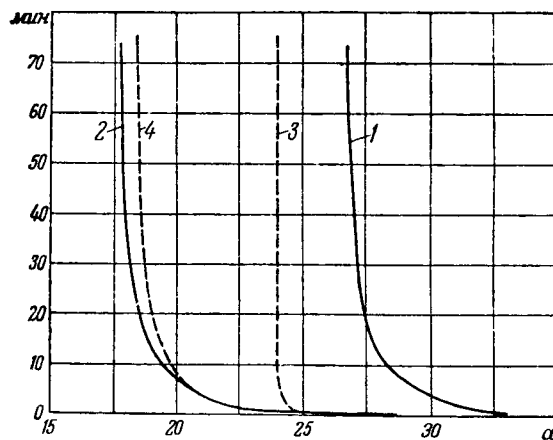


Рис. 7. Характеристики плавления медной проволоки в воздухе.

1 — без растворителя; 2 — с растворителем в спокойном состоянии; 3 — с растворителем при вибрации; 4 — с растворителем на петельке при вибрации.

мя в различных условиях вибрации, вплоть до полного отсутствия таковой.

Сбрасывание шарика растворителя затрудняется, если его поместить внутри петельки (один разомкнутый виток), сделанной на плавкой проволоке. Опыты с такими проволоками показали, что даже при вибрации с амплитудой колебания 5 ÷ 6 мм имеет место (и то не всегда) сбрасывание после плавления лишь небольшой части олова.

В соответствии с этим и характеристика плавления проволоки с петелькой при наличии сильной вибрации (рис. 7, кривая 4) почти совпадает с характеристикой при отсутствии вибрации (кривая 2). Небольшое различие вызвано, вероятно, не столько сбрасыванием части олова, сколько усиленным охлаждением проволоки вследствие вибрации.

При вибрации с амплитудой колебаний в 1 ÷ 2 мм не наблюдалось сбрасывания даже части олова, поэтому можно полагать, что в эксплуатационных условиях изменения характеристики плавления будут еще меньше.

Таким образом, устройство на плавкой проволоке петельки, в которой помещается шарик растворителя, позволяет использовать плавкие вставки с растворителем и для работы в предохранителях с газовыделяющими трубками.

Устройство петелек на проволоке представляет также и некоторые технологические удобства: фиксируется место положения шарика и облегчается напайка его. Это дает основание применять петельки и в предохранителях с мелкозернистым наполнением.

Растворители могут применяться и на ленточных плавких вставках, применяемых для низковольтных предохранителей. В этом случае фиксация местоположения и защита от сбрасывания при вибрациях может быть осуществлена устройством продольной или поперечной окладки в заданном месте ленты.

[21. 10. 1948]

# Электрическое спаривание осей при электрической тяге

Доктор техн. наук, проф. Д. К. МИНОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

**Электрическое спаривание осей.** Для полного использования сцепного веса локомотива необходимо, чтобы при отсутствии буксования или юза тяговые усилия, передаваемые на оси, были пропорциональны силам сцепления их колес с рельсами, что характеризуется следующим соотношением:

$$F_{1i} : F_{2i} : F_{3i} \dots = \\ = \psi_{10} \Pi_{1i} : \psi_{20} \Pi_{2i} : \psi_{30} \Pi_{3i} \dots; \quad (1)$$

Здесь  $F$  — тяговое усилие;  $\Pi$  — вертикальная нагрузка оси на путь;  $\psi$  — коэффициент сцепления. Индексы указывают: 1, 2, 3...  $i$  — порядковый номер оси;  $i$  — мгновенное значение величины; 0 — отсутствие жесткого скольжения<sup>1</sup> колес по рельсам. Все три величины  $i$ -той оси ( $F_{ii}$ ,  $\Pi_{ii}$  и  $\psi_{ii}$ ) могут иметь взаимные отклонения: а) устойчивые и б) переменные.

При групповом приводе взаимные отклонения тяговых усилий, передаваемых на движущие оси, определяются деформациями их спарников. Эти деформации автоматически обеспечивают равенство (1). Наоборот, индивидуальный привод, не оказывая регулирующего влияния на тяговые усилия движущих осей, может привести к сильному недоиспользованию сцепного веса. Весьма неблагоприятно проявляются эти свойства в электровозах с малой продольной устойчивостью (в особенности при колесных формулах:  $B_0$ ,  $B_0-B_0$ ,  $C_0$ ), так как в этом случае под влиянием устойчивых и переменных составляющих мгновенные нагрузки движущих осей получают резкие расхождения. По данным шведских железных дорог для таких электровозов, в пределах скоростей движения от 0 до 40 км/час, тяговые усилия на 1 т сцепного веса при индивидуальном приводе на 37—33% ниже, чем при групповом [Л. 4]. В противном случае при индивидуальном приводе проявляется буксование колес, при-

Теоретически<sup>2</sup> и экспериментально исследуется схема зависимого включения возбуждения тяговых двигателей, обеспечивающих при буксовании колес одной из осей резкое падение тягового усилия этой оси при одновременном его повышении для другой связанной с ней электрически осью. Показывается, что в результате применения таких схем может быть получено распределение тягового усилия между спаренными осями, обеспечивающее максимальное использование сцепного веса локомотива и ограничение буксования колес. После анализа свойств, присущих вообще схемам электрического спаривания, автор выделяет их слабые места, устранение которых приводит к оригинальной схеме автора. Приводится методика расчета элементов этой схемы и сведения об ее лабораторном испытании. Работа была доложена на конференции факультета электрификации промышленности и транспорта МЭИ в апреле 1947 г.

водящее к снижению коэффициента сцепления и вредным износам.

Однако, электрическая тяга позволяет полностью устранить этот недостаток и добиться при индивидуальном приводе выполнения равенства (1) при помощи зависимого включения тяговых двигателей, в результате чего получается электрическое спаривание осей локомотива. Регулирующим фактором схемы является

процесс проскальзывания колес лимитирующей оси по рельсам, однако можно полагать, что это проскальзывание происходит с такими малыми скоростями, при которых коэффициент сцепления практически не снижается и износы мало заметны. С другой стороны, скольжение колес лимитирующей оси приводит к отклонению скоростей вращения двигателей, имеющих зависимое включение, вследствие чего в их контуре возникнет неравнительный ток, приводящий к резкому снижению тягового усилия лимитирующей оси, излишек которого сбрасывается на электрически связанную с ней (компенсирующую) ось. Принципиальная схема электрического спаривания представлена на рис. 1, которая применима к серийным и компаундным двигателям постоянного, а также и однофазного тока, т. е. для подавляющего большинства систем двигателей, нашедших себе применение в электрической тяге. Настоящая статья является результатом теоретического и лабораторного исследования этих схем при постоянном токе. В статье принята терминология и обозначения согласно работам автора [Л. 2 и 3].

**Характеристики буксования и их построение.** Оценку жесткости электрического спаривания осей наиболее полно можно осуществить с помощью характеристик буксования, дающих зависимости тяговых усилий лимитирующей и компенсирующей осей в функции от скорости скольжения колес лимитирующей оси (рис. 2).

<sup>1</sup> Виды скольжения колес рассмотрены в следующем разделе.

Условимся в дальнейшем отмечать величины, относящиеся к лимитирующей оси, индексом 1, а к компенсирующей — индексом 2. Зависимости  $F_{1i}$  и  $F_{2i}$  от  $u_i$  позволяют сделать следующие выводы, характеризующие систему спаривания:

1) установить зависимость скорости скольжения лимитирующей оси  $u_i$  от времени  $t$  при известном нам законе изменения ее вертикальной нагрузки на путь;

2) проверить наличие качения колескомпенсирующей оси без жесткого скольжения, для чего необходимо условие

$$F_{2i} \leq \psi_{20} \Pi_{2i};$$

3) выразить закон изменения результирующего тягового усилия спаренных осей  $(F_1 + F_2)_i$  от времени.

Нарушение условия (пункта 2) делает электрическое спаривание бесполезным для целей повышения тягового усилия электровоза.

Изучение характеристик буксования будем проводить применительно к схемам рис. 1. На этом рисунке представлены три цепи тяговых двигателей, из которых каждый приводит одну из трех движущих осей, имеющих одинаковые с ними номера. Цепи 1 и 2 обеспечивают электрическое спаривание своих осей с помощью зависимого включения серийных обмоток возбуждения их двигателей. Эти обмотки разбиты на две секции с числом витков на пару полюсов  $2w'_i$  и  $2w''_i$ . Для  $i$ -того двигателя

$$2(w'_i + w''_i) = 2w_i.$$

В первых двух цепях витки  $2w'_i$  (первичные серийные) включены последовательно с собственным якорем, а витки  $2w''_i$  (вторичные серийные) последовательно с якорем другой цепи. Концы цепей имеют уравнивательные соединения и образуют элемент схемы из двух параллельно включенных двигателей. Элементы схемы могут соединяться последовательно между собой и с пусковым сопротивлением. Такое включение на рис. 1 учитывается двумя параллельно включенными сопротивлениями  $r_0$ , помещенными между токоприемником и первым уравнивательным соединением [подробнее см. ниже (8)].

Для сравнительной оценки эффекта спаривания вводится в рассмотрение третья цепь, двигатель которой имеет вполне независимое включение от двигателей других цепей. Вследствие этого третья ось имеет

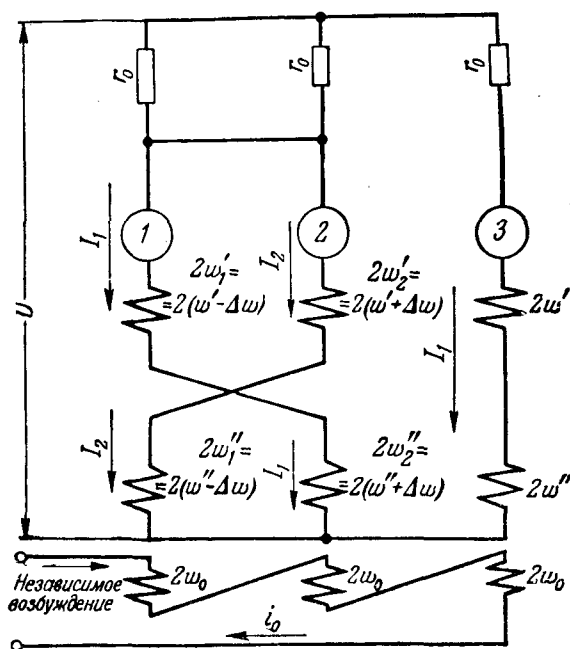


Рис. 1. Схемы зависимого (цепи 1 и 2) и независимого (цепь 3) включения тяговых двигателей.

привод, не зависящий от других осей ни механически, ни электрически.

Помимо серийных обмоток двигателя могут иметь обмотки независимого возбуждения, причем сначала мы полагаем, что эти обмотки во всех трех цепях развивают постоянные по величине и равные м. д. с.  $2w_0 i_0$ . В дальнейшем вводится в рассмотрение намагничивающий ток возбуждения, приведенный к полным серийным виткам. Для  $i$ -того двигателя этот ток

$$I_{bi} = \frac{AW_{si} - AW_0}{w},$$

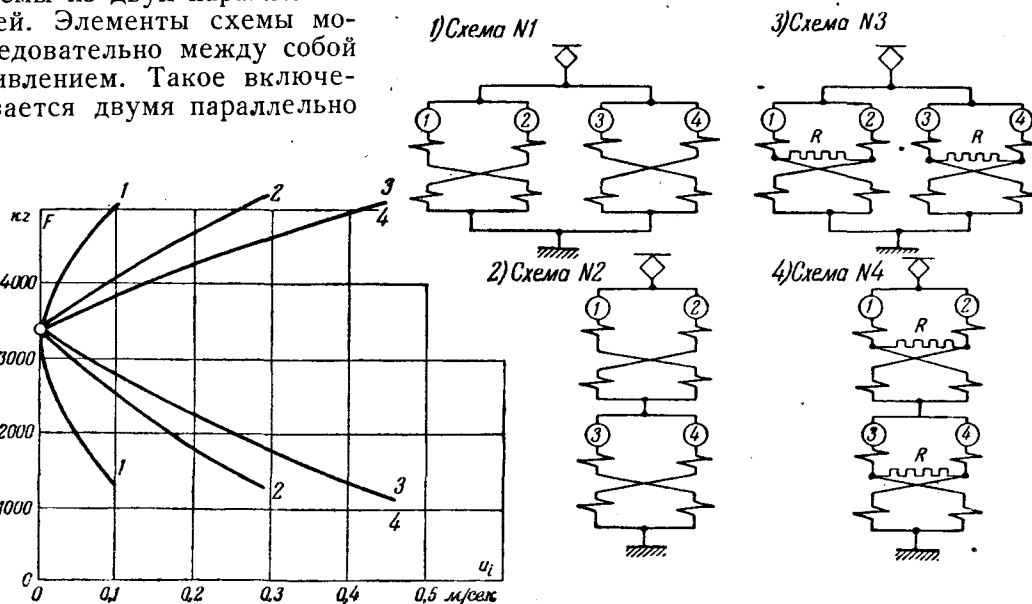


Рис. 2. Характеристики буксования.



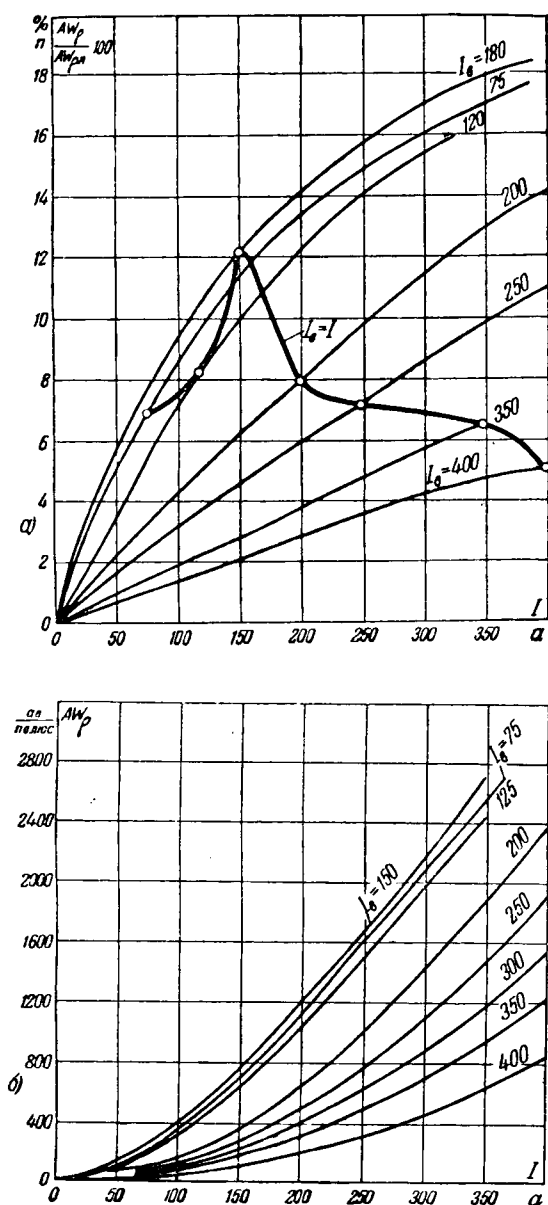


Рис. 3. Зависимости размагничивающих витков реакции якоря от тока якоря для двигателя ДПЭ-340.

где  $AW_{ei}$  — полная м. д. с. обмоток возбуждения  $i$ -того двигателя;

$AW_{fi}$  — ампервитки главных полюсов, компенсирующие размагничивающее влияние на магнитный поток двигателя поля реакции якоря и поля короткозамкнутых секций. Все величины в формуле (1) отнесены к одному полюсу.

В случае отсутствия точных данных величину  $AW_{ei}$  можно установить, пользуясь кривыми А. Б. Иоффе, полученными путем обработки результатов испытаний тяговых и крановых двигателей, выполненных на заводе „Динамо“ [Л. 5]. Кривые дают зависимость между: а) размагничивающими ампервитками поперечного поля реакции якоря и поля короткозамкнутых секций, выраженными в процентах от полных;

б) полными витками реакции якоря, выраженными в процентах от ампервитков возбуждения. Каждая зависимость соответствует определенным значениям индукции в зубцах. По расчетной записке легко найти соответствующие значения результирующего тока возбуждения  $I_e$ , т. е. получить зависимости  $AW_p$  от тока якоря  $I$  при различных значениях тока возбуждения ( $I_e = \text{const}$ ). Такая обработка кривых А. Б. Иоффе применительно к двигателю ДПЭ-340 выполнена на рис. 3, а и б. На рис. 3, а представлены кривые  $AW_p$  (в процентах от полной м. д. с. реакции якоря  $AW_{p.я}$ ) в зависимости от  $I$  для ряда значений тока возбуждения. На том же рисунке соединены плавной кривой точки, соответствующие  $I_e = I$  — серийное включение обмоток возбуждения. Пользуясь этими кривыми, можно оценить размагничивающее влияние реакции якоря в виде дополнительных витков  $\Delta w_i$  на каждый полюс, обтекаемых током якоря  $I_i$  и создающих продольное поле, противоположное полю главных полюсов. Согласно этому определению для искомой величины имеем следующее выражение:

$$\Delta w_i = \frac{dAW_{ei}}{dI_i}. \quad (2)$$

При определении  $\Delta w_i$  следует задаваться конечными приращениями тока якоря и находить соответствующие им приращения  $\Delta w_{ei}$ , учитывая при этом функциональную зависимость  $I_e$  от  $I$ . Таким образом, начальное и конечное значения  $AW_{ei}$  лежат на разных кривых, первое соответствует  $(I_{ei})_{нч}$ , а второе  $(I_{ei})_{кн}$ . В излагаемом ниже методе конечных разностей для построения характеристик буксования мы принимаем постоянные значения  $\Delta w_1$  и  $\Delta w_2$  в пределах каждого элемента времени со скачкообразными изменениями при переходе к следующему, причем для исследуемого элемента известны начальные значения токов возбуждения первого и второго двигателей  $(I_{e1})_{нч}$  и  $(I_{e2})_{нч}$ . В таком случае ожидаемые приращения токов возбуждения с достаточной для данной цели точностью легко найти, воспользовавшись выведенными ниже формулами (4), (5') и (5''), на основе упрощения которых имеем:

$$\frac{\Delta I_{e1}}{\Delta I_1} \approx \frac{w' - w''}{w'} \quad \text{и} \quad \frac{\Delta I_{e2}}{\Delta I_2} = 0,$$

где

$$w' = \frac{w'_1 + w'_2}{2} \quad \text{и} \quad w'' = \frac{w''_1 + w''_2}{2}.$$

При отсутствии расчетной записки двигателя грубо приближенные значения  $\Delta w_i$  могут быть найдены, пользуясь универсальной характеристикой размагничивающих ампервитков реакции якоря, предложенной В. Н. Богоявленским [Л. 7].

Переходим к изложению метода построения характеристик буксования. В основу метода положены следующие допущения и ограничения:

1. Кривые намагничивания двигателей, дающие зависимость удельной э. д. с.  $e_i$  от намагничивающего тока  $i$ -того двигателя  $I_{ai}$  известны. В рабочих пределах изменения тока возбуждения каждая из этих кривых может быть спрямлена, как это показано на рис. 4. Кривые намагничивания двигателей могут иметь небольшие взаимные отклонения, причем для любого значения  $I_g$  соблюдены условия

$$\frac{e_1 + e_2}{2} = e_3 = e \text{ и } \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \beta_3 = \beta,$$

где

$$\beta_i = \frac{\Delta e_i}{\Delta I_{ai}}.$$

Под удельной э. д. с.  $i$ -того двигателя здесь подразумевается отношение его э. д. с.  $E_i$  к окружной скорости колес приводимой им оси  $v_{ii}$ :

$$e_i = \frac{E_i}{v_{ii}}.$$

2. Цепи включены параллельно на напряжение  $U = \text{const}$ . Пусковые сопротивления на каждую из цепей равны  $r_0$ ; сопротивления цепей могут быть различными:  $r_1 \neq r_2 \neq r$ , причем

$$\frac{r_1 + r_2}{2} = r = r_3.$$

3. До наступления буксования окружные скорости всех колес равны  $v_0$ . Ток и тяговое усилие третьего двигателя равны среднеарифметическим значениям от соответствующих величин для двигателей спариваемых осей:

$$\frac{I_{10} + I_{20}}{2} = I_0 = I_{30} \text{ и } \frac{F_{10} + F_{20}}{2} = F_0 = F_{30}.$$

Индекс нуль попрежнему отмечает отсутствие жесткого скольжения колес ( $u_{si} = 0$ ).

Окружная скорость движущего колеса, не имеющего жесткого скольжения  $v_0$ , в действительности отличается от скорости локомотива  $v_L$  на величину  $u_{yn}$ , являющуюся результатом взаимного упругого проползания волокон колеса по рельсу, вследствие чего имеем:

$$v_L = v_0 - u_{yn},$$

где  $u_{yn} > 0$  при тяге и  $u_{yn} < 0$  при тормозном режиме [Л. 2]. Можно считать установленным, что в зоне нарастания  $\psi_0$ :  $u_{yn} \equiv v_0 F$ . Максимум  $\psi_0$  соответствует  $u_{yn}$  порядка 0,3% от  $v$ . Попытка дальнейшего увеличения  $F$  приводит к появлению жесткого скольжения со скоростью  $u_s$  с сопутствующим снижением коэффициента сцепления.

Таким образом, результирующая скорость скольжения колеса  $u = u_{yn} + u_s$ .

В последующем, полагая, что все колеса локомотива имеют равные значения  $u_{yn}$ , ради

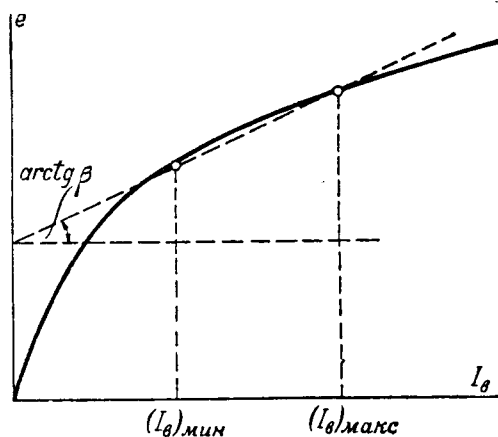


Рис. 4. Спрямоление кривой намагничивания.

простоты мы пренебрегали явлением упругого скольжения колес как неизбежным, что дает  $u_{yn} = 0$  и  $v_0 = v_L$ . В таком случае  $u = u_s$  учитывает исключительно жесткое скольжение и специальной оговорки об этом не делается.

4. Для учета возможности исправления тяговых характеристик полагаем, что соответствующие серийные обмотки двигателей могут иметь разные числа витков, удовлетворяющие условиям:

Двигатель	Число серийных витков возбуждения на 1 полюс		
	первичных	вторичных	полных
1	$w'_1 = w' - \Delta w$	$w''_1 = w'' - \Delta w$	$w - \Delta w$
2	$w'_2 = w' + \Delta w$	$w''_2 = w'' + \Delta w$	$w + \Delta w$
3	$w$	0	$w$

5. Принято, что скорость локомотива  $v_L = v_0$  постоянна, колеса 1-й и 3-й осей скользят по рельсам с соответствующими скоростями  $u_1$  и  $u_3$ , а колеса 2-й оси катятся без скольжения. Мгновенные значения окружных скоростей колес следующие:

$$v_{i1} = v_0 + u_1 \quad v_{i3} = v_0 + u_3 \quad \text{и} \quad v_{i2} = v_0.$$

6. Рассматриваются режимы, при которых скорости скольжения не превышают 2–3% от  $v_0$ , так как иначе скольжение колес не может быть допущено во избежание чрезмерных и неоднородных износов бандажей и рельсов.

7. Построение характеристик буксования спаренных осей проводится методом конечных разностей по следующей схеме. Положим, что для данного элемента времени нам известны начальные значения величин:  $I_1, I_2, e_1, e_2, v_1, F_1, F_2, v_0$ . Задаваясь приращением тока второго двигателя  $\Delta I_2$ , найдем конечные значения тех же величин, полагая электрический процесс установившимся. В дальнейшем начальные и конечные значения отмечаем соответственными индексами  $нч$  и  $кн$ .

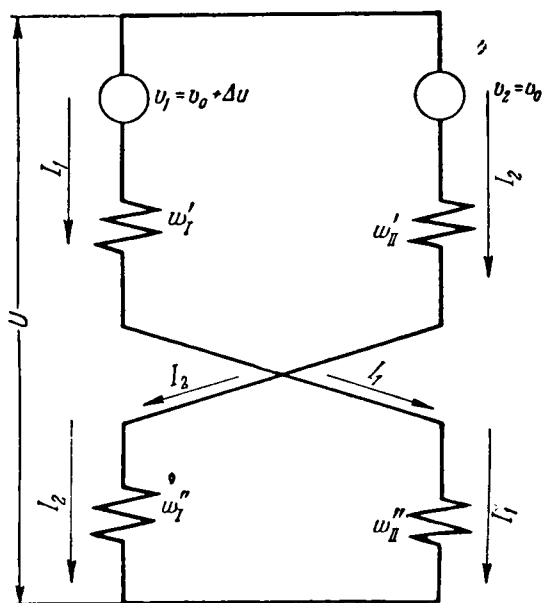


Рис. 5. Эквивалентная схема.

Рассмотрим отдельные этапы этого решения, предварительно введя следующие обозначения:

$$\left. \begin{aligned} w'_I &= w' - \Delta w - \Delta w_1 + \frac{w(r_1 - \frac{r_0}{2})}{\beta v_0}, \\ w''_I &= w' + \Delta w - \Delta w_2 + \frac{w(r_2 + \frac{r_0}{2})}{\beta v_0}, \\ w'_I &= w' - \Delta w + \frac{w r_0}{2\beta v_0}; \quad w''_I = w'' + \Delta w + \frac{w r_0}{2\beta v_0}, \\ w'_s &= \sqrt{w'_I \cdot w''_I} \quad \text{и} \quad w''_s = \sqrt{w'_I \cdot w''_I}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Нахождение  $\Delta I_1$  проводим, применяя закон Ома к цепи двигателя компенсирующей (2-й) оси. Согласно принятым условиям и формуле (2) имеем:

$$\beta_2 v_0 \Delta I_{s2} + r_2 \Delta I_2 + r_0 \frac{\Delta I_1 + \Delta I_2}{2} = 0,$$

где

$$\Delta I_{s2} = \frac{\Delta I_2(w' + \Delta w - \Delta w_2) + \Delta I_1(w' + \Delta w)}{w}.$$

Решая эти равенства совместно, имеем:

$$\Delta I_1 = -\Delta I_2 \frac{w''_I}{w'_I}. \quad (4)$$

Зная  $\Delta I_1$  и  $\Delta I_2$ , согласно формуле (2) находим приращение результирующих токов возбуждения двигателей, выражая их в зависимости от одной переменной  $\Delta I_1$ :

$$\Delta I_{s1} = \frac{w' - \Delta w - \Delta w_1 - \frac{w''_I}{w'_I} (w'' - \Delta w)}{w} \Delta I_1 \quad (5)$$

и

$$\Delta I_{s2} = \frac{w'' + \Delta w - \frac{w''_I}{w'_I} (w' + \Delta w - \Delta w_2)}{w} \Delta I_1. \quad (5')$$

Соответствующие им приращения удельной э. д. с. двигателей определяются значением (см. выше).

Конечная окружная скорость колес лимитирующей оси

$$v_{1\kappa\kappa} = v_{1\kappa\kappa} + \Delta u_1 = \frac{U - I_{1\kappa\kappa} r - \frac{I_{1\kappa\kappa} + I_{2\kappa\kappa} r_0}{2}}{e_{1\kappa\kappa}},$$

причем

$$e_{1\kappa\kappa} = e_{1\kappa\kappa} + \Delta e_1 \quad \text{и} \quad U = e_{1\kappa\kappa} v_{1\kappa\kappa} + I_{1\kappa\kappa} r + \frac{I_{1\kappa\kappa} + I_{2\kappa\kappa}}{2} r_0.$$

Произведя приближенное деление в формуле для  $v_{1\kappa\kappa}$ , получим:

$$\Delta u_1 \approx - \frac{\Delta e_1 v_{1\kappa\kappa} + \frac{\Delta I_1 + \Delta I_2}{2} r_0 + \Delta I_1 r}{e_{1\kappa\kappa}}.$$

После подстановки величин  $\Delta e_1$ ,  $\Delta I_2$  и  $\Delta I_{s1}$ , принимая в членах, пропорциональных  $r$ , отношение  $r_1 : r_2 \approx 1$ , а также в знаменателе  $e_{1\kappa\kappa} \approx e_{1\kappa\kappa}$ , имеем:

$$\Delta u_1 \approx -\Delta I_1 \left( w'_I - \frac{w''_s}{w'_I} \right) \frac{\beta_1 v_{1\kappa\kappa}}{w e_{1\kappa\kappa}}, \quad (6)$$

или иначе, воспользовавшись формулой (4):

$$\Delta u_1 \approx - \frac{\beta_1 v_{1\kappa\kappa}}{w e_{1\kappa\kappa}} (w'_I \Delta I_1 + w''_I \Delta I_2). \quad (6')$$

Соответственно с этим для 2-го двигателя

$$w''_I \Delta I_1 + w'_I \Delta I_2 = 0. \quad (6'')$$

Полученные выражения (6') и (6'') раскрывают физический смысл обозначений

$$w'_I, w''_I, w'_s, w''_s.$$

На рис. 5 приведена соответствующая эквивалентная схема, в которой двигатели имеют прямолинейную характеристику намагничивания, сопротивления цепей равно нулю и общее число витков обмотки возбуждения  $w$ .

Принимая, что в процессе буксования колес лимитирующей оси к. п. д. двигателей и движущих механизмов сохраняют постоянные значения, имеем  $F_i = k e_i I_{i1}$  и, следовательно,

$$d \lg F_i = d \lg e_i + d \lg I_{i1} \quad (7)$$

откуда имеем:

$$\Delta F_1 = F_{1\kappa\kappa} \left( \frac{\beta_1 \Delta I_{s1}}{e_{1\kappa\kappa}} + \frac{\Delta I_1}{I_{1\kappa\kappa}} \right), \quad (7')$$

$$\Delta F_2 = F_{2\kappa\kappa} \left( \frac{\beta_2 \Delta I_{s2}}{e_{2\kappa\kappa}} + \frac{\Delta I_2}{I_{2\kappa\kappa}} \right). \quad (7'')$$

Вычисление данных для построения кривых буксования методом конечных разностей следует вести в такой последовательности:

$$v_0, v_{1\kappa\kappa}, I_{1\kappa\kappa}, I_{2\kappa\kappa}, F_{1\kappa\kappa}, F_{2\kappa\kappa}, \Delta I_2, \Delta I_1, \Delta I_{s1}, \Delta I_{s2}, \Delta e_1, \Delta u_1, \Delta F_1, \Delta F_2, v_{1\kappa\kappa}, I_{1\kappa\kappa}, I_{2\kappa\kappa}, F_{1\kappa\kappa}, F_{2\kappa\kappa}.$$

Рассмотренный метод справедлив также и для последовательного соединения нескольких элементов схемы, разделенных уравнительными соединениями. Такое включение двигателей даже при  $w''=0$ , очевидно, является зависимым.

При последовательном включении  $m$  элементов схемы получим зависимое включение двигателей  $2m$  осей. В этом случае необходимо учесть, что уменьшение тока двигателя лимитирующей оси  $\Delta I_1$  вызывает повышение напряжения  $\Delta U$  на исследуемом элементе схемы. В пределах интересующих нас скоростей буксования можно принять  $\Delta U \equiv \Delta I_1$ . Отсюда следует, что влияние последовательного включения элементов схемы можно учесть величиной сопротивления  $r_0$ , включаемого в цепь каждого двигателя по схеме рис. 1. Это сопротивление в таком случае является условным и определяется формулой

$$(r_0)_y = (m-1)(\beta v_0 + r + \Delta r) + \Delta r. \quad (8)$$

При этом расчетное напряжение  $\Delta U$  на исследуемом элементе схемы попрежнему принимается постоянным. Скорость компенсирующей оси задана  $v_3 = v_0$  и соответствует току  $I_0$  при  $U = \frac{U_c}{m}$  на зажимах двигателя. Расчет ведется при условном напряжении:

$$U_y = \frac{U_c}{m} + [(r_0)_y - \Delta r] I_0. \quad (8')$$

В этих формулах  $U_c$  — напряжение сети;

$m$  — число последовательно включенных элементов схемы;

$\Delta r$  — пусковое сопротивление, отнесенное к одному двигателю.

Характеристику буксования для 3-й оси получим подобным же образом, приняв:  $\Delta I_3 = \Delta I_{\beta 3}$ ;  $w'_3 = w$ ;  $w''_3 = 0$ , что дает:

$$\Delta u_3 = - \frac{\Delta I_3 \beta_3}{e_{3 \text{ нч}}} \cdot v_{3 \text{ нч}} \quad (6a)$$

где

$$w_3 = w - \Delta w_3 + \frac{w(r + r_0)}{\beta_3 v_0} \quad (3a)$$

и

$$\Delta F_3 = \left( \frac{\beta_3}{e_{3 \text{ нч}}} + \frac{1}{I_{3 \text{ нч}}} \right) \Delta I_3 F_{3 \text{ нч}} \quad (7a)$$

В этом случае порядок вычислений следующий:

$$v_0, v_{3 \text{ нч}}, I_{3 \text{ нч}}, F_{3 \text{ нч}}, \Delta I_3, \Delta I_{\beta 3}, \Delta u_3, \Delta F_3, \\ v_{3 \text{ нч}}, I_{3 \text{ нч}}, F_{3 \text{ нч}}.$$

**Пример.** Требуется построить кривые буксования для четырех схем включения двигателя ДПЭ-340, представленных на рис. 2. Напряжение сети  $U_c = 1500$  в,  $I_0 = 250$  а,  $F_0 = 3350$  кг,  $v_0 = 37$  км/час =  $10,3$  м/сек — для параллельного включения групп и  $v_0 = 4,9$  м/сек для последовательного. Сопротивление двигателя:  $r = 0,25$  ом, причем  $r'_1 = r'_2 = 0,207$  ом и  $r''_1 = r''_2 = 0,043$  ом,  $\Delta r = 0$ ;  $w = 67$  витков на один полюс. Для рабочих токов возбуждения  $250 \text{ а} \geq I_0 \geq 200 \text{ а}$  из характеристики намагничивания двигателя ДПЭ-340 найдено:  $\beta = 0,213$  ом·сек/м [Л. 6]. Размагничивающие витки реакции якоря определяются из кривых рис. 3. Согласно формуле (3) и (7) в приведенной таблице ниже произведен расчет данных для построения характеристик буксования, соответствующих схеме включения I на рис. 2, т. е. при параллельном включении групп двигателей, имеющих  $w' = w'' = \frac{w}{2} = 33,5$  витка,  $\Delta w = 0$  и  $r_0 = 0$ . Для этих данных имеем:

$$w'_I = w''_I = 33,5 \text{ витка, и } w''_{II} = 33,5 - \Delta w_2 + \frac{67 \cdot 0,25}{0,213 \cdot 10,3} = 41,1 - \Delta w_2 \text{ и } w'_I = 41,1 - \Delta w_1.$$

Последовательное соединение групп (схема 2) приводит к условной схеме параллельного включения тех же групп, но с добавочным условным сопротивлением  $(r_0)_y$ . При  $I_0 = 250$  а согласно формулам (8) и (8') имеем:

$$(r_0)_y = 0,213 \cdot 4,9 + 0,25 = 1,29 \text{ ом; } U_y = \frac{1500}{2} + 1,29 \cdot 250 = 1072 \text{ в;}$$

и

$$w'_{II} = 33,5 - \Delta w_2 + \frac{67(0,5 + 1,29)}{2 \cdot 0,213 \cdot 4,9} = 90,9 - \Delta w_2$$

и

$$w''_{II} = 33,5 + \frac{67 \cdot 1,29}{2 \cdot 0,213 \cdot 4,9} = 74,8.$$

На основании этих данных вычислены и построены на рис. 2 кривые буксования 2. На том же рисунке приведены кривые 3 и 4 (кривые на рис. 2 совпали). Эти кривые соответствуют выполнению элемента схемы согласно изложенному ниже, причем принято  $R = 0,43$  ом. Согласно приведенным ниже формулам (13) для такого включения

$$w' = 33,5 \left[ 1 + \frac{0,086}{2(0,086 + 0,43)} \right] = 36,3 \text{ витка и } w'' = 30,7 \text{ витка.}$$

В таком случае при параллельном соединении групп

$$w'_{II} = 43,9 - \Delta w_2 \text{ и } w''_{II} = 30,7 \text{ витка,}$$

а при последовательном:

$$w'_{II} = 93,7 - \Delta w_2 \text{ и } w'' = 72 \text{ витка.}$$

$v_0$	$v_{1 \text{ нч}}$	$I_{1 \text{ нч}}$	$I_{2 \text{ нч}}$	$F_{1 \text{ нч}}$	$F_{2 \text{ нч}}$	$\Delta I_2$	$\Delta w_1$	$\Delta w_2$	$\Delta I_1$	$\Delta I_{\beta 1}$	$\Delta I_{\beta 2}$	$\Delta u_1$	$\Delta F_1$	$\Delta F_2$	$x_1$	$x_2$
10,3	10,30	250	250	3350	3350	50	5,4	6,6	-51,5	+3,35	-5,7	0,028	-673	646	7,2	6,9
	10,33	198,5	300	2677	3996	50	4,4	7,7	-50,0	+3,25	-5,7	0,029	-664	641	6,84	6,6
	10,36	148,5	350	2013	4637	50	2,8	8,4	-48,8	+2,63	-5,7	0,038	-655	628	5,15	4,95
	10,40	99,7	400	1358	5265	50	1,0	8,6	-48,5	1,45	-5,7	0,054	-652	621	3,6	3,43
м/сек	а	а	а	кг	кг	а	витки на 1 полюс		а	а	а	м/сек	кг	кг	сек/м	

**Жесткость спаривания и устойчивость системы.** Выше указывалось, что при электрическом спаривании осей скорость скольжения колес лимитирующей оси очень мала. Это обстоятельство дает возможность спрямить характеристики буксования, приняв для них следующие выражения:

$$\begin{aligned} F_{1l} &= F_0(1 - X_1 u_1), \\ F_{2l} &= F_0(1 - X_2 u_1), \\ F_{1l} + F_{2l} &= F_0[2 - (X_1 + X_2) u_1]. \end{aligned}$$

Очевидно, параметры вида  $X_i$  представляют собой коэффициенты динамической жесткости тяговой характеристики [Л. 1, 2, 3]:

первичный

$$X_1 = -\frac{dF_1}{F_0 du_1},$$

вторичный

$$X_2 = -\frac{dF_2}{F_0 du_1},$$

(9')

при нормальном включении серийных обмоток по схеме рис. 1 (цепь 3)

$$X_3 = -\frac{dF_3}{F_0 du_3}. \quad (9)$$

В целях получения простых выражений ограничимся приближенным решением, приняв, что двигатели всех трех цепей имеют тождественные характеристики намагничивания и одинаковые начальные значения токов и тяговых усилий. Коэффициент  $\beta$  принимается единым:

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta \text{ и } \Delta w = 0. \quad (6a)$$

Задавшись одинаковыми приращениями токов двигателей осей с буксующими колесами ( $\Delta I_1 = \Delta I_3$ ), согласно формулам (6) и (6a) получим следующее приближенное выражение:

$$\frac{dv_1}{dv_3} \approx \frac{w'_3 - w''_3}{w'_3}. \quad (10)$$

Сравним теперь приращения тяговых усилий на спаренных осях и на независимой оси.

Согласно формулам (3) — (5) при  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$

$$\begin{aligned} \Delta I_{e1} + \Delta I_{e2} &= \\ &= \frac{w - \Delta w_1}{w} \left( \frac{w'_1 - w''_1}{w'_1} - \frac{w - \Delta w_2}{w - \Delta w_1} \right) \Delta I_1, \end{aligned}$$

$$\Delta I_1 + \Delta I_2 = \Delta I_1 \frac{w'_1 - w''_1}{w'_1}$$

или приближенно

$$\Delta I_{e1} + \Delta I_{e2} \approx \Delta I_1 + \Delta I_2 \approx \frac{w'_3 - w''_3}{w'_3} \Delta I_1.$$

Эта формула показывает, что группа двигателей электрически спаренных осей ведет себя как единый двигатель, имеющий нормальное включение серийных обмоток возбуждения. В таком случае из равенства (7) следует, что при  $I_1 = I_3$

$$\frac{\Delta F_1 + \Delta F_2}{\Delta F_3} \approx \frac{w'_3 - w''_3}{w'_3}. \quad (10')$$

Из сопоставления формул (9') (10') и (10'') имеем:

$$X_1 + X_2 = X_3. \quad (10'')$$

С другой стороны, известно, что характеристика моментов тягового двигателя с серийным и компаундным возбуждением с достаточной степенью точности может

быть спрямлена в рабочей зоне, что приводит к следующему выражению:

$$\frac{\Delta F_3}{\Delta I_3} = (1 + \alpha) \frac{F_0}{I_0},$$

где  $\alpha = 0,15 \div 0,30$  — коэффициент, зависящий от соотношения между серийным и независимыми витками во возбуждения и степени насыщения магнитной цепи в рабочей зоне.

Выражения (10'') и для спрямленной характеристики дают нам возможность написать следующие приближенные равенства:

$$\frac{\Delta F_1}{\Delta F_3} \approx 1 - \frac{\alpha w''_3}{w'_3}$$

и

$$\frac{\Delta F_2}{\Delta F_3} = -\frac{w''_3}{w'_3(1 + \alpha)} \approx -\frac{w''_3}{w'_3}(1 - \alpha).$$

Соответствующие спрямленные электромеханические характеристики трех рассматриваемых двигателей представлены на рис. 6.

Переходим от конечных к бесконечно малым приращениям  $F$  и  $I$ . Для искоемых коэффициентов динамической жесткости тяговой характеристики при зависимом включении цепей можно написать следующие приближенные выражения

первичный

$$X_1 = \frac{w'_3 - \alpha w''_3}{w'_3 - w''_3} X_3,$$

вторичный

$$X_2 = -\frac{w''_3(1 - \alpha)}{w'_3 - w''_3} X_3.$$

где  $w'_3, w''_3$  см. (3).

Поясним физический смысл отрицательных значений параметра  $X_1$ , которые он получает согласно выражению для  $X_1$  при  $w'_3 < w''_3$ . Положим, что под влиянием резкого снижения силы сцепления (масляные пятна на рельсах) колеса лимитирующей оси перешли на режим буксования и скачкообразно получили скорость скольжения  $u_1$ . В результате запаздывания действия электромагнитной связи между двигателями электрически спаренных осей этот процесс вызовет снижение  $I_1$  независимо от соотношения между  $w'_3$  и  $w''_3$ . Однако, дальнейшее уменьшение  $I_1$  и  $u_1$  будет протекать различно при  $w'_3 > w''_3$  и при  $w'_3 < w''_3$ . Согласно (6) при  $w'_3 > w''_3$  приращения  $\Delta u_1$  и  $\Delta I_1$  всегда имеют разные знаки, что угрожает на устойчивость параллельной работы двигателей электрически спаренных осей. Действительно, в этом случае при равномерном движении локомотива токи двигателей  $I_1$  и  $I_2$  являются однозначными функциями от скорости скольжения колес лимитирующей оси  $u_1$ . Очевидно, что при прекращении буксования эти токи получают значения, имевшие место до наступления буксования.

Наоборот, при  $w'_3 < w''_3$  начавшийся процесс уменьшения  $I_1$  и возрастания  $I_2$  продолжается автоматически даже в том случае, если ему будет сопутствовать снижение  $u_1$  [см. (6)], в результате чего  $I_1$  и  $I_2$  изменят свои направления на обратные. При этом вместо параллельного включения на сеть двух двигателей получим последовательное включение генераторов с подпиткой от сети. В процессе опрокидывания параметры  $w'_3$  и  $w''_3$  меняют свои значения, и весьма вероятно, что описанный процесс прекратится на промежуточной стадии. Однако, и в этом случае при прекращении буксования мы получим значения  $I_1, I_2, F_1, F_2$ , отличные от начальных, что характеризует неустойчивость системы электрического спаривания осей. Отсюда следует, что система устойчива, если в процессе буксования колес лимитирующей оси все время имеем:  $w'_3 \geq w''_3$ . Очевидно, что только устойчивая система допускает устойчивое исправление тяговых характеристик. В противном случае достигнутое соотношение

ние между тяговыми усилиями при  $u_1=0$  может быть нарушено в результате возникшего и затем прекратившегося буксования.

Ввиду отмеченных трудностей исследования устойчивости системы аналитическим путем при  $w'_a$ , близком к  $w''_a$ , рекомендуем проводить его методом построения характеристик буксования (рис. 2). Очевидно, что система электрического спаривания осей будет устойчивой, если зависимости  $F_1$  и  $F_2$  от  $u_1$  однозначны, причем

$$\frac{dF_1}{du_1} < 0, \text{ а } \frac{dF_2}{du_1} > 0.$$

**Реализация тягового усилия электрически спаренных осей.** Для выяснения физических процессов, возникающих при реализации тягового усилия электрически спаренными осями, предварительно положим, что на стендовых испытаниях при включении серийных обмоток последовательно с якорем, напряжения  $U$  и одинаковых токах  $I_1=I_2=I_0$  их электродвигатели развивают разные скорости по кругам катания колес

$$v_{11}=v_0(1+k) \text{ и } v_{12}=v_0(1-k),$$

где  $k$  лежит в пределах узаконенных допусков [Л. 3]. При работе на электровозе без жесткого скольжения колес  $v_{11}=v_{12}=v_0$ , вследствие чего эти двигатели должны потреблять разные токи и развивать на осях различные тяговые усилия:  $F_{10} \neq F_{20}$ . Ранее автор показал, что взаимные отклонения тяговых усилий от их среднего значения легко установить, если ввести в рассмотрение условные скорости скольжения колес соответствующих осей [Л. 2 и 3]. Применяя эту теорию для двигателей электрически спаренных осей, имеем:

$$F_1 = F_0(1 + \sigma) \text{ и } F_2 = F_0(1 - \sigma),$$

где

$$\sigma = k[v_0(X_1 - X_2) - 1] \text{ и } 2F_0 = \phi_0(P_1 + P_2),$$

причем  $P_1$  и  $P_2$  представляют собой устойчивые нагрузки электрически спаренных осей. Для простоты рассуждений вначале полагаем, что переменные составляющие нагрузок отсутствуют, т. е.  $P_{11} = P_1 = \text{const}$  и  $P_{21} = P_2 = \text{const}$ , и что  $\phi_{10} = \phi_{20} = \phi_0$ .

При  $w'_a$ , близком к  $w''_a$ , согласно формулам (6) и выражения для  $F_1$  стремится к бесконечности по положительным значениям, а  $F_2$  — по отрицательным. Тяговое и тормозное усилие ограничены силой сцепления колес с рельсами и неизбежно, что один из скатов перейдет на режим скольжения с постоянной скоростью  $u_0$ . Положим, что лимитирующей является 1-я ось, причем ее колеса имеют окружную скорость  $v_{11} = v_0 + u_0 > v_0$ , колеса же 2-й компенсирующей оси катятся без скольжения. Величина  $u_0$  может быть найдена из уравнения буксования колес лимитирующей оси, которое получается из следующих условий:

$$F_1 = F_0(1 + \sigma - X_1 u_0), S_1 = P_1(1 - \rho u_0) \text{ и } F_1 = S_1,$$

где  $\rho = \frac{d\phi}{\phi_0 du}$  — коэффициент динамической жесткости характеристики сцепления.

Решая совместно эту систему уравнений при  $X_1 \rightarrow \infty$ , имеем:

$$u_0 = 2kv_0.$$

В таком случае электрические спаренные оси, работа на пределе сцепления колес с рельсами, развивают тяговые усилия

$$F_1 = P_1 \phi_0(1 - 2\rho kv_0) \text{ и } F_2 = P_2 \phi_0$$

и, следовательно,

$$(F_1 + F_2)_{\max} = (\eta_{12})_0 \phi_0 (P_1 + P_2), \quad (11)$$

где

$$(\eta_{12})_0 = 1 - \frac{2P_1}{P_1 + P_2} \rho kv_0 \quad (12)$$

— основной коэффициент использования сцепного веса группы жестко электрически спаренных осей.

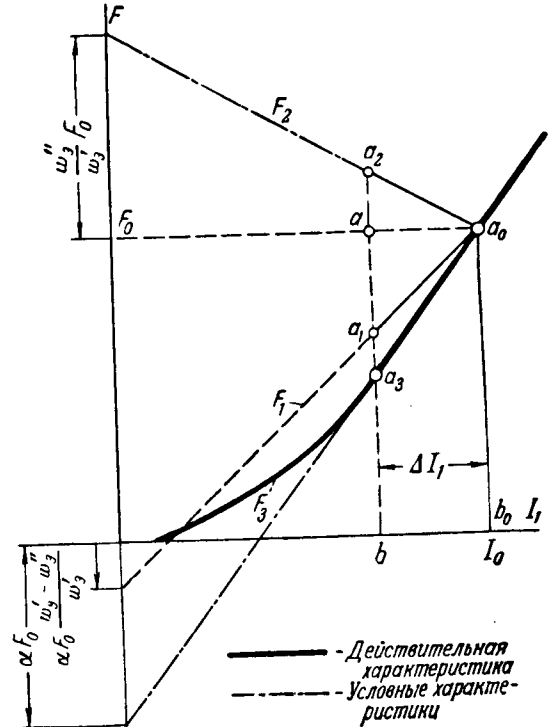


Рис. 6. Спрямленные электрохимические характеристики двигателей при  $I_1 < I_0$ .

Положим теперь, что под влиянием галоирования экипажа мгновенные значения нагрузок группы осей изменяются во времени таким образом, что их сумма остается постоянной:

$$P_{11} + P_{21} = P_1 + P_2 = \text{const}.$$

При жестком электрическом спаривании этих осей взаимное распределение их тяговых усилий регулируется микроскольжением ( $\Delta u \neq 0$ ), причем лимитирующей становится попеременно то одна, то другая ось. Микроскольжение не повлияет заметно на величину коэффициента сцепления, вследствие чего при соблюдении условия о постоянстве суммы и при  $\phi_{10} = \phi_{20}$  (12) дает в действительности результирующий коэффициент использования сцепного веса группы осей, который, как известно, при обычных схемах включения двигателей значительно ниже основного коэффициента использования [Л. 2]. Помимо галоирования, электрическое спаривание осей, очевидно, оказывает благоприятный эффект также при местном снижении коэффициента сцепления (масляное пятно на рельсах).

**Пример.** Найдем для трех указанных ниже случаев основной коэффициент использования сцепного веса двухосного электровоза, имеющего следующие данные:  $P_1 = 0,8 \text{ П}_0$ ;  $P_2 = 1,2 \text{ П}_0$ ;  $X_3 = 0,25 \text{ сек/м}$ ;  $\rho = 0,4 \text{ сек/м}$ ;  $v_0 = 10 \text{ м/сек}$ ; двигатели включены параллельно. Очевидно, что в данном случае имеем

$$\eta_0 = (\eta_{12})_0.$$

а) Нормальное включение серийных обмоток возбуждения (цепь 3, рис. 1) при  $k_1 = -k_2 = 0,02$ .

Согласно формулам автора [Л. 3 и 2], находим:

$$\eta_0 = \frac{1}{P_0} \left( \frac{P_1}{1 + \sigma_1} \right)_{\min} = \frac{0,8}{1 + 0,02(0,25 \cdot 10 - 1)} \approx 0,77.$$

б) Жесткое электрическое спаривание при  $k_1 = -k_2 = 0,02$  дает по (11)

$$\eta_0 = (\eta_{12})_0 = 1 - 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,02 \cdot 10 = 0,93.$$

в) Жесткое электрическое спаривание при  $k_1 = -k_2 = 0,01$

$$\eta_0 = 1 - 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,01 \cdot 10 = 0,97.$$

<sup>2</sup> См. [Л. 3, формулу (26)].

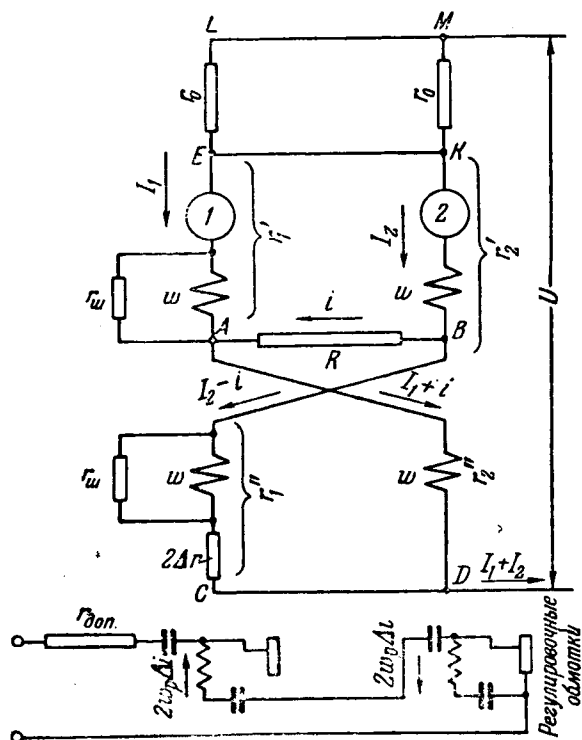


Рис. 7. Элемент универсальной схемы электрического спаривания осей.

В действительности тяговые качества электровоза оцениваются полным коэффициентом использования сцепного веса, который, как уже указывалось, для случая п. „а“ значительно ниже, а для случаев пп. „б“ и „в“ близок к подсчитанным значениям  $\eta_0$ . Таким образом, с учетом динамических процессов локомотива эффект от спаривания должен быть более высоким, чем это получено в примере, что и соответствует опытным данным.

**Универсальная схема электрического спаривания осей.** На рис. 7 представлен элемент схемы электрического спаривания осей, подвергнутой экспериментальному изучению в тяговой лаборатории МЭИЗ. Данная схема является универсальной, так как она обладает следующими свойствами: 1) пригодна для одиночных двигателей; 2) позволяет получить практически любую жесткость спаривания; 3) допускает экономическое регулирование скорости электровоза с помощью изменения группировки двигателей (последовательное и параллельное включение элементов). Серийные обмотки разбиты на две равные группы, из которых в каждую включены последовательно обмотки одной полярности. Одна из групп обмоток (например, северных полюсов) включается последовательно с якорем своего двигателя, а группы обмоток другой полярности (южных полюсов) перекрещиваются, причем их начала соединяются мостиком  $AB$ , имеющим сопротивление  $R$ , а их концы — уравнительным соединением  $CD$ . Во избежание снижения на пусковых позициях жесткости спаривания необходимо пусковое сопротивление вводить не в элемент схемы, а перед уравнительным соединением  $EK$ . Группировку двигателей по элементам схемы следует проводить из условия обеспечения при галопировании экипажа постоянного суммарного значения вертикальных нагрузок на путь для каждой двух электрически спариваемых скатов. Пример такого решения задачи представлен на рис. 8.

Из изложенного выше следует, что целесообразно отказаться от абсолютно жесткого спаривания и признать наиболее приемлемой схему с конечными значениями  $X_1$  и  $X_2$ , обеспечивающую полужесткое электрическое спаривание, аналогичное механической связи с помощью

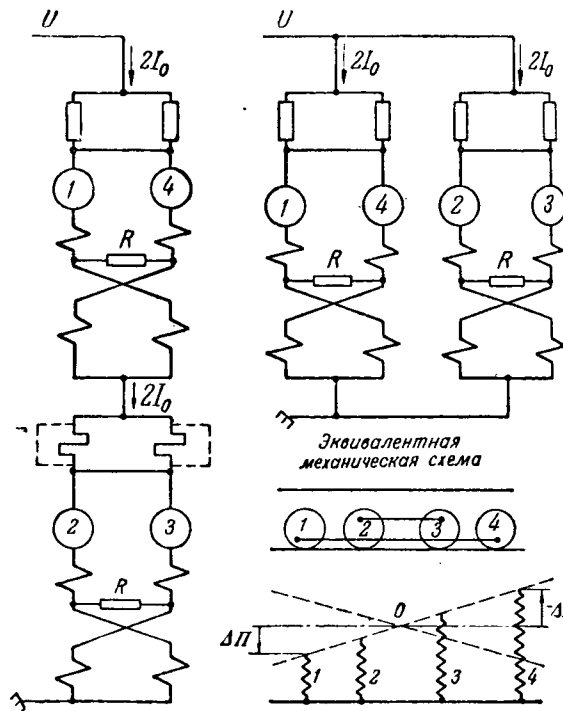


Рис. 8. Схема электрического спаривания для четырехосного электровоза.

ременной передачи. Такая схема обеспечит также одновременно достаточно полное статическое исправление характеристик из условия  $F_{10}:F_{20}=\Pi_1:\Pi_2$  и вполне удовлетворительный противобуксовочный эффект от спаривания.

Сравнивая схему рис. 7 (с мостиком) и принимая в этой схеме  $r_w = \infty$  (отсутствие ослабления поля) со схемой рис. 1 (без мостика), напишем следующие равенства, обеспечивающие в обоих случаях равные м. д. с. от серийных витков возбуждения:

$$I_1(w' - \Delta w_R) + I_2(w' - \Delta w_R) = \frac{w}{2} (I_1 + I_2 - i),$$

$$I_2(w' + \Delta w_R) + I_1(w' + \Delta w_R) = \frac{w}{2} (I_1 + I_2 + i).$$

Согласно нижнему контуру рис. 7,

$$i = \frac{I_2 r_1'' - I_1 r_2''}{r_1'' + r_2'' + R}. \quad (12)$$

Решая совместно эти равенства, имеем:

$$2w' = \left[ 1 + \frac{r_2'' + r_1''}{2(r_1'' + r_2'' + R)} \right] w, \quad (13)$$

$$2w'' = \left[ 1 - \frac{r_2'' + r_1''}{2(r_1'' + r_2'' + R)} \right] w \quad (13')$$

и

$$\Delta w_R = \frac{r_1'' - r_2''}{2(r_1'' + r_2'' + R)} w. \quad (14)$$

Таким образом, схемы рис. 1 и 7 эквивалентны друг другу, причем при  $r_1'' \neq r_2''$  мост в универсальной схеме оказывает эффект, подобный ослаблению м. д. с. серийных обмоток одного из двигателей. При  $r_1'' > r_2''$  усилено поле второго двигателя и ослаблено поле первого. Изменяя  $R$ , мы влияем на отношение  $\frac{w'}{w''}$  и тем самым изменяем жесткость спаривания.

При  $r_1'' = r_2''$  отношение  $\frac{w'}{w''}$  меняется от  $\frac{w'}{w''} = 1$  при

\* Участники эксперимента. С. В. Тельнов и В. В. Петров.

$R = \infty$  (мост разомкнут) до  $\frac{w'}{w''} = 3$  при  $R = 0$  (простое уравнильное соединение между точками А и В).

Очевидно, что расчет характеристик буксования при универсальной схеме можно проводить согласно изложенной выше методике, вводя в расчет условные параметры:  $w'_1$ ,  $w''_1$  и  $\Delta w = \Delta w_R$ , определяемые формулами (13), (13') и (14).

Переходя к установленной величине  $\Delta w$ . В основу расчета параметров схемы для статического корректирования тяговых характеристик спариваемых осей принимаем следующие условия:

1. Требуется установить определенное соотношение в рабочей зоне между токами их двигателей, при отсутствии скольжения колес. Соотношение  $C = I_{10} : I_{20}$  считаем заданным.

2. Необходимо учесть, что под влиянием допустимых взаимных отклонений диаметров колес и магнитных сопротивлений двигателей удельные э. д. с. этих двигателей при одинаковых токах возбуждения неравны. Мы полагаем, что они связаны следующими соотношениями:

$$e_1 = e_0(1 - \chi) \text{ и } e_2 = e_0(1 + \chi),$$

где  $\chi$  — постоянный коэффициент.

3. Корректирование достигается при помощи разности м. д. с., которая создается следующими двумя средствами: а) регулировочными обмотками возбуждения, влияющими на величину  $\chi$ , и б) совместным действием ослабления поля одного из двигателей ( $r_{ш} < \infty$ ) и разности сопротивлений перекрещиваемых обмоток ( $r_1'' \neq r_2''$ ).

4. Для определенности полагаем, что требуется получить  $I_1 > I_2$  за счет

$$\Delta I_g = I_{g2} - I_{g1} > 0.$$

В соответствии с принятыми положениями и рис. 7 имеем:

$$\Delta I_g = \Delta I + \frac{\Delta w_0 + \Delta w_R}{w} (I_{20} + I_{10}) + \frac{I_1 \Delta w_1 - I_2 \Delta w_2}{w}, \quad (15)$$

причем  $\Delta w_0$  учитывает эффект от регулировки поля, а  $\Delta w_R$  определяется (14). Сопротивления  $r_1''$ ,  $r_2''$ ,  $R$  определяются по реальной монтажной схеме.

Рассматривая контур якорей двигателей на рис. 7 при  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ , имеем:

$$2\beta w_0 \Delta I_g = I_{10} r_1' - I_{20} r_2' - iR + 2\chi e_0 v_0, \quad (16)$$

где  $\Delta I_g$  определяется (15).

Полученное выражение позволяет выбрать параметры  $\Delta w$  и  $\Delta I$  для заданных значений  $I_{20}$  и  $I_{10}$  и на основе этих параметров установить распределение токов и тяговых усилий спариваемых осей для всей рабочей зоны.

Регулировочные обмотки влияют на величину  $\chi$  и требуются лишь для серийных двигателей. В компаундных двигателях для этой цели может быть использована обмотка независимого возбуждения. В серийных двигателях регулировочные обмотки двигателей спариваемых осей могут включаться согласно и навстречу, причем их ток регулируется шунтами. В этом случае расчетная м. д. с. регулировочной обмотки составляет около 5% от м. д. с. основного поля при часовом режиме двигателя, что лишь незначительно увеличивает его размеры и вес. Для ограничения влияния температуры в регулировочных обмотках на их эффект следует предусмотреть включение в их цепь или регулятора, или добавочного сопротивления из сплава с низким температурным коэффициентом.

Методы исправления характеристик были проверены на маховом стенде в лаборатории электрической тяги МЭИ. Испытанию подверглись двигатели ПТ-35, имевшие зависимо возбуждение. Помимо электрической связи двигатели были спарены механически, что соответствует работе систем при отсутствии скольжения ( $u_1 = 0$ ). При

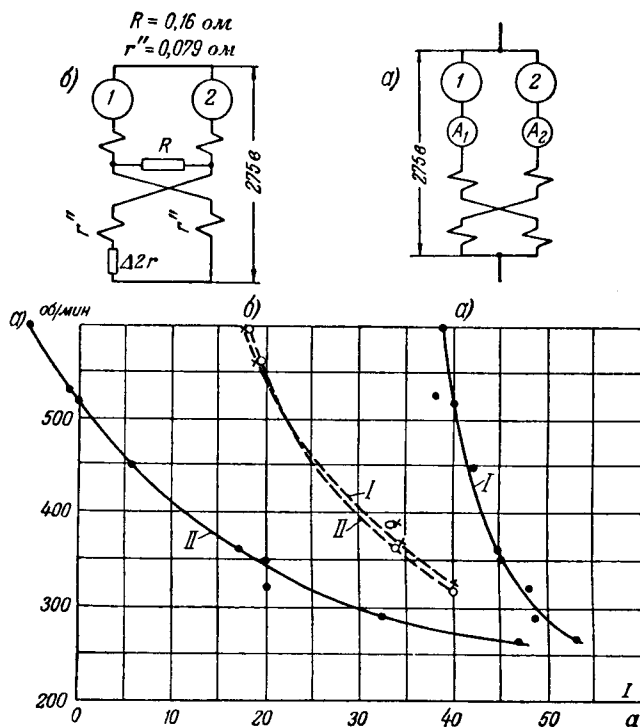


Рис. 9. Опытные скоростные характеристики двигателей ПТ-35 при зависимом включении.

$R = \infty$  наблюдалось резкое расхождение скоростных характеристик (сплошные кривые на рис. 9). Испытания показали, что эти характеристики допускают устойчивое статическое исправление на широком диапазоне токов при  $R$ , равном от 10 до 15  $R$ . Пример такого исправления представлен на том же рис. 9 (пунктирные кривые).

Система электрического спаривания осей удобна для группировок, имеющих парное число цепей (2 и 4), что соответствует электровозам Во и Во  $\pm$  Во, особо нуждающимся в улучшении своих тяговых качеств. Возможны и другие схемы, работающие на принципе электрического вала.

## Литература

1. Д. К. Мино в. Буксование электровоза и процессы в электрической цепи тяговых двигателей. Электричество, № 2, 1941.
2. Д. К. Мино в. Роль скольжения колес при реализации тягового усилия и структура коэффициента сцепления при электрической тяге. Известия ОН Академии наук СССР, № 4, 1947.
3. Д. К. Мино в. Применение метода конечных разностей для исследования процессов буксования и юза при электрической тяге. Известия ОН Академии наук СССР № 2, 1948.
4. О. Акерманн. Västeras Teknisk Tidskrift, № 36 и 44, 1940 (перевод в El. Bahnen, № 7, 1946).
5. А. Б. Иоффе. Некоторые специальные вопросы по расчету электрических машин. Вестник электропромышленности, № 7, 1947.
6. Магистральные советские электровозы. Трансжелдориздат, 1941.
7. В. Н. Богоявленский. Электрические трансмиссии гусеничных и колесных машин. Машгиз, 1947.

[16. 9. 1948].



# Устойчивость автоматического регулирования дизель-электрического пассажирского транспорта

Кандидат техн. наук, доц. А. Д. СТЕПАНОВ

Московский энергетический институт им. М. Г. Молотова

В средствах транспорта с дизельной тягой (тепловозы, автомотриссы, автобусы, танки и т. д.) все чаще применяют электрическую передачу. Одним из главных достоинств ее является возможность обеспечить оптимальный режим дизеля и полное использование его мощности при изменении силы тяги и скорости движения в широких пределах. Это достигается автоматическим регулированием возбуждения генератора в зависимости от тока нагрузки и скорости вращения генератора. Чаще всего регулирование осуществляется методами машинной автоматики, т. е. подбором системы возбуждения и характеристик генератора или возбуждателя. Существенным вопросом при проектировании электрической передачи является обеспечение устойчивости автоматического регулирования. Условие статической устойчивости работы дизель-генератора, как известно, выражается неравенством

$$\frac{d(M_D - M_z)}{dn} < 0, \quad (1)$$

где  $M_D$  — вращающий момент дизеля, передаваемый валу генератора;

$M_z$  — момент генератора;

$n$  — скорость вращения дизель-генератора.

В литературе [Л. 1, 2, 3] обычно рекомендуют для определения устойчивости строить характеристики  $M_D = f(n)$  при постоянной подаче топлива и  $M_z = f(n)$  при  $I_z = \text{const}$ . Этот метод справедлив лишь для серийных двигателей и при том условии, что усилие тяги экипажа к концу переходного процесса остается таким же, каким оно было в начале. В противном случае характеристика при  $I_z = \text{const}$  не соответствует действительному процессу.

Дизель-электрическая тяга наряду с электрической тягой является средством технической реконструкции транспорта. В Советском Союзе намечено широкое развитие производства тепловозов, автобусов с электротрансмиссией и других видов дизель-электрического транспорта. Одной из наиболее важных проблем при проектировании электрической передачи для дизельных экипажей является автоматическое регулирование мощности дизель-генератора и наиболее сложным вопросом — надежность и устойчивость автоматического регулирования. Предлагается аналитический метод исследования устойчивости и характера переходных процессов систем автоматического регулирования, в которых подача топлива дизелю не изменяется в процессе регулирования.

Ниже предлагается аналитический метод исследования устойчивости работы дизель-генератора с учетом изменения режима двигателей, который позволяет судить не только об устойчивости, но и о характере апериодического процесса. Метод основан на принципе малых колебаний относительно некоторого установившегося режима, позволяю-

щем привести дифференциальные уравнения к линейным. В отличие от обычного метода составления дифференциальных уравнений для величин тока в каждой обмотке генератора и двигателей в предлагаемом методе уравнения даны для магнитных потоков генератора и двигателя. Это упрощает уравнения вследствие исключения взаимоиндуктивностей, появляющихся при нескольких обмотках возбуждения генератора и двигателей, и делает уравнения более наглядными физически.

При выводе уравнений были приняты следующие допущения:

1. Скорость движения во время переходного процесса принята постоянной, так как постоянная времени средства транспорта (автобуса, танка и пр.) превосходит остальные постоянные времени.

2. Внешняя характеристика дизеля (рис. 1) заменяется прямой, касающейся к ней в точке рассматриваемого установившегося режима с уравнением

$$M_D = A - Dn. \quad (2)$$

3. Магнитные характеристики генератора и тягового двигателя (рис. 2) заменены касательными в точке установившегося режима с уравнениями

$$\Phi = \Phi_0 + a_A W, \quad (3)$$

$$\Phi_m = \Phi_{om} + a_m AW_m, \quad (4)$$

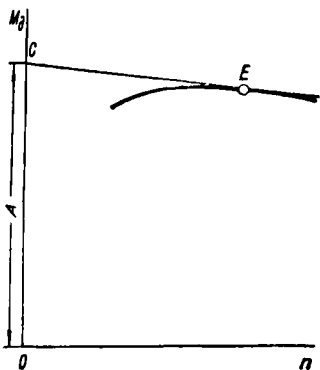


Рис. 1. Характеристика дизеля.

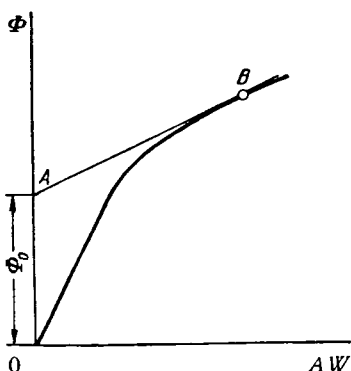


Рис. 2. Магнитная характеристика.

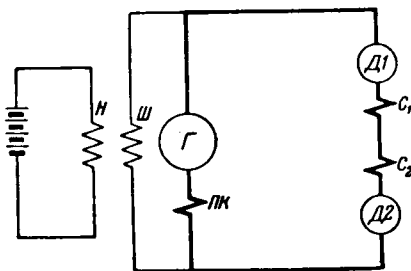


Рис. 3. Схема включения трехобмоточного генератора и серийных двигателей.

где  $\Phi$  и  $AW$  — магнитный поток и ампервитки возбуждения генератора;

$\Phi_m$  и  $AW_m$  — то же для двигателя.

4. Постоянная времени силовой цепи принимается равной нулю, так как переключения в силовой цепи не рассматриваются и постоянная времени силовой цепи мала в сравнении с постоянными времени цепей возбуждения и механической постоянной времени дизель-генератора. Не учитывается также влияние вихревых токов в магнитопроводе генератора и двигателей по тем соображениям, что все изменения магнитного потока вызываются лишь плавными изменениями скорости дизель-генератора и тока в обмотках возбуждения.

Для большинства схем машинного автоматического регулирования характерным является работа дизеля при постоянной подаче топлива и изменяющейся скорости вращения, так как центробежный регулятор дизеля в зоне автоматического регулирования возбуждения находится, как правило, в положении максимальной подачи топлива.

Принцип предлагаемого метода заключается в следующем. Генератор и двигатели могут иметь несколько обмоток возбуждения (рис. 3). Применяя на основании равенств (3) и (4) принцип наложения к магнитному потоку  $\Phi$  генератора и  $\Phi_m$  двигателя, можно представить их как сумму постоянной величины  $\Phi_0$  и потоков, создаваемых каждой из обмоток: серийной, шунтовой и независимой. Каждый из этих потоков является функцией тока  $I$ , скорости вращения дизель-генератора  $n$  или полного потока генератора  $\Phi$  или комбинации этих величин. Таким образом, в общем виде можно написать дифференциальные уравнения:

$$\Phi = \Phi_0 + \sum \Phi_i(\Phi, n, I),$$

$$\Phi_m = \Phi_{om} + \sum \Phi_{mi}(\Phi, n, I).$$

При допущении  $v = \text{const}$  можно  $\Phi_m$  и  $\Phi_{mi}$  заменить через э. д. с. двигателя  $E_m$  и  $E_{mi}$ . К это-

му следует добавить дифференциальное уравнение движения дизель-генератора

$$M_0 - M_z = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt}, \quad (5)$$

где

$$M_0 = f(n)$$

и

$$M_z = f(\Phi, I).$$

Приведя эти дифференциальные уравнения к линейным по методу малых колебаний, можно составить характеристическое уравнение вида:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0. \quad (6)$$

Постоянные коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  включают установившиеся значения  $\Phi$ ,  $I$  и  $n$  и постоянные времени дизеля, генератора и силовой цепи. Применяя критерий устойчивости, можно по этим коэффициентам определить условия устойчивости.

Если принять постоянную времени силовой цепи, равной нулю [допущение (4)], то для схемы по рис. 3 получится характеристическое уравнение 2-го порядка

$$a_0 p^2 + a_1 p + a_2 = 0. \quad (7)$$

Условие устойчивости в этом случае выражается, как известно, двумя неравенствами:

$$a_1^2 > 0 \quad (8)$$

и

$$a_2 > 0. \quad (9)$$

Условие аperiodичности переходного процесса выразится неравенством

$$a_1^2 > 4 a_0 a_2. \quad (10)$$

Выполнение неравенств (8) и (9) является обязательным, так как в противном случае система будет неустойчивой. Если при выполнении (8) и (9) неравенство (10) не будет выполнено, переходный процесс будет иметь характер затухающего колебания, что во многих случаях является недопустимым в связи с опасностью тяжелых условий коммутации в генераторе и двигателях.

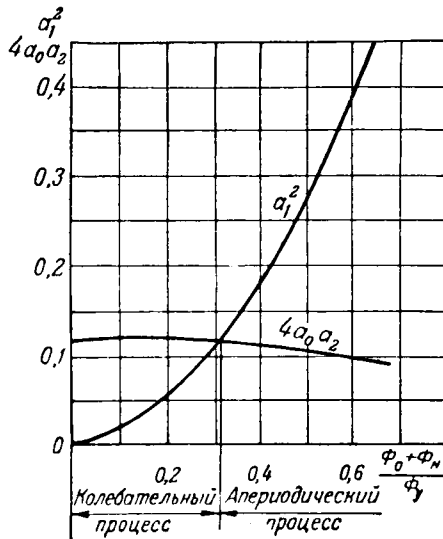


Рис. 4. Условие апериодичности при высокой скорости.

Отметим, что в коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$  и  $a_2$  входят установившиеся значения магнитных потоков, создаваемых отдельными обмотками, и постоянные времени машин. Эти величины меняются одновременно с режимом работы электрической передачи. Поэтому проверка устойчивости и апериодичности должна производиться для нескольких различных режимов установившегося движения.

В приложении приведен вывод уравнений для часто применяемой схемы с трехобмоточным генератором, независимая обмотка которого питается неизменным по величине током, и серийными двигателями (рис. 3). Для простоты вывод сделан в предположении, что в схеме имеется один тяговый двигатель.

В качестве примера анализа и для выяснения влияния различных параметров данной схемы ниже рассматриваются условия устойчивости и апериодичности для некоторых режимов. Цифровые величины взяты по данным одного из выполненных по этой схеме средства транспорта.

**Пример 1.** При высокой скорости движения ток главной цепи мал, следовательно, тяговые двигатели не насыщены. В этом случае можно принять:

$$\begin{aligned}\Phi_{cy} &= 0, \\ E_y &= E'_{cy}, \\ k_{ш} &= \frac{\Phi_0 + \Phi_n}{\Phi_y}.\end{aligned}$$

Отсюда

$$a_1 = \frac{\Phi_0 + \Phi_n}{\Phi_y} + \frac{T_z}{T_\partial} + \frac{T_z}{T_m}, \quad (11)$$

$$a_2 = \frac{1}{T_\partial} \left( 2 - \frac{\Phi_0 + \Phi_n}{\Phi_y} \right) + \frac{1}{T_m} \frac{\Phi_0 + \Phi_n}{\Phi_y}. \quad (12)$$

Коэффициенты всегда положительны, следовательно, устойчивость обеспечена. Возможность колебаний при переходном процессе увеличивается с относительным уменьшением потока независимой обмотки и насыщения генератора (т. е. с увеличением влияния шунтовой обмотки).

Для данного режима параметры системы таковы  $T_z = 0,06$  сек.,  $T_\partial = 3,9$  сек.,  $T_m = 8$  сек.,  $\frac{\Phi_0 + \Phi_n}{\Phi_y} = 0,9$ .

На рис. 4 построены кривые  $a_1^2$  и  $4a_0a_2$ , из которых видно, что при  $\frac{\Phi_0 + \Phi_n}{\Phi_y} > 0,315$  процесс имеет апериодический характер, при меньших значениях — колебательный. Уменьшение  $\frac{\Phi_0 + \Phi_n}{\Phi_y}$  соответствует относительному увеличению шунтовой обмотки или уменьшению насыщения.

С увеличением потока  $\Phi_{cy}$  противокомпаундной обмотки генератора  $a_1$  увеличивается, а  $a_2$  уменьшается. Следовательно, противокомпаундная обмотка расширяет область апериодической работы. К тому же увеличение противокомпаундной обмотки связано с увеличением независимой, что также благоприятно.

Насыщение тяговых двигателей ведет к увеличению

$$\frac{E_y}{E_{cy}} = \frac{E_y}{E_y - E_0}.$$

При этом увеличивается одновременно  $a_1$  и  $a_2$ , но так как  $\frac{T_z}{T_\partial}$  и  $\frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y}$  малы в сравнении с  $k_{ш}$ , то  $a_2$  увеличивается больше, чем  $a_1$ , и, следовательно, с увеличением насыщения двигателей область апериодической работы уменьшается.

**Пример 2.** При больших силах тяги и малых скоростях двигатели сильно насыщены, генератор не насыщен. Можно принять  $\Phi_0 = 0$ .

Тогда

$$a_1 = k_{ш} + \frac{T_z}{T_\partial} \frac{E_y}{E'_{cy}} + \frac{T_z}{T_m}, \quad (13)$$

$$a_2 = \frac{1}{T_\partial} \left[ \frac{E_y}{E'_{cy}} \left( 1 - \frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} \right) + \frac{\Phi_{шy}}{\Phi_y} + \frac{k_{ш}}{T_m} \right]. \quad (14)$$

Для того же частного случая при ненасыщенном генераторе  $T_z = 0,22$  сек. Для тока двигателей, прибли-

зительно равного  $0,8 I_{\max}$ ,  $\frac{E_y}{E'_{cy}} = 1,35$ ,  $k_{ш} = 0,74$ ,  $\frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} = 1,06$ .

Во всех случаях процесс является апериодическим. На рис. 5 показана кривая зависимости

$$4a_0a_2 = f\left(\frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y}\right)$$

для двух значений  $T_m$ . Кривые показывают, что относительное увеличение противокомпаундной обмотки может привести к неустойчивой работе. Предел устойчивости в сильной степени зависит от характеристики дизеля. Чем резче увеличивается вращающий момент дизеля с уменьшением  $n$ , т. е. чем меньше  $T_m$ , тем более устойчива система.

Физически неустойчивость системы при большом влиянии противокомпаундной обмотки объясняется тем, что в этой зоне увеличение тока, вызванное увеличением скорости, приводит не к увеличению нагрузочного момента генератора, а к уменьшению его вследствие преобладающего действия противокомпаундной обмотки. В этой зоне устойчивая работа системы невозможна. Скорость вращения дизеля либо увеличивается до предельного значения, при котором регулятор дизеля уменьшит подачу топлива, либо упадет до величины, при которой система станет устойчивой.

Из равенства (14) видно, что шунтовая обмотка действует благоприятно, увеличивая область устойчивой работы.

Указанный метод можно применить и для других схем. Как видно из изложенного, он позволяет относительно просто по расчетным установившимся величинам произвести приближенный расчет условий устойчивости и апериодичности при проектировании электрической передачи.

**Приложение.** Вывод уравнений для схемы рис. 3. В соответствии с принятым допущением прямолинейности магнитных характеристик магнитный поток генератора

$$\Phi = \Phi_0 + a(w_n i_n + w_{ш} i_{ш} - w_c I)$$

$$\text{или} \quad \Phi = \Phi_0 + \Phi_n + \Phi_{ш} - \Phi_c, \quad (15)$$

$$\text{где} \quad \Phi_n = a w_n i_n, \quad \Phi_{ш} = a w_{ш} i_{ш}, \quad \Phi_c = a w_c I,$$

$a$  — коэффициент в уравнении (3);  $w_n$ ,  $i_n$ ,  $w_{ш}$ ,  $i_{ш}$ ,  $w_c$  и  $I$  — числа витков и величины тока в независимой, шунтовой и противокомпаундной обмотках генератора.

Для цепей независимой и шунтовой обмоток можно написать (пренебрегая падением напряжения в якоре генератора):

$$E_n = i_n R_n + 2p_2 w_n \frac{d\Phi}{dt}, \quad (16)$$

$$E = k \Phi n = i_{ш} R_{ш} + 2p_2 w_{ш} \frac{d\Phi}{dt}, \quad (17)$$

где  $E_n$  — э. д. с. источника питания независимой обмотки;

$R_n$  — сопротивление цепи независимого возбуждения;

$E$  — э. д. с. генератора;

$R_{ш}$  — сопротивление цепи шунтовой обмотки;

$p_2$  — число пар полюсов генератора.

Отсюда

$$\Phi_n = \frac{a w_n E_n}{R_n} - \frac{2p_2 a w_n^2}{R_n} \frac{d\Phi}{dt},$$

$$\Phi_{ш} = \frac{a w_{ш} k}{R_{ш}} \Phi n - \frac{2p_2 a w_{ш}}{R_{ш}} \frac{d\Phi}{dt}.$$

При установившемся режиме

$$\Phi_{ny} = \frac{a w_n E_n}{R_n}, \quad (18)$$

$$\Phi_{шy} = \frac{a w_{ш} k}{R_{ш}} \Phi_y n_y, \quad (19)$$

$$\Phi_{cy} = a w_c I_y. \quad (20)$$

Коэффициенты при производных  $\frac{d\Phi}{dt}$  представляют собой постоянные времени обмоток

$$T_n = \frac{2p_2 a w_n^2}{R_n}, \quad (21)$$

$$T_{ш} = \frac{2ap_2 w_{ш}^2}{R_{ш}}. \quad (22)$$

Выразив производные в операционной форме, получим после подстановки в равенстве (15) и преобразования:

$$(T_n + T_{ш}) p \Phi = \Phi_0 + \frac{\Phi_{шy}}{\Phi_y n_y} \Phi n + \Phi_{ny} - \Phi - \frac{\Phi_{cy}}{I_y} I_y. \quad (23)$$

Из уравнения (23) видно, что постоянные времени независимой и шунтовой обмоток суммируются, их можно заменить общей постоянной времени генератора

$$T_g = T_n + T_{ш}. \quad (24)$$

Выразим переменные величины через отклонения от установившихся значений

$$\Phi = \Phi_y + \Delta \Phi,$$

$$n = n_y + \Delta n,$$

$$I = I_y + \Delta I.$$

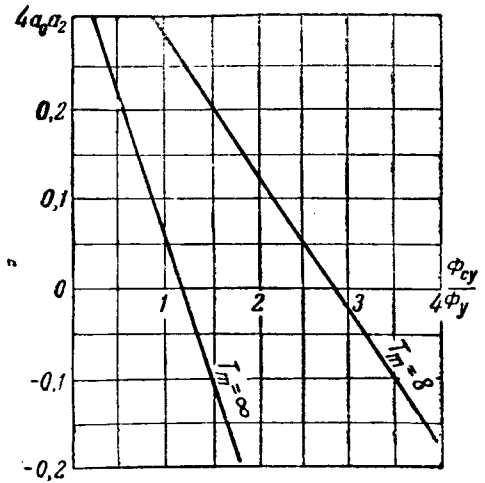


Рис. 5. Пределы устойчивой работы при большой нагрузке.

Разлагая равенство (23) в ряд с сохранением первых членов разложения, после преобразования получим:

$$(T_g p + k_{ш}) \Delta \Phi - \frac{\Phi_{шy}}{n_y} \Delta n + \frac{\Phi_{cy}}{I_{cy}} \Delta I = 0, \quad (25)$$

где

$$k_{ш} = 1 - \frac{\Phi_{шy}}{\Phi_y}. \quad (26)$$

Равенство (25) представляет собой дифференциальное уравнение возбуждения генератора.

Дифференциальное уравнение вращения дизель-генератора

$$M_d - M_z = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = m \frac{dn}{dt}, \quad (27)$$

$$M_z = b \Phi I. \quad (28)$$

Пользуясь равенствами (2), (27) и (28), можно написать в операционной форме

$$A - Dn - b \Phi I = m p n.$$

После разложения в ряд и преобразований, получим дифференциальное уравнение движения дизель-генератора

$$(mp + D) \Delta n + \frac{M_d}{\Phi_y} \Delta \Phi + \frac{M_d}{I_y} \Delta I = 0. \quad (29)$$

Для силовой цепи можно написать:

$$E = E_m + I R_c, \quad (30)$$

где  $E_m$  — э. д. с. двигателя;  $R_c$  — сопротивление силовой цепи.

Для серийного двигателя магнитный поток

$$\Phi_m = \Phi_{m0} + a_m w_m I \quad (31)$$

и

$$E_m = k_m \Phi_m v, \quad (32)$$

где  $k_m$  — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных параметров двигателя.

Так как скорость движения машины принята постоянной, то пропорциональность между  $E_m$  и  $\Phi_m$  при переходных процессах сохраняется, поэтому в уравнении можно оперировать с  $E_m$ .

Обозначим:

$$E_3 = k_m \Phi_{m0} v.$$

Тогда, подставив в равенство (30) и используя равенства (31) и (32), получим:

$$k \Phi n = E_0 + a_m \omega_m k_m v I + R_c I. \quad (33)$$

При установившемся режиме

$$E_y = E_0 + a_m \omega_m k_m v I_y + R_c I_y = E_0 + E_{cy} + R_c I_y.$$

Из равенства (33) видно, что влияние падения напряжения в силовой цепи сводится как бы к увеличению части э. д. с. двигателя, зависящей от тока.

Обозначив:

$$E'_{cy} = E_{cy} + R_c I_y, \quad (34)$$

получим:

$$k \Phi n = E_0 + \frac{E'_{cy}}{I_y} I.$$

Разлагая последнее равенство в ряд, получим после преобразования уравнение силовой цепи в форме

$$\frac{E_y}{\Phi_y} \Delta \Phi + \frac{E_y}{n_y} \Delta n - \frac{E'_{cy}}{I_y} \Delta I = 0. \quad (35)$$

Система линейных дифференциальных уравнений (25), (29) и (35) представляет собой уравнения малых колебаний системы дизель—генератор—двигатели при малом возмущении какого-либо из параметров.

Как известно, характер вызванного малым возмущением движения не зависит от способа, которым возмущение вызвано. Устойчивость системы определяется корнями характеристического уравнения, которое получается приравнянием нулю главного определителя системы уравнений.

Определитель системы уравнений (25), (29) и (35):

$$\begin{vmatrix} T_z p + k_{ш} & -\frac{\Phi_{шv}}{\Phi_y} & \frac{\Phi_{cy}}{I_y} \\ \frac{M_\partial}{\Phi_y} & mp + D & \frac{M_\partial}{I_y} \\ \frac{E_y}{\Phi_y} & \frac{E_y}{n_y} & -\frac{E'_{cy}}{I_y} \end{vmatrix}$$

Приравняв его нулю и развернув, получим после преобразования характеристическое уравнение

$$T_z p^2 + \left( k_{ш} + \frac{T_z}{T_\partial} \frac{E_y}{E'_{cy}} + \frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} \frac{E_y}{E'_{cy}} + \frac{T_z}{T_m} \right) p + \frac{1}{T_\partial} \left( \frac{E_y}{E'_{cy}} + \frac{\Phi_{шy}}{\Phi_y} - \frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} \right) + \frac{1}{T_m} \left( k_{ш} + \frac{E_y}{E'_{cy}} \frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} \right) = 0. \quad (36)$$

Это уравнение второго порядка вида

$$a_0 p^2 + a_1 p + a_2 = 0,$$

причем

$$a_0 = T_z, \quad (37)$$

$$a_1 = k_{ш} + \frac{T_z}{T_\partial} \frac{E_y}{E'_{cy}} + \frac{T_z}{T_m} + \frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} \frac{E_y}{E'_{cy}}, \quad (38)$$

$$a_2 = \frac{1}{T_\partial} \left[ \frac{E_y}{E'_{cy}} \left( 1 - \frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} \right) + \frac{\Phi_{шy}}{\Phi_y} \right] + \frac{1}{T_m} \left( k_{ш} + \frac{E_y}{E'_{cy}} \frac{\Phi_{cy}}{\Phi_y} \right), \quad (39)$$

где

$$T_\partial = \frac{m n_y}{M_\partial}, \quad (40)$$

$$T_m = \frac{m}{D}. \quad (41)$$

#### Литература

1. В. Н. Богоявленский. Электрические трансмиссии гусеничных и колесных машин. Машгиз, 1946.
2. А. С. Димитрадзе. Элементы теории электрической передачи от дизеля к осям. Электричество, № 3, 1945.
3. А. Д. Степанов. Тепловозы и автотрассы с электрической передачей. Госэнергоиздат, 1945.

[22. 10. 1948]



# Из истории русского трамвая

Кандидат техн. наук Ю. М. ГАЛОНЕН

Москва

Трамвай является самым старым видом массового пассажирского городского наземного электротранспорта.

Пуск первого трамвайного вагона в мире состоялся в России в

1876 г.<sup>1</sup>, когда была осуществлена опытная эксплуатация трамвая на Песках в Петербурге по инициативе русского новатора-энергетика Федора Аполлоновича Пироцкого [Л. 1]. И только пять лет спустя был пущен трамвай на линии Берлин — Лихтерфельде.

Первые опыты передачи электрической энергии по рельсовым путям были осуществлены также в России, в Сестрорецке в 1876 г. [Л. 2], т. е. на 3 года раньше показанного на Берлинской промышленной выставке в 1879 г. использования контактного рельса для передачи электроэнергии к полугрузовому электропоезду.

Указанным опытом предшествовала осуществленная Ф. А. Пироцким в 1874 г. на Волковом поле в Петербурге передача на расстояние электрической энергии по проводам для приведения в движение электрической машины, работавшей двигателем.

Первые перевозки людей с помощью электричества вообще были осуществлены еще раньше — в 1838 г. в Петербурге русским академиком Б. С. Якоби.

Возможность передачи электрической энергии на расстояние в целях получения механического движения высоко оценивалась Ф. Энгельсом<sup>2</sup>. В письме к Бернштейну Энгельс писал: «Паровая машина научила нас превращать тепло в механическое движение, но использование электричества откроет нам путь к тому, чтобы превращать все виды энергии — теплоту, механическое движение, электричество, магнетизм, свет — одну в другую и обратно и применять их в промышленности...».

## Зарождение трамвайного хозяйства в России.

После появления в 1876 г. первого трамвая в мире — русского трамвая Ф. А. Пироцкого —

<sup>1</sup> В заметке Ю. М. Галонена и А. Г. Файна (Электричество, № 3, 1949, стр. 92) это событие было ошибочно отнесено к 1880 г.

<sup>2</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. XXVII, стр. 289.

Отмечается принадлежащий России приоритет первого трамвая в мире. Освещается развитие русского дореволюционного и современного советского трамвайного транспорта. Указываются научные достижения в области трамвайного хозяйства, намечается направление научно-исследовательских работ в этой области и приводятся некоторые соображения по вопросам дальнейшего развития трамвая.

возникает ряд новых русских трамвайных предприятий. Правда, в первые годы организация трамвайных предприятий протекала крайне медленно вследствие сильной конкуренции конки.

Старейшими из трамвайных предприятий России являются трамваи городов: Киева (1891 г.), Казани (1894 г.), Нижнего-Новгорода (1895 г.), Днепропетровска (1897 г.), Курска (1897 г.), Орла, Севастополя (1898 г.), Витебска (1898 г.), Москвы (1899 г.), Ярославля (1900 г.), Твери, Ростова-на-Дону, Смоленска (1901 г.), Астрахани (1902 г.), Пятигорска (1903 г.), Владикавказа (1904 г.), Тифлиса (1905 г.), Харькова (1906 г.) и др.

Всего в дореволюционный период в России было создано 35 трамвайных предприятий.

Славное революционное прошлое принадлежит московским рабочим трамвая. В 1909 г. на Миусской (ныне Калининской) тяговой трамвайной подстанции в Москве работал помощником монтера и вел большую революционную работу Михаил Иванович Калинин. Трамвайщики активно помогали бастующим рабочим вести борьбу против капиталистов, отключая электропитание подстанций и не давая тем самым использовать штрейхбрехеров.

Десять лет назад в Колонном зале Дома союзов, на торжественном заседании, посвященном 40-летию Московского трамвая, выступил М. И. Калинин, который отметил революционные и производственные заслуги трамвайщиков, восстановивших трамвайное хозяйство после Великой Октябрьской социалистической революции.

Интересно проследить на примере Московского трамвая историю возникновения и развития трамвайных предприятий, так как она повторялась с некоторыми вариациями и в других городах, а также отражает уже пройденные когда-то этапы развития более старых трамвайных предприятий.

Акционерные общества, эксплуатировавшие конную железную дорогу в Москве (Первое общество конных железных дорог, основанное в 1871 г. Уваровым и Крузе, и Второе общество конных железных дорог, основанное в 1883 г.

Горчаковым), заботясь не об удобствах для пассажиров, а исключительно о своих высоких прибылях, были настроены враждебно ко всяким нововведениям, требовавшим перевода значительных капиталов в основные средства. И когда московское купечество в предвидении больших прибылей от организации нового вида транспорта все же поставило в 1887 г. перед Городской думой вопрос о разрешении введения в Москве электрических железных дорог, дума ответила отказом (Отчет заседания Московской городской думы 4 августа 1887 г., стр. 638). Затем после почти десятилетней волокиты испрашиваемое разрешение было, наконец, выдано в 1896 г.

И вот, 26 марта 1899 г. в Москве была пущена первая трамвайная линия, соединявшая Бутырскую заставу с Петровским парком. После опробования линия некоторое время бездействовала, ввиду запрещения московского обер-полицмейстера Трепова, не желавшего, как в шутку говорили в то время, допустить, чтобы существовали «какие-то трамваи», которых не в состоянии обогнать... его полицеймейстерские лошади! Лишь после особого предписания из Петербурга нормальное движение трамвая было разрешено.

Строительство новых линий трамвая в Москве началось с 1900 г. Регулярное движение на линиях трамвая открылось в 1902 г.; первые вагоны отечественного производства, изготовленные Рижским заводом «Двигатель», поступили на Московский трамвай в 1908 г. В 1910 г. трамвайные вагоны стали выпускаться Мытищинским вагоностроительным заводом. Желобчатые трамвайные рельсы Москва стала получать с Юзовского рельсопрокатного завода в 1903 г.

**Послереволюционное развитие трамвая.** В наследие от царской России осталось 35 маломощных, с полуразрушенным подвижным составом трамвайных предприятий.

За годы первой мировой войны и затем гражданской войны (1917—1920 гг.) трамвайное хозяйство пришло в полное расстройство и упадок. Городской транспорт работал напряженно, средств и материалов для ремонта почти не было и состояние подвижного состава, путей и других сооружений трамвая ухудшалось изо дня в день. Доля пассажирских перевозок катастрофически упала. К концу 1920 г. 15 трамвайных предприятий полностью прекратили работу, 8 предприятий, работали только 4 месяца в году, а остальные 12 перевозили, главным образом, топливо.

По окончании гражданской войны началось восстановление разрушенного трамвайного хозяйства. Широко развернулось трамвайное вагоностроение на Мытищинском вагоностроительном заводе; завод «Электросила» стал выпускать ртутные выпрямители для тяговых подстанций; Днепропетровский и Юзовский рельсопрокатные заводы стали катать трамвайные рельсы. В результате всего этого к 1924 г. было восстановлено 14 трамвайных предприятий и построено 3

новых: в Баку, Ногинске и Старой Руссе. С 1925 г. начинается постройка новых трамвайных вагонов на Коломенском и Сормовском вагоностроительных заводах. В том же году трамвайные предприятия Москвы, Ленинграда, Киева и других городов СССР выдали заказ отечественным заводам на постройку 350 трамвайных вагонов, на прокат желобчатых рельсов и другое оборудование. В 1926—1927 гг. наряду с реконструкцией старых трамвайных предприятий были построены и введены в эксплуатацию новые трамвайные предприятия в 4 городах: Воронеже, Сталино, Макеевке и Туле. Наибольший размах строительство новых трамвайных предприятий приняло в годы сталинских пятилеток.

Коренному улучшению трамвайного хозяйства в СССР и дальнейшему его развитию способствовало историческое постановление XVIII съезда ВКП(б) о развитии городского хозяйства СССР.

В первой пятилетке было построено 11 и во второй 20 новых трамвайных предприятий. За 15 лет интенсивного строительства, начиная с 1924 г., в СССР вводится в строй 45 новых трамвайных предприятий и общее число трамвайных предприятий достигает к 1949 г. 80 или 228% к 1913 г. Об укрупнении вновь построенных хозяйств свидетельствует, например, показатель протяженности трамвайных путей: к 1941 г. достигшей 4 051 км против 1 586 км в 1913, или 255% к 1913 г., а также число трамвайных вагонов, выросшее до 10 580 шт. против 4 253 в 1913 г., что соответствует 250% к 1913 г. Число перевезенных пассажиров всеми трамваями СССР в 1940 г. достигло 7,11 млрд.; число поездок, приходящихся на одного жителя в год, возросло по сравнению с дореволюционным периодом, со 107 до 365, т. е. увеличилось в 3,4 раза.

В Москве вместе с ростом за годы сталинских пятилеток всего городского хозяйства выросло и трамвайное хозяйство. В 1941 г. трамваем столицы было перевезено 1 842 млн. пассажиров, т. е. 720% по сравнению с пассажироперевозками 1913 г.

Число поездок, приходящихся на одного жителя столицы, составило в 1940 г. около 400, что в 2,8 раза превышает уровень 1913 г. Расширилась также и рельсовая сеть трамваев столицы, достигшая к 1947 г. 552 км, что составляет 204% к 1913 г. Сильно изменился и подвижной состав трамвая, обеспечивающий удобство и быстроту передвижения пассажиров на 56 маршрутах Московского трамвая.

К концу текущей пятилетки сильно вырастет число вагонов подвижного состава трамвая и в том числе резко увеличится удельный вес новых комфортабельных вагонов.

После 1940 г. удельный вес пассажироперевозок трамвая в общем пассажирообороте городского транспорта Москвы вследствие повышения роли других видов транспорта постепенно снижается. Так, если в 1934 г. в Москве удельный вес пассажироперевозок трамвая по отношению к перевозкам всеми видами пассажирского транс-

порта города составлял 95%, то в 1941 г. цифра эта снизилась до 70%, а в 1946 г. уже до 54%.

Удельный вес пассажироперевозок Московского трамвая по отношению к другим видам городского пассажирского транспорта виден из табл. 1.

Таблица 1

Вид городского транспорта	Пассажироперевозки, %	
	1936 г.	1943 г.
Трамвай . . . . .	86,9	54,1
Троллейбус . . . . .	1,3	9,8
Метрополитен . . . . .	5,2	30,5
Автобус . . . . .	6,6	5,6
Итого . . . . .	100,0	100,0

Аналогичная тенденция снижения удельного веса трамвайных пассажироперевозок наблюдается и в других городах СССР.

**Новаторы русского трамвая.** Развитию отечественного трамвайного хозяйства сильно способствовал Александр Викторович Вульф (1867—1923 гг.), который основал электротяговую специальность в Петербургском политехническом институте в 1912 г. и издал в том же году первый русский систематизированный труд по теории электрической тяги. К числу способнейших учеников А. В. Вульфа следует отнести: члена-корреспондента Академии наук СССР Алексея Борисовича Лебедева (1883—1941 гг.) — создателя капитального труда по основам электрической тяги (1937 г.) и доктора техн. наук Вадима Александровича Шевалина (1883—1941 гг.) — создателя труда по тяговым расчетам электрических железных дорог и трамваев (1931 г.).

Говоря о людях, способствовавших постройке, развитию и совершенствованию трамвайного хозяйства в России, вообще, и в Москве, в частности, следует прежде всего упомянуть о неутомимом деятеле, подлинном энтузиасте трамвайного дела инженере Петре Кирилловиче Пешекерове (1864—1943 гг.), начавшем свою работу на Севастопольском и Кременчугском трамваях, а в 1907 г. перешедшем на работу в Московский трамвай, где он последовательно занимал должности от начальника службы подвижного состава до помощника главного инженера. К особым заслугам П. К. Пешекерова, следует отнести его труды по организации Постоянного бюро всесоюзных трамвайных съездов (1922 г.), впоследствии — 1934 г. — преобразованного во Всесоюзное научное инженерно-техническое общество городского электротранспорта (ВНИТО ГЭТ). Начиная с 1922 г. до последних дней своей жизни, П. К. Пешекеров состоял бессменным председателем этого общества, способствуя координации работы отдельных трамвайных предприятий, их росту и развитию. Под редакцией П. К. Пешекерова издавался Трамвайный бюллетень, Труды Постоянного бюро всесоюзных трамвайных

съездов, журналы «Транспорт и дороги города», а затем «Коммунальное строительство».

К числу старейших работников первого периода существования Московского трамвая нужно отнести инж. Михаила Константиновича Поливанова (1875—1927 гг.), который многое сделал для упорядочения электроснабжения трамвайной сети города. По его инициативе, в частности, трамвайная московская электростанция была оборудована турбогенераторами. Свою практическую деятельность по заведыванию электростанцией трамвая и многолетнему руководству Московским трамваем, М. К. Поливанов удачно сочетал с педагогической деятельностью, читая курс электрических станций в Московском высшем техническом училище.

Внедрению новой электротехники на трамвае много содействовал академик Клавдий Ипполитович Шенфер (1885—1946 гг.), в частности, своими работами по рекуперации электрической энергии.

В послереволюционный период на Московском трамвае начал работать слесарем А. И. Литвиненко (1889—1948 гг.), занимавший затем пост начальника Технического отдела управления трамвая и внесший ценные предложения по системе ремонтов на трамвае и по выбору типов нового подвижного состава трамвая.

Развитию Петербургского трамвая в первые годы много способствовала деятельность инженера, в дальнейшем академика, Г. О. Графтио, а также инж. Ю. К. Гринвальда. К числу активнейших деятелей Ленинградского трамвая относится инж. А. Х. Зильберталь (1889—1942 гг.), бывший руководитель Технического отдела Управления трамвая, известный своими научными трудами по эксплуатации трамвая, а также работой по рекуперации энергии на электрических железных дорогах и трамваях (1932 г.).

**Подвижной состав.** В первый период существования трамвая на трамвайных предприятиях эксплуатировались малоемкие и неудобные вагоны, переделанные из вагонов конки (рис. 1).

Вагоны дореволюционной постройки отличались малой энерговооруженностью (порядка 4 квт/т), малой скоростью, наличием деревянного кузова длиной до 8—9 м. Вагоны эти были двухосными, с открытыми площадками.

После революции трамвайные вагоны для Москвы и других городов СССР начал строить Мытищинский вагоностроительный завод, освоивший в 1926 г. выпуск цельнометаллических трамвайных вагонов с цельнокорпусными вентилируемыми тяговыми электродвигателями. 1935 г. знаменуется выпуском опытных обтекаемых четырехосных трамвайных вагонов с серийными и с компаундными тяговыми двигателями.

В 1938 г. в г. Москве поступил в эксплуатацию обтекаемый четырехосный большеемкий трамвайный вагон серии М-38 с контакторной системой управления, оборудованный компаундными тяговыми двигателями типа ДК-251. Как показали проведенные с участием автора исследования [Л. 3], вагон М-38 развивает пусковое ускорение 1,14 м/сек<sup>2</sup> против 0,4—0,7 м/сек<sup>2</sup> для



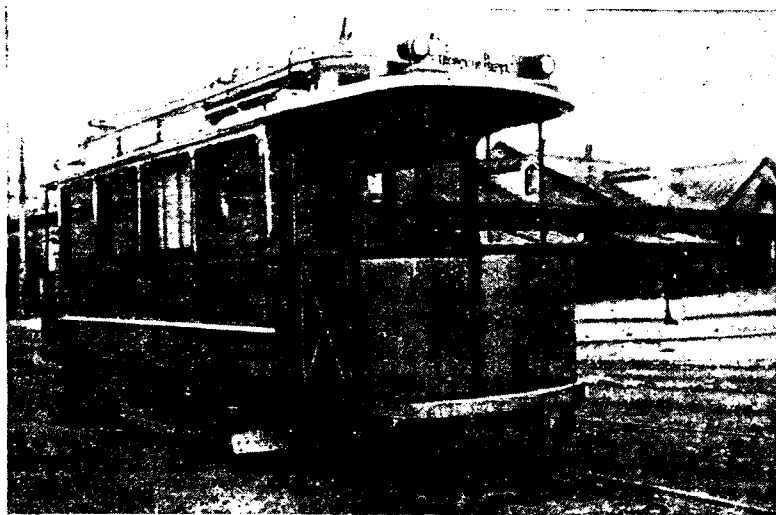


Рис. 1. Первый вагон Московского трамвая 1899 г.

вагонов старого типа. Максимальная скорость вагона достигала 55 км/час.

По окончании Великой Отечественной войны начинает широко проводиться модернизация трамвайных вагонов в Москве путем переоборудования их на одностороннее движение с оставлением одного поста управления, выделением отдельной кабины для водителя и созданием больших удобств для пассажиров. Модернизация трамвайных вагонов проводится также в Ленинграде, Челябинске, Ростове-на-Дону, Тбилиси, Риге и других городах.

1947 г. знаменуется переходом от трамвайной подвески тяговых двигателей с цилиндрической зубчатой передачей к современным быстроходным тяговым двигателям с карданным валом, которыми оборудуются новые цельнометаллические трамвайные вагоны: двухосный, бестележеч-

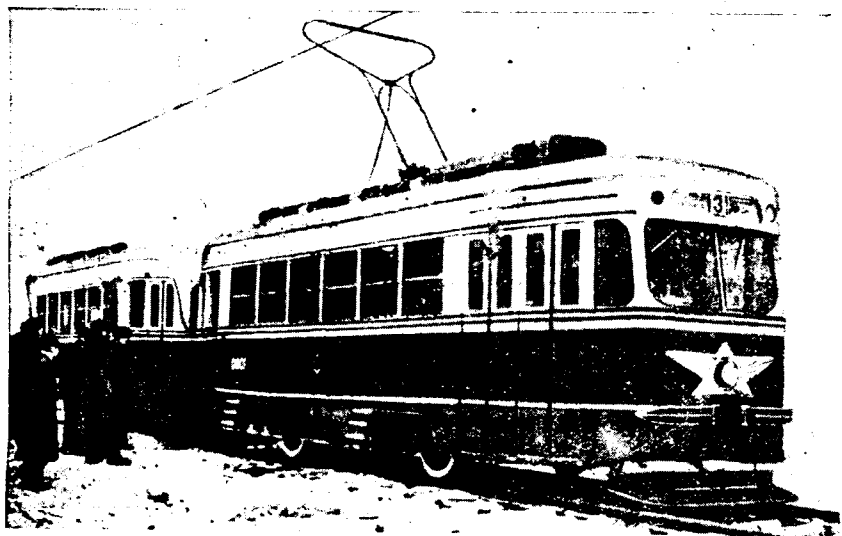


Рис. 2. Двухосный бестележечный трамвайный вагон Усть-Катавского завода типа КТМ-1 с прицепом, оборудованный быстроходными тяговыми двигателями.

ный вагон с прицепом производства Усть-Катавского завода им. Кирова (рис. 2) типа КТМ-1 и четырехосный вагон производства Тушинского завода типа МТВ-82 (рис. 3), построенный специально для Москвы. Вагоны эти являются трамвайными вагонами переходного типа.

В 1947 г. Ленинградский трамвай выпускает цельнометаллический трамвайный вагон типа ЛМ-4 и проводит работы с системой автоматического пуска. В том же 1947 г. Рижский трамвай выпускает вагоны сочлененного типа серии РТ-47 (рис. 4), представляющие собой четырехосный вагон с подвесной средней частью, оборудованный всего двумя тяговыми двигателями. Вагоны этого типа хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации в Риге.

Характеристика различных типов русских трамвайных вагонов с 1892 по 1949 г. приводится в табл. 2. Видное место в этой таблице занимают вагоны проекта серии Академии коммунального хозяйства [Л. 4]. В основу серии положена предельная унификация кузовов и прочих конструктивных элементов трамвая, троллейбуса и автобуса. Серия новых трамвайных вагонов состоит из: 1) бестележечного двухосного трамвайного вагона на 38 мест для сидения длиной 10,5 м; 2) четырехосного вагона на 56 мест длиной 15,3 м; 3) четырехосного бестележечного вагона сочлененного типа длиной 21,75 м на 76 мест; 4) шестиосного сочлененного вагона длиной 22,8 м на 80 мест; 5) восьмиосного сочлененного вагона длиной 30,85 м на 99 мест. Трамвайные вагоны серии Академии коммунального хозяйства подлежат оборудованию быстроходными тяговыми двигателями с автоматической системой управления.

Характерной особенностью вагонов нового типа является, в частности, применение планировки кузова со входными дверями, расположенными в передней части вагона, и с выходными — по середине и на конце вагона, открываемыми при остановке трамвая от нажатия ногой пассажира на подножку. Один из вагонов серии представлен на рис. 5.

Данные, приведенные в табл. 2, показывают, насколько современные вагоны отечественного производства, в особенности вагоны сочлененного типа, далеко ушли от своих предшественников. Сравнительные скорости и динамические показатели трамвайных вагонов старого и нового типов приводятся в табл. 3.

**Тяговые двигатели.** Трамвайные вагоны ранней дореволюционной постройки оборудовались тяговыми двигателями, в которых передача тягового усилия от вала тягового дви-

гателя к оси вагона осуществлялась с помощью ременной, канатной, затем цепной и начиная с 1889 г. — зубчатой передачи.

Интересно, что в отличие от последующих типов одна из первых специальных конструкций тягового двигателя, применявшегося на Киевском трамвае, представляла собой тяговый цельнокорпусный двигатель открытого исполнения с высокой для того времени скоростью вращения — 1150 об/мин, обусловившей необходимость применения двойной зубчатой передачи, с целью предупреждения превышения предельной в то время скорости движения вагона — 10 верст/час.

В 1919 г. заводом ХЭМЗ было освоено производство тягового двигателя отечественной конструкции типа ВК-202. В 1925 г. завод «Динамо» выпускает для Москвы современный тяговый двигатель типа ДМ-1а.

Большим шагом вперед является выпуск заводом «Динамо» им. Кирова быстроходных трамвайных тяговых двигателей, в корне изменивших устарелые конструкции трамвайных вагонов.

Основные типы тяговых двигателей, применявшиеся на русских трамваях с 1892 по 1948 г., и их техническая характеристика приводятся в табл. 4.

Прогресс в производстве быстроходных тяговых двигателей отечественного производства виден из сопоставления их с тихоходными двигателями. Вес тягового двигателя типа ДК-253-Б

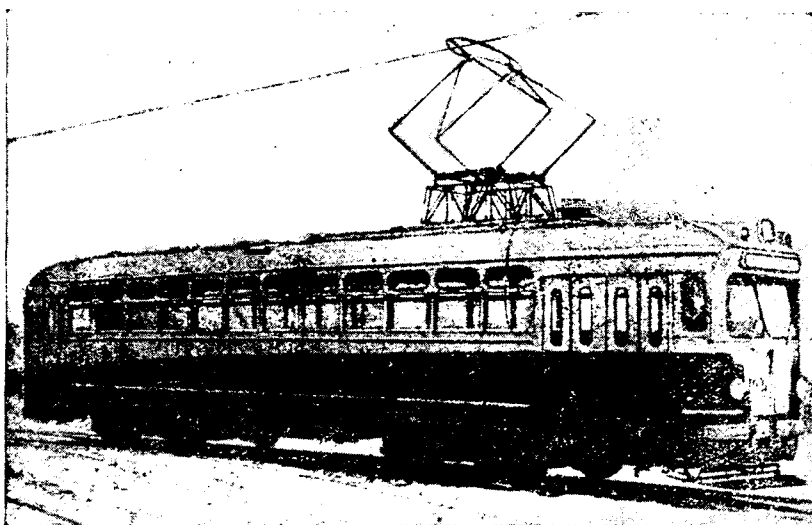


Рис. 3. Четырехосный цельнометаллический трамвайный вагон типа МТВ-82, оборудованный быстроходными тяговыми двигателями.

мощностью 55 квт, 1750 об/мин оказывается в 1,8 раза меньше, чем у двигателя типа ДТИ-60 равной с ним мощности при 810 об/мин, что свидетельствует о высоком техническом уровне производства быстроходных отечественных тяговых двигателей. К некоторым недостаткам тяговых двигателей последнего выпуска следует отнести выполнение изоляции обмоток двигателя ДК-254-А по классу нагревостойкости А.

Тяговые характеристики современного быстроходного тягового двигателя типа ДК-255-А, работающего при напряжении 300 в с передачей 1:8,11, даны на рис. 6.

Аппаратура управления. Взамен барабанных контроллеров, ограничивающих применение тя-

Таблица 2

Год выпуска	Тип вагона	Мощность тягового двигателя, квт	Число двигателей	Габариты вагона		Вес (тара), т	Число мест		Относительный вес, кг	
				длина, м	ширина, м		для сидения	всего	на место для сидения	на квадратный метр площади пола
1892	Киевский двухосный . . . . .	19,8	2	5,0	1,8	4,2	22	40	192	520
1907	Московский двухосный, фонарный . . . . .	33,1	2	11,0	2,2	14,5	20	52	725	900
1925	Московский двухосный, бесфонарный . . . . .	52,0	2	11,0	2,2	16,4	20	52	820	900
1926	Четырехосный серии КМ . . . . .	39,6	4	13,4	2,2	21,3	27	81	790	1 065
1935	Ленинградский двухосный стальной . . . . .	40,0	2	10,4	2,2	12,56	24	50	530	735
1936	Ленинградский четырехосный стальной . . . . .	54,5	4	15,7	2,55	21,5	48	92	450	688
1938	Четырехосный серии М-38 . . . . .	45,0	4	15,5	2,55	22,6	49	101	460	717
1947	Двухосный серии КТМ-1 . . . . .	55,0	2	10,2	2,5	12,5	16 (24)	76	750 (520)	595
1947	Четырехосный МТВ-82 . . . . .	40,0	4	14,0	2,55	19,5	42	100	465	695
1948	Четырехосный МТВ-82-Б . . . . .	50	4	14,0	2,55	17,5	42	100	415	621
1949	АКХ-2 (проект) . . . . .	40	2	10,5	2,6	9,0	38	69	238	428
1949	АКХ-4 . . . . .	40	4	15,3	2,6	15,0	56	108	268	480
1949	АКХ-4 (бестележечный) . . . . .	40	4	21,75	2,6	17,0	76	148	225	390
1949	АКХ-6 . . . . .	40	4	2,8	2,6	21,5	80	157	270	448
1949	АКХ-8 . . . . .	40	8	30,85	2,6	28,5	99	201	287	432
1947	РТ-47 . . . . .	55	2	17,7	2,34	13,8	37	126	375	370

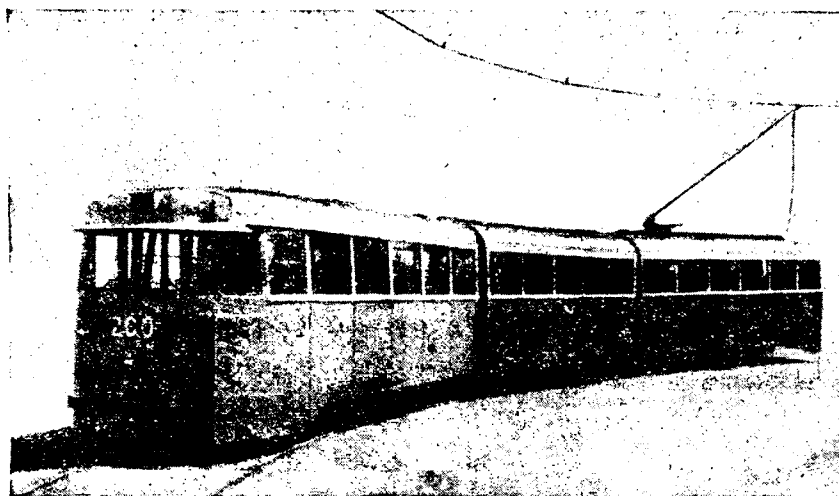


Рис. 4. Вагон сочлененного типа Рижского трамвая типа РТ-47.

говых двигателей мощностью 50 кВт, с 1936 г. находят применение контроллеры с линейным контактором, который, однако, не оправдал себя полностью в эксплуатации.

На трамвайных вагонах серии М-38 применяется система дистанционного контактного многопозиционного управления (с контроллером на 19 позиций). В 1944 г. Московский трамвай конструирует и осваивает производство контроллеров кулачкового типа (МТ-1 и МТ-4), очень хорошо зарекомендовавших себя в эксплуатации.

**Электроснабжение трамвая.** Питание электроэнергией трамвая на заре его развития осуществлялось от собственных электрических станций, оборудованных генераторами постоянного тока, приводимыми в действие от паровой машины. Такие электростанции ограничивали протяженность трамвайных линий и препятствовали широкому развитию трамвая. С осуществлением в 1891 г. русским инж. М. О. Доливо-Добровольским практической передачи электроэнергии трехфазным переменным током появилась возможность эффективной передачи переменного трехфазного тока на значительные расстояния с последующим его преобразованием в постоянный ток на тяговых подстанциях. Такая система электроснаб-

жения была принята на Московском трамвае с самого начала его существования.

В качестве преобразователей переменного тока в постоянный на многих трамваях вначале служили двигатель-генераторы. В Москве применялись исключительно одноякорные преобразователи. Начиная с 1927 г., все советские тяговые подстанции трамвая оборудуются ртутными выпрямителями. В дальнейшем на трамвайных тяговых подстанциях должны найти применение одноанодные безнасосные игнитроны [Л. 5].

Некоторые сравнительные показатели различных типов преобразовательных агрегатов приводятся в табл. 5 для агрегатов мощностью 600 кВт.

Прогресс техники преобразователей тока виден из таблицы, которая показывает, что вес современного игнитронного преобразователя примерно в 30 раз меньше веса двигатель-генератора. Кроме того, ртутные преобразователи в отличие от одноякорных допускают значительные перегрузки. На старых тяговых подстанциях применялись оригинальные буферные аккумуляторные батареи, служащие для сглаживания пика нагрузки. Такая аккумуляторная батарея емкостью 900 ач применялась, например, на Миусской и Краснопрудной тяговых подстанциях в Москве. Дальнейшее совершенствование преобразователей, осуществляемое благодаря появлению маслоохлаждаемых мощных твердых выпрямителей, позволяет рассчитывать на применение последних в недалеком будущем не только для электроснабжения собственных нужд тяговых подстанций, где твердые выпрямители уже находят широкое применение и в настоящее время, но и для питания основной тяговой нагрузки контактной сети, что обеспечит тяговые подстанции еще более легкими (примерно на 30—40% легче игнитронов), надежными и простыми в эксплуатации агрегатами.



Рис. 5. Проект шестиосного трамвайного вагона сочлененного типа серии Академии коммунального хозяйства.

Для электроснабжения трамвая в последние годы начали применяться автоматические дальнеуправляемые тяговые подстанции. Опыт эксплуатации автоматической тяговой подстанции на Московском трамвае дал вполне положительные результаты.

**Контактная сеть.** В качестве токонесущих устройств на трамвае используется воздушная

Таблица 3

Тип вагона	Максимальное пусковое ускорение $a$ , $\text{м/сек}^2$	Тормозное замедление при экстренном торможении $b$ , $\text{м/сек}^2$	Установившаяся скорость $v_{\text{уст}}$ , $\text{км/час}$	Средняя ходовая скорость $v_{\text{ход}}$ , $\text{км/час}$
Двухосный Мытищинский, серии Ф . . . .	0,7	0,8	38,0	17,0
Четырехосный Коломенский серии КМ . . .	0,9	1,0	40,0	16,0
Четырехосный с комплектными тяговыми двигателями серии М-38	1,14	1,2	55,0	19,8
Четырехосный с быстроходными тяговыми двигателями серии ИТВ-82-Б	0,95	1,1	60,0	20,7
Двухосный бестележечный с быстроходными тяговыми двигателями серии КТМ-1 . . .	1,1	1,2	40,0	20,0
Четырехосный Академии коммунального хозяйства серии АКХ-4 . .	2,0	4,0	60,0	22,0

Таблица 4

Год выпуска	Тип	Номинальное напряжение, в	Часовые параметры				Относительный вес	
			ток, а	мощность, кВт	скорость, км/мин	Вес, кг	кг/кВт	кг/кВт·м
1892	Киевского трамвая	500	45	19,8	1150	800	40,5	57,0
1906	GE-58	500	42	16,9	340	868	51,5	18,0
1906	Wd-300	550	55	24,7	570	920	37,5	22,0
1906	Wd-103	550	64	29,4	550	960	32,7	18,8
1906	U-104a	550	68	30,6	590	1080	35,5	21,2
1906	VNB-125	550	64	29,0	525	1090	37,5	20,2
1907	AB-52	575	71	33,8	590	1030	31,5	18,5
1907	Д-56	550	70	32	570	1020	31,5	18,5
1907	Д-72	575	74	36,6	615	1150	31,3	20,0
1909	W-241	550	77	36,8	590	1090	29,5	18,1
1911	ДК-11	575	71	33,1	460	1070	32,5	15,0
1919	ВК-202	550	84	42,0	495	1270	30,0	15,4
1924	US-521a	550	105	52,3	620	1260	24,0	15,3
1925	ДМ-1a	550	105	52,3	650	1340	25,5	17,1
1926	ДР-3к	550	80	38,8	650	1080	28,0	18,6
1926	ДБ-2	600	135	73,1	700	1525	21,0	15,25
1926	ДТУ-25	550	51,5	24,8	735	740	29,8	22,5
1926	ДТУ-40	550	81,0	40,0	640	910	22,7	15,1
1927	ПТ-30a	550	60,0	29,8	615	890	30,0	19,0
1927	ПТ-35a	550	80	39,6	660	877	22,0	14,9
1927	ПТ-40	550	90	44,5	650	1050	23,8	16,0
1927	ПТ-52	550	110	54,5	560	1250	23,6	14,0
1934	ДТИ-60	550	112	55,0	810	960	17,5	14,7
1934	ДТК-50	275	232	55,0	735	1200	21,8	16,4
1938	ДК-251a	275	184	45,0	775	965	21,3	17,1
1947	ДК-253-Б	600	104	55,0	1750	525	9,5	17,2
1947	ДК-253-А	300/600	220	58,0	1570	525	9,0	14,8
1947	ДК-254-А	600	95	50,0	1600	500	10,0	16,7
1948	ДК-255-А	300/600	210	54,0	1650	500	9,3	15,8

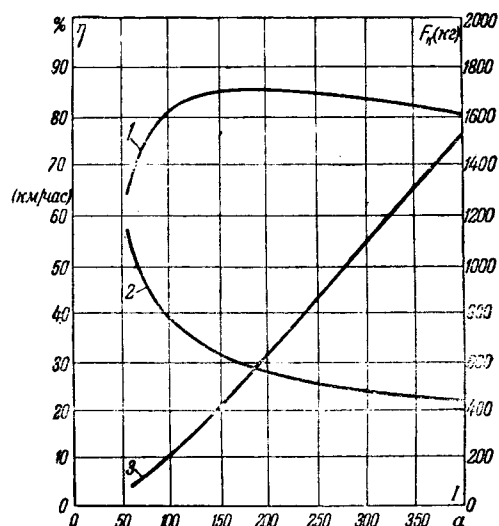


Рис. 6. Тяговые характеристики быстроходного тягового двигателя типа ДК-255-А завода „Динамо“ им. Кирова, 54 кВт, 300/600 в, 210 а, 1650 об/мин, работающего с передачей 1:8,11, при диаметре колес 780 мм.  
2 —  $v = f(a)$ ; 1 —  $\eta = f(a)$ ; 3 —  $F_k = f(a)$ .

контактная сеть с жесткой, преимущественно простой поперечной и продольной, подвеской. В настоящее время применяется исключительно медный фасонный контактный провод сечением 65 и 85 мм<sup>2</sup> в отличие от применявшегося ранее круглого провода. На современной контактной сети применяется арматура, обеспечивающая надежную изоляцию и крепление контактного провода, а также спецчасти, допускающие прохождение трамвайно-троллейбусных пересечений без снижения скорости вагона и обеспечивающие правильное действие автоматических стрелок и предупредительной и блокировочной сигнализации.

**Рельсовые пути.** Рельсовые пути дореволюционного трамвая представляли крайне несовершенные конструкции на песчано-щебеночном и пакеляжном основаниях без надлежащих водосточных и без сварки стыков. Это приводило к расстройству основания пути, вызывало разбалтывание механических стыков и образование волнообразного износа. Эксплуатация вагонов на тележках типа Беккера ускоряла разрушение

Таблица 5

Тип преобразователя	Вес, т	Относительный вес, кг/кВт	Коэффициент полезного действия при 100%-ной нагрузке, %
Двигатель-генераторный преобразователь . . .	25,0	41,5	85
Одноякорный преобразователь на 25 гц . .	13,5	22,5	90
Одноякорный преобразователь на 50 гц . .	10,5	17,5	91
Ртутный выпрямитель с вакуумным насосом . .	1,03	1,7	93
Одноанодный безнасосный игнитрон . . . .	0,75	1,25	93

пути, способствуя нарушению электрических соединений и возникновению блуждающих токов. На современных трамвайных путях укладываются специальные типы желобчатых рельсов, разработанные для трамвая; от основания пути уложены водоотводы; 80—90% рельсовых стыков сварены — и все это вместе с новыми типами совершенных бетонных, шпальных и бесшпальных оснований, предложенных доц. В. Г. Сосянц (Академия коммунального хозяйства), должно обеспечить образцовое состояние долговечных рельсовых путей и гарантировать плавность хода вагона.

**Блуждающие токи.** Использование рельсовых путей в качестве обратного токопровода порождает блуждающие токи, вызывающие коррозию металлических подземных сооружений города. Как показали исследования, величина токов утечки на некоторых участках может достигать 6% номинального тока в рельсовой сети.

Коррозия металлических подземных сооружений помимо сокращения срока службы кабелей может, хотя и в редких случаях, явиться причиной нарушения телеграфно-телефонной связи. Наиболее эффективными мероприятиями по борьбе с блуждающими токами является усиление электроотсасывающей сети тяговых подстанций, установка надежных электростыковых соединений, что и принято на Московском трамвае. Еще лучшие результаты дает сплошная сварка рельсовых стыков термитом, электросваркой или же электростыковой сваркой рельсов (применяется в Москве и Ленинграде, экспериментируется в Ногинске, полностью осуществлена в Риге и Калининграде).

Должный эффект дает также применение протекторов и поляризованных дренажных устройств [Л. 6 и 7], а в ряде случаев применение катодной защиты и систематическое, например один раз в сутки, изменение полярности контактного провода, а также применение системы энергоснабжения по трехпроводной системе (опытное энергоснабжение Казанского трамвая).

**Диспетчеризация и связь.** На Московском трамвае и других современных трамвайных предприятиях применяется телефонная и селекторная связь. Внутрипарковая диспетчеризация осуществляется с помощью диспетчерских пультов, отображающих состояние парковых путей на данный момент.

Для однопутных трамвайных линий играет исключительно важную роль применение оптической сигнализации, обеспечивающей повышение пропускной способности однопутных трамвайных линий почти в 2 раза (опыт эксплуатации на Ногинском трамвае блокировочной оптической сигнализации).

**Научно-исследовательская работа на трамвае.** Научно-исследовательская работа в области трамвайного хозяйства Москвы ведется в настоящее время Академией коммунального хозяйства, Московским энергетическим институтом им. Молотова, ВНИТО городского электротранспорта и заводом «Динамо» им. Кирова. Целесообразно было бы сосредоточить всю науч-

но-исследовательскую работу в области наземного городского электротранспорта в едином научно-исследовательском центре, для чего следует рассмотреть вопрос о создании при Академии коммунального хозяйства Института городского электротранспорта [Л. 8].

Из крупных научных достижений на Московском трамвае за последнее время следует отметить: введение единого способа термитной сварки рельсовых стыков, увеличивающей надежность сварки, уменьшающей стоимость работ и предупреждающей возникновение блуждающих токов; закалку колесных бандажей токами высокой частоты, способствующую значительному увеличению пробега бандажей, а также создание схем автоматического управления трамвайными вагонами: схемы Московского энергетического института (канд. техн. наук Б. П. Петрова) [Л. 9], схемы инж. А. В. Поросятникова, схемы завода «Динамо» (инж. Л. Я. Лехтмана и инж. Г. В. Птицына). Названные схемы разработаны для компаундных и серийных тяговых двигателей, прошли успешно лабораторные исследования, которые позволили установить четкость работы схем и обеспечение плавности пуска тяговых двигателей. После проведения необходимых экспериментальных работ следует окончательно выбрать наиболее целесообразную схему для освоения промышленностью производства новых агрегатов и аппаратов.

Большой интерес представляет проблема износоустойчивых контактных вставок для токоприемников трамваев. Законченные, при участии автора, лабораторные исследования в Академии коммунального хозяйства и предварительные результаты проверки на Ногинском трамвае позволяют сделать вывод, что угольно-графитные контактные вставки нового типа будут работать примерно в 15 раз дольше алюминиевых и обеспечат в 3—4 раза меньший износ контактного провода.

Следует считать необходимым внедрение в опытную эксплуатацию флуоресцентного освещения на трамвайных вагонах, поскольку применение его в дальнейшем на трамвайных вагонах СССР может обеспечить большую экономию электроэнергии.

Необходимо продолжить научно-исследовательскую работу по безреостатному пуску тяговых двигателей постоянного тока, по созданию счетчиков энергии или амперчасов для индивидуального учета электроэнергии на каждом вагоне [Л. 1], а также по усовершенствованию и широкому внедрению в практику электромагнитных рельсовых и соленоидных тормозов; по использованию тепла, излучаемого пусковыми реостатами и тяговыми двигателями; по кондиционированию воздуха, а также по замене воздушного оборудования трамвайного вагона электрическим и, наконец, по рекуперации энергии.

Целесообразно применение диспетчерской связи по контактному проводу токами высокой частоты.

Необходима между прочим и разработка

установки для автоматического оповещения пассажиров об остановочных пунктах.

Крупнейшей научно-исследовательской проблемой является тщательное изучение вопроса о переводе трамвайных предприятий на повышенное против существующего напряжение, дающее по предварительным подсчетам [Л. 11] экономию цветного металла на кабелях более чем в 2 раза по сравнению с существующей системой напряжения при условии повышения его до 750 в.

**Вопросы дальнейшего развития трамвайного хозяйства.** Электроснабжение трамвая должно осуществляться на основе децентрализованной системы питания с широким внедрением автоматических тяговых подстанций, оборудованных запаянными одноанодными игнитронными выпрямителями.

В путевом хозяйстве должны найти широкое применение цельносварные рельсовые нитки непрерывной длины, уложенные на современных конструкциях оснований, обеспечивающих сохранность путей, подвижного состава и резко снижающих возможность возникновения блуждающих токов.

В столичных городах и крупных промышленных центрах следует оставить в эксплуатации только четырехосные моторные вагоны одиночные и соединенные по два с управлением по системе многих единиц, а также вагоны сочлененного типа. В средних городах должны преимущественно применяться одиночные четырехосные вагоны. Применение прицепных вагонов, как правило, не должно иметь места, как необеспечивающее достаточно высоких динамических скоростных показателей подвижного состава в эксплуатационных условиях.

В конструкциях вагонов трамвая должны широко применяться специальные профили из легированных антикоррозийных сталей, а также использоваться быстроходные тяговые двигатели, управляемые по автоматической системе пуска и торможения, и рельсовые электромагнитные тормоза.

Новые трамвайные вагоны должны быть построены с предельно возможной унификацией агрегатов и конструктивных элементов как всех видов подвижного состава трамвая, так и других типов массового городского наземного транспорта. Кузова новых вагонов должны обеспечивать, в частности, максимальные удобства посадки, проезда и высадки пассажиров при отсутствии противопотоков пассажиров. Новые вагоны

должны быть бесшумными и оборудованы флуоресцентным освещением.

При развитии трамвайного хозяйства должны учитываться общие планы развития и благоустройства города. Поэтому трамвай в центральной части больших городов будет постепенно уступать место троллейбусам, дизель-электробусам и автобусам.

В будущем на линиях вылетного типа должен будет найти применение быстроходный трамвай на обособленном полотне и в частности на междугородних трамвайных линиях, обеспечивающих связь между населенными пунктами и промышленными предприятиями и взаимосвязь отдельных промышленных объектов.

В соответствии с пятилетним планом восстановления и развития народного хозяйства СССР, входят в строй новые трамвайные предприятия: в Барнауле, Брянске, Иркутске, Коломне, Красноярске, Липецке, Орске, Томске. Трамвай в СССР совершенствуется и преобразуется с каждым днем. Разрешение всех рассмотренных научно-исследовательских вопросов и соответствующих им производственных задач сделают советский трамвай удобным, дешевым, бесшумным, быстроходным и надежным видом массового городского пассажирского транспорта.

#### Литература

1. М. А. Шателен. Русские электротехники. Госэнергоиздат, стр. 323, 1949.
2. В. В. Данилевский. Русская техника. Изд. Академии наук СССР, 1948.
3. Ю. М. Галонен. Электричество, стр. 12, № 6, 1940.
4. Г. И. Васильев и В. Л. Марковников. Вопросы коммунального хозяйства (Научные сообщения Академии коммунального хозяйства). Изд. МКХ, стр. 10, 1949.
5. М. Д. Трейвас. Электричество, стр. 79, № 3, 1946.
6. В. А. Пригула. Катодная защита трубопроводов от почвенной коррозии. Гостоптехиздат, 1945.
7. И. М. Ершов. Защита подземных сооружений от коррозии, вызванной блуждающими токами. Труды ЦНИИ МПС, вып. 21, 1948.
8. Ю. М. Галонен. Экспериментальная база наземного городского электротранспорта. Тезисы докладов на Всероссийской научно-технической конференции по городскому электротранспорту. Изд. МКХ, стр. 24, 1948.
9. Б. П. Петров. Электричество, стр. 52, № 3, 1947.
10. Ю. М. Галонен. Электричество, стр. 31, № 1—2, 1944.
11. В. Е. Розенфельд. Электричество, стр. 5, № 11—12, 1944.

[10. 3. 1949]



# К вопросу расчета призматических светильников

Кандидат техн. наук М. А. ОСТРОВСКИЙ

Академия коммунального хозяйства им. Памфилова

При разработке призматических светильников особое значение имеет правильность расчета оптической системы. Методика расчета должна быть совершенной, чтобы исключалась возможность получения значительных погрешностей при изготовлении прессформы.

Однако, вопросы расчета призматических светильников получили очень небольшое освещение в отечественной и иностранной литературе. С другой стороны, опубликованные

методы расчета призматических светильников либо дают значительное расхождение между расчетными и экспериментальными данными, либо связаны с проведением громоздких и дорогостоящих экспериментов. Из всех известных методов расчета призматических светильников наиболее полным является метод, разработанный в ВЭИ, учитывающий не только угловые размеры источника и отдельных призм, но также и изменение этих величин при преломлении световых лучей в вертикальной плоскости. Однако, этот метод не пслучил достаточной проверки на опытных образцах.

В соответствии с этим нами была поставлена задача проверки существующих методов расчета призматических светильников. Эта проверка осуществлялась путем исследования нескольких призматических светильников, отличающихся размерами и светотехническими характеристиками, и сравнения экспериментальных и расчетных данных распределения силы света.

В результате проведенных экспериментальных исследований и расчетов для серии призматических светильников было установлено, что существующие методы не дают требуемой степени точности расчета призматических арматур. В качестве примера на рис. 1 приведены кривые силы света для одного из исследуемых внутренних преломлятелей, полученные расчетным и экспериментальным путем. Из рассмог-

Существующие методы расчета призматических осветительных приборов не обеспечивают достаточной точности. Проведенные исследования показали, что причиной значительного расхождения между расчетными и фактическими значениями сил света является неравномерное распределение зонального потока в пределах угла рассеяния, обусловленное конечными размерами тела накала. Помимо этого при массовом изготовлении призматических светильников их поверхность получается слегка шероховатой, что обуславливает дополнительное увеличение зональных углов рассеяния и соответственное изменение закона распределения светового потока в пределах этих углов. В статье приводится методика расчета призматических светильников, позволяющая аналитическим путем учесть влияние указанных факторов. Опытная проверка предложенной методики расчета показала, что получающееся в этом случае расхождение между расчетными и фактическими значениями силы света не превышает 8—10%.

рения этого рисунка видно, что полученные расчетные значения сил света с учетом изменения углов рассеяния при преломлении световых лучей в вертикальной плоскости презышают действительные в зоне максимальной концентрации светового потока на 30—40%.

В соответствии с полученными результатами перед нами встала задача разработки более точной методики расчета призматических светильников.

Предварительно необходимо было установить причину получающегося расхождения между расчетными и фактическими значениями сил света при использовании существующих методов расчета. Для этой цели нами на специальной установке определялся характер распределения светового потока при прохождении лучей через отдельные призмы исследуемых преломлятелей. В результате проведенных измерений было получено, что фактическое распределение светового потока отдельными зонами преломлятелей значительно отличается от расчетного распределения, которые во всех существующих методах расчета принимается равномерным.

На рис. 2 приведены кривые распределения зональных потоков, полученные 1 расчетным и 2 экспериментальным путем для одной из призм внутреннего преломлятеля. Из этого примера видно, что при равенстве световых потоков

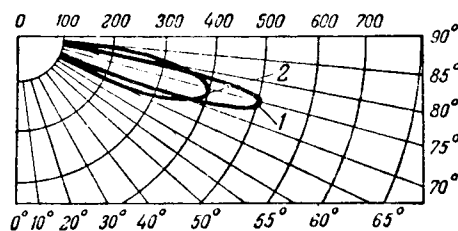


Рис. 1. Расчетные и экспериментальные кривые распределения силы света для внутреннего преломлятеля.

1 — расчетные; 2 — опытные данные.



действительная величина углов рассеяния и характер распределения потока в этих углах значительно отличаются от расчетных данных. Увеличение углов рассеяния по сравнению с расчетными значениями может быть объяснено только наличием дополнительного рассеяния световых лучей стеклом преломлятеля. Для определения величины этого рассеяния нами были проведены измерения его характеристик для серии внутренних и наружных преломлятелей. Измерения проводились следующим образом: на элемент поверхности преломлятеля, не имеющий призмы, направлялся пучок параллельных лучей и определялась величина прошедшего светового потока, заключенного в определенном телесном угле.

Результаты этих измерений показали, что характеристики рассеяния стекла отдельных преломлятелей отличаются весьма незначительно. Это позволило усреднить полученные данные. На рис. 3 приведена усредненная кривая, выражающая в относительных единицах закон рас-

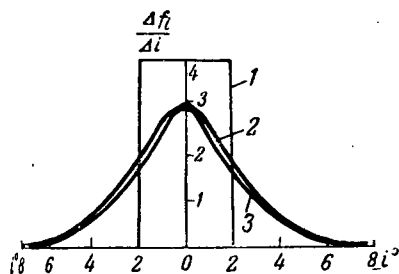


Рис. 2. Расчетное и фактическое зонное распределение светового потока при  $\Delta\varphi = \Delta\sigma = 2^\circ$  и  $\Delta F_a = 16 \text{ лм}$ .

1 — расчетные данные без учета рассеяния, 2 — опытные, 3 — расчетные данные с учетом рассеяния.

пределения светового потока элементарного пучка.

Подобные испытания проводились нами для ряда отечественных образцов прессованного стекла и, в частности, для призматического рассеивателя маскировочных автофар. Результаты, полученные для этих образцов, укладывались на кривой рис. 3 с точностью в пределах 7—12%.

Проведенные нами опыты по измерению характеристик рассеяния стекла преломлятелей при различных углах падения световых лучей показали также, что для углов падения порядка 0—30° характер кривой практически не меняется.

Причинами, обуславливающими рассеяние светового потока стеклом преломлятеля, могут являться как шероховатости на его поверхности, возникающие при прессовке, так и неоднородность самого стекла по толщине. Для решения этого вопроса нами были проведены опыты, позволившие исследовать влияние указанных причин независимо друг от друга. С этой целью на исследуемый участок преломлятеля, покрытый с обеих сторон иммерсионным маслом с показателем преломления 1,519, накладывались чистые покровные стекла и, таким образом, мы получали элемент поверхности преломлятеля, как бы отшлифованный с обеих сторон. Испытания таких участков показали полное отсутствие дополнительного рассеяния светового потока в толще стекла.

Эти результаты позволили сделать вывод о том, что дополнительное рассеяние светового потока вызывается исключительно неровностями и шероховатостями, присущими в равной степени внутренней и внешней поверхности преломлятеля.

Естественно предположить, что возникающие при прессовке неровности на поверхности стекла обусловлены структурой самой формы и, следовательно, для данного сорта стекла и качества полировки поверхности формы мы будем получать примерно одинаковое дополнительное рассеяние светового потока.

Это положение подтверждается проведенными опытами над большим числом образцов прессованного стекла, которые показали, что все рассмотренные образцы имеют практически одинаковую характеристику рассеяния светового потока.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что технологический процесс производства призматических светильников неизбежно связан с приданием стеклу рассеивающих свойств, причем степень рассеяния светового потока характеризуется кривой, приведенной на рис. 3.

Полученная характеристика дополнительного рассеяния светового потока позволяет производить расчеты призматических светильников с большой степенью точности, исходя из следующих соображений.

Распределение светового потока в пределах угла рассеяния независимо от характеристик стекла не является равномерным. Степень такой неравномерности определяется соотношением между угловыми размерами источника  $\Delta\sigma'$  и рассматриваемой зоны —  $\Delta\varphi'$ . Строго говоря, равномерное распределение светового потока в пределах угла рассеяния  $\Delta\alpha$  для источника, равномерно излучающего во всех направлениях и для абсолютно чистого стекла, возможно лишь в тех случаях, когда  $\Delta\sigma' = 0$  или  $\Delta\varphi' = 0$ . Легко можно показать, что в общем случае при  $\Delta\sigma' \neq 0$  и  $\Delta\varphi' \neq 0$  кривая распределения светового потока будет иметь форму трапеции или треугольника, если  $\Delta\sigma' = \Delta\varphi'$ .

При наличии дополнительного рассеяния световых лучей стеклом преломлятеля задача определения закона распределения зонального потока, естественно, осложняется.

Для решения этого вопроса предположим, что представленная на рис. 3 характеристика рассеяния элементарного пучка стеклом преломлятелей может быть выражена аналитически, как

$$\frac{\Delta f}{\Delta i} = f(i).$$

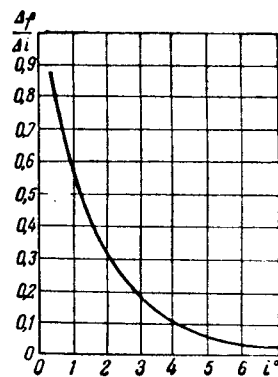


Рис. 3. Кривая относительного распределения светового потока элементарного пучка.



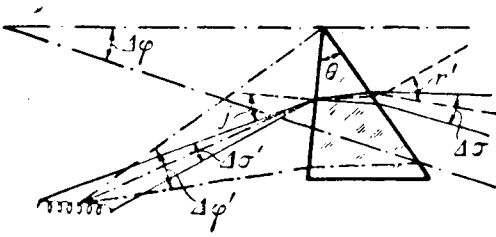


Рис. 4. Схема хода световых лучей во внутреннем преломлятеле.

С достаточной для практики точностью можно принять, что этот закон рассеяния элементарного пучка сохранится для меридианального сечения при падении световых лучей на бесконечно узкий кольцевой элемент поверхности преломлятеля.

В осветительных приборах наружного освещения максимум силы света должен быть направлен под углом  $70 - 80^\circ$  к вертикали. Поэтому величина угла рассеяния рассматриваемой зоны преломлятеля может определяться только угловыми размерами источника света и самой зоны в меридианальной плоскости. Таким образом, в обозначениях, приведенных на рис. 4, величина углов  $\Delta\sigma$  и  $\Delta\varphi$  с достаточной точностью определяется из выражений

$$\Delta\sigma = \frac{\cos j}{\cos r'} \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 r'}{n^2 - \sin^2 j}} \cdot \Delta\sigma'$$

и

$$\Delta\varphi = \frac{\cos j}{\cos r'} \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 r'}{n^2 - \sin^2 j}} \cdot \Delta\varphi',$$

где  $n$  — показатель преломления.

Если рассматривать световой пучок, падающий от источника конечных размеров  $\Delta\sigma'$  на бесконечно малый кольцевой элемент поверхности преломлятеля, то, очевидно, кривая распределения светового потока, выходящего из данной зоны преломлятеля, может быть представлена как результирующая совокупного действия элементарных кривых. Как видно из рис. 5, результирующая кривая распределения светового потока будет пропорциональна соответствующим участкам площадей, ограниченных элементарными кривыми. Например, для некоторого направления  $i$  (рис. 5) величина потока, заключенного в зоне  $i \pm di$ , будет пропорциональна сумме площадей заштрихованных участков, т. е.

$$\varphi(i) = C(s_1 + s_2),$$

где  $C$  — коэффициент пропорциональности.

Таким образом, закон распределения светового потока, выходящего из бесконечно узкого эле-

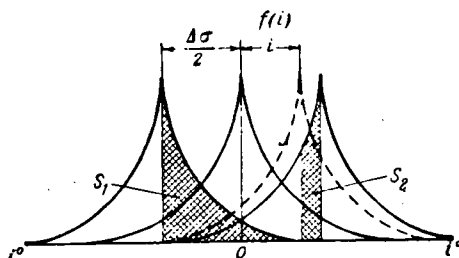


Рис. 5. Кривые распределения светового потока при  $\Delta\varphi \approx 0$  и  $\Delta\sigma \neq 0$ .

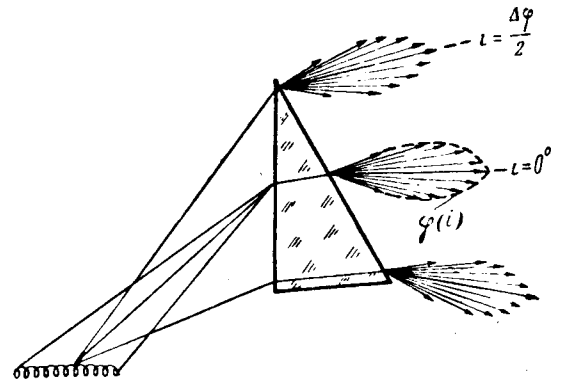


Рис. 6. Характер распределения зонального светового потока, выходящего из отдельных призм преломлятеля.

мента преломлятеля при угловом размере источника равном  $\Delta\sigma'$ , определяется выражениями

$$\varphi_I(i) = C \left\{ \int_0^{\frac{\Delta\sigma}{2} + i} f(i) \cdot di + \int_0^{\frac{\Delta\sigma}{2} - i} f(i) \cdot di \right\}; i \leq \frac{\Delta\sigma}{2};$$

$$\varphi_{II}(i) = C \int_{i - \frac{\Delta\sigma}{2}}^{i + \frac{\Delta\sigma}{2}} f(i) \cdot di; i \geq \frac{\Delta\sigma}{2}.$$

Полученная выше кривая относительного распределения светового потока элементарного пучка с достаточной степенью точности может быть выражена с помощью следующей показательной функции:

$$f(i) = e^{-ai},$$

где  $a$  — постоянный коэффициент, равный 0,55.

Подставляя значение  $f(i)$  и производя интегрирование, получим:

$$\varphi_I(i) = C(1 - e^{-\frac{a\Delta\sigma}{2} \operatorname{ch} ai}); i \leq \frac{\Delta\sigma}{2};$$

$$\varphi_{II}(i) = C \cdot \operatorname{sh} \frac{a\Delta\sigma}{2} \cdot e^{-ai}; i \geq \frac{\Delta\sigma}{2}.$$

Практически мы имеем дело не с бесконечно узким элементом поверхности преломлятеля, а с отдельными призмами, угловой размер которых равен  $\Delta\varphi'$ . На рис. 6 показано распределение светового потока, выходящего из двух крайних и центральной точек призмы, полученное с учетом конечных размеров тела накала и характеристик рассеяния стекла преломлятеля. Как видно из этого рисунка, окончательная кривая распределения зонального потока  $F(i)$  может быть представлена как результирующая семейств кривых  $\varphi(i)$ . Допустим, что  $\Delta\varphi < \Delta\sigma$ , тогда искомым закон распределения зонального потока будет выражаться следующими уравнениями:

$$F_I(i) = C_1 \left\{ \int_0^{\frac{\Delta\varphi}{2} - i} \varphi_I(i) \cdot di + \int_0^{\frac{\Delta\varphi}{2} + i} \varphi_I(i) \cdot di \right\};$$

$$i \ll \frac{\Delta\sigma - \Delta\varphi}{2};$$

$$F_{II}(i) = C_1 \left\{ \int_0^{\frac{\Delta\varphi}{2} - i} \varphi_I(i) \cdot di + \int_0^{\frac{\Delta\sigma}{2}} \varphi_I(i) \cdot di + \int_{\frac{\Delta\sigma}{2}}^{\frac{\Delta\varphi}{2} + i} \varphi_{II}(i) \cdot di \right\};$$

$$\frac{\Delta\sigma - \Delta\varphi}{2} \ll i \ll \frac{\Delta\varphi}{2};$$

$$F_{III}(i) = C_1 \cdot \left\{ \int_{i - \frac{\Delta\varphi}{2}}^{\frac{\Delta\sigma}{2}} \varphi_I(i) \cdot di + \int_{\frac{\Delta\sigma}{2}}^{i + \frac{\Delta\varphi}{2}} \varphi_{II}(i) \cdot di \right\};$$

$$\frac{\Delta\varphi}{2} \ll i \ll \frac{\Delta\sigma + \Delta\varphi}{2};$$

$$F_{IV}(i) = C_1 \cdot \int_{i - \frac{\Delta\varphi}{2}}^{i + \frac{\Delta\varphi}{2}} \varphi_{II}(i) \cdot di; \quad i \geq \frac{\Delta\sigma + \Delta\varphi}{2}.$$

После интегрирования приходим к следующим выражениям, определяющим закон распределения зонального потока с учетом угловых размеров источника света и призмы и с учетом дополнительного рассеяния светового потока стеклом преломлятеля:

$$F_I(i) = C_1 \left( \Delta\varphi - 2 \frac{e^{-a\frac{\Delta\sigma}{2}}}{a} \cdot \operatorname{sh} a \frac{\Delta\varphi}{2} \cdot \operatorname{ch} ai \right); \quad i \ll \frac{\Delta\sigma - \Delta\varphi}{2};$$

$$F_{II}(i) = C_1 \left[ \frac{\Delta\varphi + \Delta\sigma}{2} - i - \frac{e^{-a\frac{\Delta\sigma}{2}}}{a} \cdot \operatorname{sh} a \left( \frac{\Delta\varphi}{2} - i \right) - \frac{e^{-a \left( i + \frac{\Delta\varphi}{2} \right)}}{a} \cdot \operatorname{sh} a \frac{\Delta\sigma}{2} \right]; \quad \frac{\Delta\sigma - \Delta\varphi}{2} \leq i \leq \frac{\Delta\varphi}{2};$$

$$F_{III}(i) = C_1 \left[ \frac{\Delta\varphi + \Delta\sigma}{2} - i + \frac{e^{-a\frac{\Delta\sigma}{2}}}{a} \cdot \operatorname{sh} a \left( i - \frac{\Delta\varphi}{2} \right) - \frac{e^{-a \left( i + \frac{\Delta\varphi}{2} \right)}}{a} \cdot \operatorname{sh} a \frac{\Delta\sigma}{2} \right]; \quad \frac{\Delta\varphi}{2} \leq i \leq \frac{\Delta\sigma + \Delta\varphi}{2};$$

$$F_{IV}(i) = 2 \cdot C_1 \cdot \frac{e^{-ai}}{a} \cdot \operatorname{sh} a \frac{\Delta\sigma}{2} \cdot \operatorname{sh} a \frac{\Delta\varphi}{2}; \quad i \geq \frac{\Delta\sigma + \Delta\varphi}{2}.$$

Коэффициент пропорциональности  $C_1$  определяется из тех соображений, что площадь, ограниченная кривой  $F(i)$ , должна быть численно равна световому потоку  $\Delta F'_a$ , направленному выходящему из данной зоны преломлятеля.

Аналогичным путем могут быть получены уравнения, характеризующие распределение зонального потока при угловых размерах призмы, превышающих угловой размер источника. Общий вид выражений для  $F(i)$  в этом случае ничем не отличается от вышеприведенных.

В качестве примера в таблице приведено изменение величины  $F(i)/\Delta F'_a$  в зависимости от угла  $i$  для нескольких значений угла  $\Delta\varphi$  при постоянном угловом размере источника, равном  $8^\circ$ .

		$F(i)/\Delta F'_a \cdot 10^3$													
$\Delta\varphi/2$	$i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	11,1	10,9	10,2	8,6	6,2	3,8	2,1	1,3	0,7	0,4	0,25				
2	10,8	10,6	9,7	8,1	6,2	4,2	2,5	1,5	0,8	0,5	0,3	0,2			
3	10,4	10,2	9,1	7,7	6,2	4,5	3,0	1,8	1,0	0,6	0,3	0,25	0,15		
4	9,8	9,4	8,5	7,4	6,2	4,5	3,5	2,3	1,4	0,8	0,5	0,3	0,2	0,1	

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что с учетом всех факторов, влияющих на распределение зонального потока, закон его изменения в пределах угла рассеяния значительно отличается от равномерного.

Для примера с помощью полученных уравнений представляется возможным расчетным путем определить закон распределения зонального потока, изображенного на рис. 2, для которого  $\Delta\sigma = \Delta\varphi = 2^\circ$  и  $\Delta F'_a = 16$  лм. В результате расчетов получена кривая 3. Из этого рисунка видно, что кривая 2, построенная по материалам измерений, и расчетная кривая 3 распределения зонального потока практически совпадают. Вышеприведенные соображения о характере распределения зонального светового потока были положены нами в основу методики расчета призматических светильников, а также светильников с комбинированной оптической системой.

Экспериментальная проверка предложенных методов расчета осуществлялась нами на образцах призматических светильников путем сравнения расчетного и фактического светораспределения указанных светильников. Полученные результаты показали, что расхождения между расчетными и экспериментальными значениями сил света не превышали 8–10% для зон с максимальной концентрацией светового потока.

#### Литература

1. Л. Д. Белькинд. Электрические осветительные приборы ближнего действия. Госэнергоиздат, 415 стр., 1934.
2. Н. Г. Болдырев. О призматических светильниках. Труды ГОИ, т. XIV, вып. 112–120.
3. Я. З. Зильберblatt. Состояние и перспективы наружного освещения городов. Электричество, № 8, 1948. [16. 12. 1948]



# Квази-релаксационные колебания в феррорезонансных цепях с подмагничиванием

Кандидат техн. наук, доц. В. Е. БОГОЛЮБОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Восемь лет назад на страницах этого журнала проф. А. С. Касаткин [Л. 1] рассмотрел медленные колебания в феррорезонансной схеме, состоящей из последовательно соединенных лампы накаливания, конденсатора и дросселя с насыщенным стальным сердечником (рис. 1). Величину индуктивности дросселя можно было регулировать, меняя ток подмагничивания дросселя. А. С. Касаткин построил теорию явления, исходя из тепловой инерции ламп, обладающих положительным температурным коэффициентом. Однако, медленные колебания в схеме, изображенной на рис. 1, могут происходить и без наличия лампы. Таких колебаний теория А. С. Касаткина, очевидно, не может объяснить, и они требуют специального рассмотрения.

Схема с параллельным соединением обмоток переменного тока. Схема, в которой наблюдаются медленные периодические колебания, изображена на рис. 2. Основная феррорезонансная цепь состоит из подмагниченных дросселей со стальными сердечниками и последовательно с ними включенного конденсатора. Обмотки подмагничивания дросселей включены встречно — с целью компенсации переменных э. д. с., наводимых в них трансформаторно.

При некоторых значениях тока подмагничивания и переменного напряжения, приложенного к основному феррорезонансному контуру, ток

В феррорезонансных цепях с подмагниченными дросселями при известных условиях возникают медленные квази-релаксационные колебания амплитуд токов и напряжений, имеющие устойчивый, постоянный период. Эти колебания могут быть использованы для ряда технических применений: мигающая сигнализация, бесконтактные реле периодического действия, периодические перемещения различных устройств и др. Для того чтобы иметь возможность применять эти колебания и производить количественные расчеты, нужно прежде всего уяснить физическую сторону процесса. С этой целью автор провел всесторонние исследования и сформулировал полученные результаты.

этого контура испытывает колебания, представленные на рис. 3. Весь период медленного колебания характеризуется сменой различных режимов. Целесообразно выделить четыре режима, обозначенные на рис. 3  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$ . Во время режима  $\alpha$ , длившегося примерно 7 периодов, т. е.

0,15 сек., амплитуда переменного тока (кривая  $i$ ) резко возрастает. После этого в течение более длительного интервала  $\beta$  (около 0,9 сек.) амплитуда переменного тока постепенно снижается. Далее, в интервале  $\gamma$ , длившемся около 0,1 сек., происходит ускоренный спад амплитуды тока. Наконец, в течение интервала  $\delta$  ток снова начинает возрастать, вначале незначительно, а затем все более и более ускоренно; режим  $\delta$  переходит в процесс быстрого нарастания амплитуд тока, снова повторяющий участок  $\alpha$ . За участком  $\alpha$  снова появляются участки, повторяющие  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  и т. д.

Режимы  $\gamma$  и  $\beta$  аналогичны известным в феррорезонансных цепях режимам прямого и обратного опрокидывания. Прямое опрокидывание, т. е. резкий переход от малого индуктивного тока к большому емкостному, наблюдается при постепенном повышении приложенного к цепи переменного напряжения, когда это напряжение достигнет определенной величины. Обратным же опрокидыванием называется скачок от большого

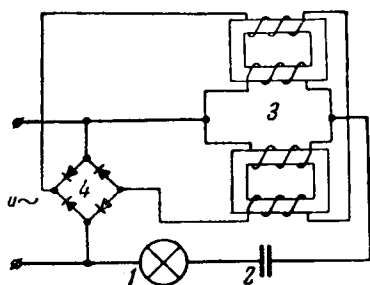
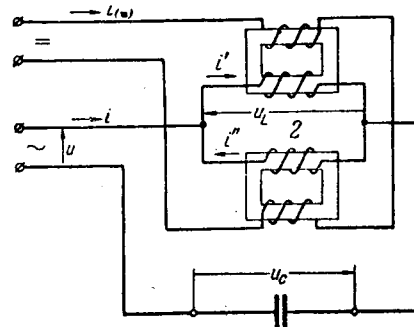


Рис. 1.  
Колебательная  
схема,  
исследованная  
А. С. Касаткиным.  
1 — лампа накаливания;  
2 — конденсатор;  
3 — подмагниченный  
дроссель;  
4 — выпрямитель.

Рис. 2.  
Колебательная  
схема с  
параллельным  
соединением  
обмоток  
переменного  
тока.



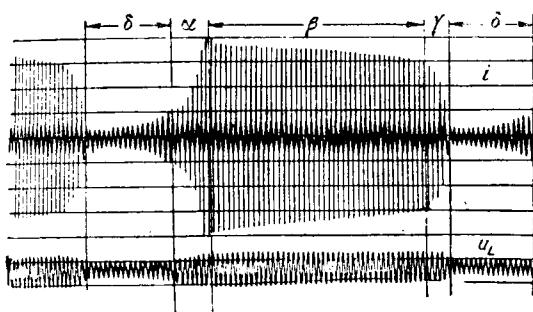


Рис. 3. Осциллограмма колебаний в схеме по рис. 2.

 $i$  — общий ток;  $U_L$  — напряжение на дросселе.

емкостного тока к малому индуктивному, наблюдающийся при постепенном уменьшении приложенного переменного напряжения, когда это напряжение снизится до соответствующей величины.

При неподмагниченных дросселях феррорезонансная цепь, после того как опрокидывание произошло, остается в совершенно устойчивом режиме, пока приложенное к цепи напряжение не будет заметно изменено. Возникает вопрос, почему при наличии подмагничивания цепь непрерывно испытывает ритмично чередующиеся прямое и обратное опрокидывания. Если, например, предположить, что напряжение сети достаточно для того, чтобы вызвать прямое опрокидывание и при подключении цепи к напряжению это опрокидывание и происходит, то почему при том же напряжении сети через некоторое время происходит обратное опрокидывание?

На эти вопросы нельзя ответить, рассматривая параллельно включенные обмотки дросселей как одно целое. Необходимо обратиться к токам каждой из обмоток, которые мы будем называть частичными токами. Осциллограмма частичного  $i'$  (рис. 2) приведена на рис. 4. Частичный ток, как это непосредственно видно из осциллограммы, отличается характерной особенностью: среднее его значение (за период переменного напряжения) в начале режима  $\beta$  не равно нулю. Это обстоятельство дало ключ к пониманию всего процесса колебаний. Оно, как оказалось, представляет собой определенную закономерность для подмагниченных дросселей. Эта закономерность выражается следующей, сформулированной и доказанной автором, теоремой.

**Теорема.** Пусть после стационарного режима подмагниченного дросселя (когда среднее значение переменного тока равно нулю) происходит изменение амплитуд приложенного к дросселю напряжения, заканчивающееся в момент  $\vartheta = \omega t$  (начиная с момента  $\vartheta$  амплитуда снова устанавливается постоянной).

Будем считать положительным направлением тока  $i$  такое, в котором этот ток усиливает после подмагничивания.

Если амплитуда возрастала, то

$$\int_{\vartheta}^{\vartheta + 2\pi} i d\vartheta > 0,$$

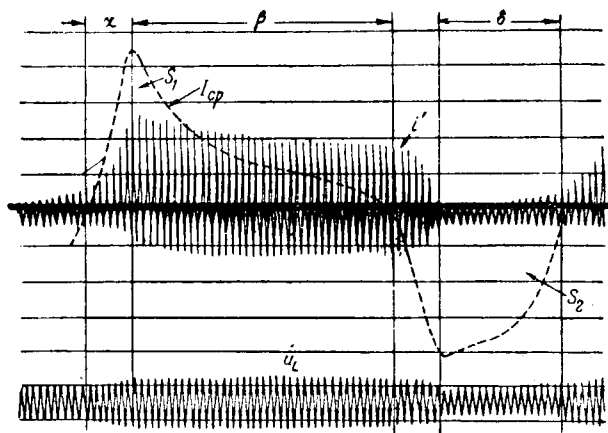


Рис. 4. Осциллограмма колебаний в схеме по рис. 2.

 $i'$  — частичный ток;  $U_L$  — напряжение на дросселе;  $I_{cp}$  — средний ток (площади  $S_1$  и  $S_2$  одинаковы).

если же амплитуда напряжения убывала, то

$$\int_{\vartheta}^{\vartheta + 2\pi} i d\vartheta < 0.$$

Среднее значение частичных токов будем для краткости называть средним током  $I_p$  и будем рассматривать его как функцию текущей абсциссы  $\vartheta$ , приняв следующее определение:

$$I_{cp} = \frac{1}{2\pi} \int_{\vartheta - \pi}^{\vartheta + \pi} i d\vartheta.$$

Кривая изменения среднего тока нанесена на рис. 4 пунктиром. Площади, ограниченные этой кривой над осью абсцисс и под осью абсцисс, равновелики.

Согласно сформулированной теореме режим  $\alpha$ , во время которого амплитуда напряжения на дросселе резко возрастает, является таким нестационарным процессом, который вызывает появление положительного среднего тока. Режим  $\gamma$  — спад напряжения на дросселе — вызывает соответственное появление отрицательного среднего тока.

Заметим теперь следующее. Средний ток, отличный от нуля, наблюдается только в обмотках дросселей, образующих контур, обозначенный на рис. 2 цифрой 2 (во внешней цепи средний ток во все время колебаний равен нулю). Поскольку среднее значение напряжения на обмотках дросселей всегда равно нулю, то в соответствии с известным законом среднее значение частичных токов при стационарном состоянии должно исчезнуть. Такое постепенное исчезновение среднего тока, например, наблюдается в течение режима  $\beta$ . Обратим еще внимание на следующее. Напряжение на зажимах дросселей, как показывает осциллограмма рис. 4 (кривая  $U_L$ ), остается в течение всего режима  $\beta$  неизменным, а общий ток дросселей постепенно снижается. Это значит, что эквивалентная индуктивность

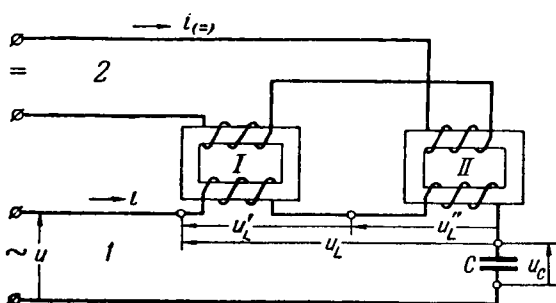


Рис. 5. Колебательная схема с последовательным соединением обмоток переменного тока.

параллельно включенных дросселей повышается по мере исчезновения среднего тока.

Теперь мы в состоянии последовательно объяснить взаимную обусловленность происходящих колебаний. Нестационарный процесс нарастания тока в цепи рис. 2 вызывает появление положительного среднего тока в обмотках дросселей. Эквивалентная индуктивность дросселей при этом снижается, и общий ток принимает большое значение, как в результате прямого опрокидывания (режим  $\alpha$ ). Положительный средний ток, возникший в результате нестационарного процесса  $\alpha$ , начинает благодаря активному сопротивлению дросселей постепенно исчезать (режим  $\beta$ ).

К концу режима  $\beta$  эквивалентная индуктивность дросселей настолько повышается, что цепь при данном напряжении не может оставаться в режиме большого тока. Происходит обратное опрокидывание (режим  $\gamma$ ).

Нестационарный режим спада тока в соответствии с вышеприведенной теоремой вызывает

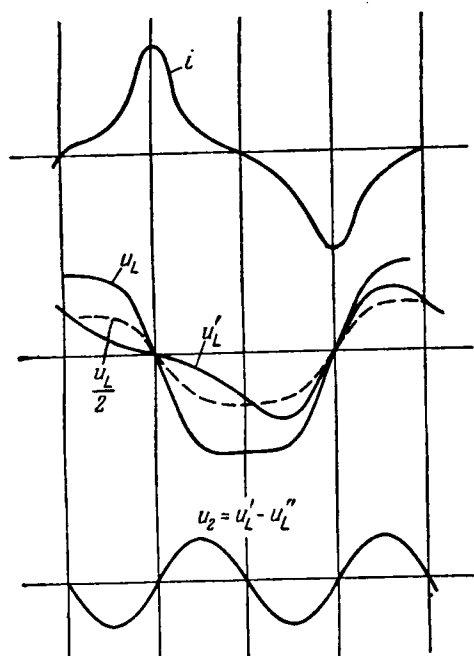


Рис. 6. Образование переменного напряжения в цепи подмагничивания схемы рис. 5.

$i$  — переменный ток;  $U_L$  — напряжение на обоих последовательно соединенных дросселях;  $U_L'$  — напряжение на одном дросселе;  $U_2$  — трансформируемая разность напряжений.

появление отрицательного среднего тока. Отрицательный средний ток противодействует тому подмагничиванию, повышая этим индуктивность дросселя. Общий ток принимает минимальное значение.

Отрицательный средний ток, так же, как и положительный, с течением времени исчезает. При этом ослабляется его размагничивающее действие, и индуктивность дросселей снова понижается; общий ток вследствие этого начинает возрастать.

В момент исчезновения отрицательного среднего тока общий ток находится в состоянии нарастания, которое вновь начинает вызывать появление положительного среднего тока. Индуктивность дросселей продолжает убывать, и цепь при данном приложенном напряжении снова претерпевает прямое опрокидывание (режим  $\alpha$ ), за которым снова следует режим  $\beta$  и т. д. Таким образом, все стадии постепенной смены режимов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  колебательного процесса объяснены.

Обязательным условием существования колебаний является наличие замкнутого контура, в котором возникает и исчезает средний ток.

Схема с последовательным соединением обмоток переменного тока. Медленные колебания наблюдаются также и в схеме с последовательным соединением обмоток переменного тока<sup>1</sup> (рис. 5). В такой схеме не может быть полной компенсации напряжений, трансформаторно наводимых в подмагничивающих обмотках. В течение каждого полупериода переменный ток действует согласно с подмагничиванием в одном из дросселей и встречно — в другом. Поэтому общее напряжение  $U_L$ , приходящееся на обмотки обоих дросселей, делится между ними не поровну. Эта нарушение компенсации поясняет рис. 6. В результате этого в подмагничивающую цепь трансформаторно передается переменное напряжение  $U_2$  с частотой, в 2 раза большей частоты сети. Для уравнивания напряжения  $U_2$  требуется соответствующее потокоцепление  $\Phi_2$ . Чисто переменному потокоцеплению  $\Phi_2$  соответствует ток  $i_2$ , который накладывается на ток подмагничивания, определяемый прямым напряжением и сопротивлением подмагничивающих обмоток. Ток  $i_2$  имеет отличное от нуля среднее значение благодаря нелинейности зависимости магнитного потока от тока. Среднее значение тока с течением времени должно исчезать.

Процессы же прямого или обратного опрокидывания в этой схеме должны сопровождаться появлением положительного или отрицательного среднего значения тока  $i_2$ . Сказанное иллюстрируется осциллограммой, приведенной на рис. 7. На этой осциллограмме представлены (сверху вниз): кривая тока подмагничивания, кривая переменного тока, кривая переменного напряжения на дросселях и (перевернутая) кривая напряжения на конденсаторе.

<sup>1</sup> Решение о выдаче авторского свидетельства В. Е. Боголюбову за № 359638-III.

Мы видим, что условия возникновения колебаний в данной схеме аналогична таковым в схеме с параллельным соединением обмоток переменного тока.

Процесс колебаний и в той и в другой схемах обусловлен попеременным возникновением и исчезновением среднего тока, протекание которого возможно только при наличии соответствующего замкнутого контура (обозначен цифрой 2 на рис. 5, так же как и на рис. 2).

**Расчет величин, характеризующих колебания.** При описании процесса можно исходить и из вольтамперных характеристик стационарных состояний. Правда, здесь следует иметь в виду, что вольтамперные характеристики описывают только предельные состояния и притом очень неполно и неточно. Однако, они все же дают возможность охватить основные черты явления. Учет деформаций этих характеристик при изменении среднего тока дает возможность не только описать явление, но и получить некоторые необходимые количественные данные.

Автором были намечены пути для определения наиболее характерных для колебаний величин: их периода, диапазона колебаний амплитуд тока и напряжений на дросселях и конденсаторе [Л. 3]. Для определения периода колебаний его приходится разделить на четыре части, соответствующие в основном четырем режимам  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$ , введенным ранее. Соответствующие части периода колебаний обозначены:  $t_\alpha$  — продолжительность процесса прямого опрокидывания;  $t_\beta$  — время исчезновения положительного среднего тока;  $t_\gamma$  — продолжительность процесса обратного опрокидывания;  $t_\delta$  — время исчезновения отрицательного среднего тока.

Скорость протекания процессов прямого и обратного опрокидывания ( $t_\alpha$  и  $t_\gamma$ ) можно определить, используя, например, укороченные уравнения установления. Составление этих уравнений для феррорезонансной цепи существенно облегчается, если привести уравнения такой цепи к «каноническому» виду, как это сделано, например, в работе А. Е. Саломовича [Л. 2]. Способ определения скорости исчезновения среднего тока (интервалы времени  $t_\beta$  и  $t_\delta$ ) указан в другой работе автора [Л. 3]. В той же работе приведены полученные экспериментально зависимости периода нарастания тока  $T_1 = t_\delta + t_\alpha$  и периода спада тока  $T_2 = t_\beta + t_\gamma$  от величин приложенного напряжения, от тока подмагничивания, от активного сопротивления и от емкости. Практически характер этих зависимостей целиком определяется первыми слагаемыми, так как отрезки времени  $t_\gamma$  и  $t_\alpha$  составляют очень небольшую часть периода.

**Квази-релаксационный характер колебаний.** Описанные медленные колебания мы назвали квази-релаксационными. Как известно, релаксационные колебания возникают в цепях с одним запасателем энергии. Другой запасатель энергии, если и имеется, то не играет принципиаль-

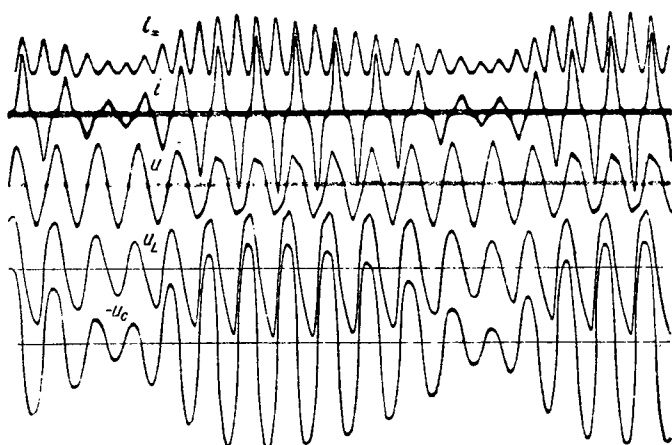


Рис. 7. Осциллограмма колебаний в схеме по рис. 5.  
 $i_0$  — ток подмагничивания;  $i$  — переменный ток;  $U$  — сетевое напряжение;  $U_L$  — напряжение на обоих дросселях;  $U_C$  — перевернутое напряжение на конденсаторе.

ной роли. Период релаксационных колебаний обычно прямо пропорционален величине этого запасателя энергии и, кроме того, зависит от величины диссипативных элементов цепи; форма этих колебаний во времени резко отличается от синусоиды.

В данном случае мы имеем в схеме два запасателя энергии. В цепи в некоторые моменты времени осуществляются условия резонанса. Однако, период рассматриваемых колебаний определяется значением только одного запасателя энергии — дросселя. Скорость исчезновения среднего тока, в основном определяющая период колебаний, задается затуханием контура, в котором замыкается этот средний ток. Роль емкости состоит в том, что в схеме периодически возникают процессы опрокидывания, вызывающие появление среднего тока.

Характер квази-релаксационных колебаний, как и следует ожидать, закономерно меняется при изменении нелинейности. При относительно высоких напряжениях (большая нелинейность) огибающая амплитуд напоминает типичные кривые релаксационных колебаний (рис. 4). При уменьшении напряжения (малая нелинейность) огибающая амплитуд приближается к синусоиде (рис. 8 и 9).



Рис. 8. Осциллограмма колебаний в схеме по рис. 2, напряжение сети  $U = 50$  в.



Рис. 9. Осциллограмма колебаний в схеме по рис. 2, напряжение сети  $U = 38$  в.

Из приведенных рассуждений ясно, что для получения колебаний с большим периодом требуются дроссели с большими габаритами. Сказанное подтверждается приведенными в таблице техническими данными испытанных в работе дросселей. Увеличение числа витков и увеличение сечения провода влекут за собой уменьшение затухания; увеличение сечения стального магнитопровода действует в том же направлении.

Технические данные применявшихся дросселей

Марка стали	Сечение стали, см <sup>2</sup>	Диаметр средней силовой линии, см	Число витков обмотки переменного тока	Сопротивление обмотки переменного тока, ом	Наибольшее значение периода колебаний, сек.
Э4	2,56	9,4	200	2,3	0,9
Э4	7,00	18,5	500	2,1	1,7
Э4	12,00	40,0	450	1,4	3,0
Э4А	16,00	55,0	400	0,415	9,0
Э4	36,00	72,5	200	0,12	25,0

**Заключение.** 1. Причиной квази-релаксационных колебаний является *знакопеременное возникновение и исчезновение прямой слагающей переменного магнитного потока дросселей, вызванного токами в соответствующем замкнутом контуре, составленном обмотками дросселей* (в схеме с параллельным включением обмоток переменного тока замкнутый контур образуется именно этими обмотками; в схеме с последовательным включением обмоток переменного тока аналогичным контуром служит цепь подмагничивания).

2. Возникновение прямой слагающей тока подмагниченного дросселя обусловлено, как утверждает предложенная автором теорема, не-

стационарным процессом изменения приложенного к дросселю напряжения.

3. Нестационарными процессами, вызывающими изменение напряжения на дросселях, являются процессы прямого и обратного опрокидывания данной феррорезонансной цепи.

4. Исчезновение прямой слагающей переменного тока происходит в связи с известным законом, согласно которому при стационарном состоянии

$$\int_{\vartheta - \pi}^{\vartheta + \pi} i d\vartheta = 0.$$

5. Квази-релаксационный характер медленных колебаний проявляется в том, что их период зависит от одного запаса энергии (в данном случае — дросселя).

6. Период колебаний определяется мерой затухания дросселя, т. е. период будет тем больше, чем больше произведение эквивалентной индуктивности дросселя на активную проводимость обмотки.

7. Период колебаний является прямой функцией от веса дросселей.

В заключение автор считает своим долгом отметить ряд ценных указаний, полученных из от члена-корреспондента Академии наук СССР проф. К. А. Круга и проф. К. М. Поливанова.

#### Литература

1. А. С. Касаткин. Медленные колебания в феррорезонансных цепях. Электричество, № 3, 1940.
2. А. Е. Саломонович. Об электрическом и механическом феррорезонансе. Успехи физических наук т. XXXIV, вып. 3, 1948.
3. В. Е. Боголюбов. Квази-релаксационные колебания в феррорезонансных цепях. Труды Московского энергетического института им. Молотова, вып. 3, Госэнергоиздат, 1948.

[20. 12. 1948]



# Влияние газовых пленок на сопротивление контактов

Кандидат техн. наук Ю. Я. ЮРОВ

Ленинградский электротехнический институт им. Ульянова (Ленина)

Сопротивление угольных контактов при увеличении тока резко падает [Л. 1]. Если столб, состоящий из угольных пластин, сжать постоянной силой и измерять его сопротивление при различных значениях тока, то обнаруживается, что при нарастании тока  $I$  сопротивление столба  $R$  падает, но при обратном убывании тока сопротивление почти не зависит от тока (рис. 1).

Первоначально это несовпадение ветвей  $R=f(I)$  при нарастании и убывании  $I$  пытались объяснить тепловыми процессами в точках касания угольных контактов. Однако, подсчет [Л. 2] дает время нагрева площадок касания  $2 \cdot 10^{-6}$  сек.; процесс снятия зависимости  $R=f(I)$  длится минуты, следовательно, при этом мы должны иметь почти установившуюся температуру точек касания как при нарастании, так и при убывании тока.

Из осциллограмм тока и напряжения угольного столба при включении его на постоянное напряжение и на сумму постоянного напряжения 50 гц видно, что ток и напряжение в угольном столбе совпадают по фазе, напряжение пропорционально току и следовательно угольный столб при 50 гц ведет себя как постоянное активное сопротивление.

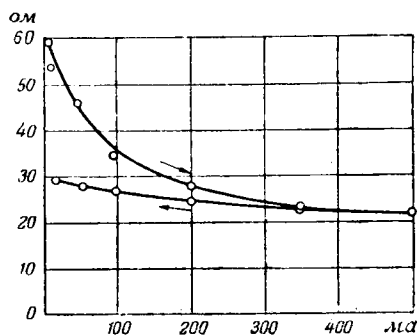


Рис. 1. Зависимость сопротивления угольного столба от тока.

Проведено экспериментальное и теоретическое исследование влияния газовых пленок, покрывающих поверхность контактов, на величину их сопротивления. Установлено, что газовая пленка увеличивает, а факторы, способствующие ее удалению, уменьшают сопротивление. Сопротивление снижается в вакууме при внешнем нагреве и при нагреве электрическим током. Учет влияния всех этих факторов может быть произведен с помощью теории, дающей количественное совпадение с результатами опытов.

По осциллограмме можно подсчитать величину мгновенных значений сопротивления столба и представить их в функции мгновенных значений силы тока. Оказывается, что эта зависимость (рис. 2) представляет собой прямую, параллель-

ную оси абсцисс, т. е. мгновенные значения сопротивления не зависят от мгновенных значений тока; следовательно, в промежутке времени 0,02 сек. мы имеем дело уже с вполне установившейся величиной сопротивления.

Для объяснения несовпадения ветвей  $R=f(I)$  при нарастании и убывании тока (рис. 1) автором было высказано другое предположение, а именно, что на величину сопротивления угольного столба влияет воздух, так как уголь обладает свойством сорбировать газы. Молекулы воздуха, адсорбированные на поверхности угля в виде тонкого слоя, при сборке столба сохраняются и в местах касания контактов. Наличие этого слоя воздуха между площадками касания в начале измерения создает повышенное переходное сопротивление. Прохождение тока разрушает воздушную прослойку, и величина сопротивления все в большей степени начинает обуславливаться металлическим переходным сопротивлением между площадками самого угля.

Проведенный опыт измерения сопротивления угольного столба под вакуумом полностью под-

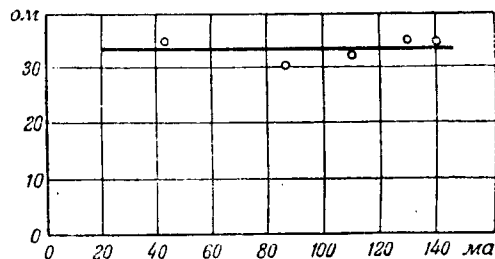


Рис. 2. Зависимость мгновенного значения сопротивления угольного столба от мгновенных значений тока.



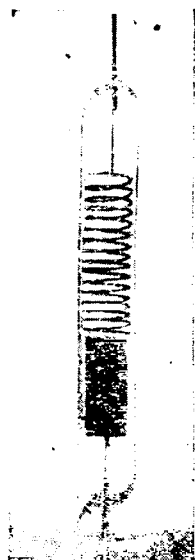


Рис. 3.  
Приспособление  
для измерения  
сопротивления  
угольного столба  
под вакуумом.

твердил это предположение. На рис. 3 изображена стеклянная ампула с выводами, в которую запаян угольный столб, сжатый пружиной. После откачки воздуха (до давления  $10^{-4}$  мм рт. ст.) было измерено сопротивление столба. Результаты этого измерения приведены на рис. 4, а. Видно, что под вакуумом имеется очень незначительное расхождение ветвей кривых сопротивления при возрастании и убывании тока; эта зависимость сохранилась с течением времени (измерения производились в течение недели). Через неделю в ампулу был впущен воздух, после чего расхождение ветвей стало значительным (рис. 4, б). Следовательно, влияние воздуха на величину сопротивления угольного столба можно считать вполне подтвержденным.

Автором было предложено следующее объяснение данного явления, получившее затем экспериментальное подтверждение. Тонкая пленка газа (воздуха), окружающая поверхность угля в воздухе, препятствует прохождению тока и при соприкосновении отдельных площадок касания проводящей является лишь та часть поверхности, которая разрушилась при соприкосновении. Температура этой части площади [Л. 2] возрастает до величины

$$T = \frac{(\Delta U)^2}{8\lambda r} + T_0, \quad (1)$$

где  $\Delta U$  — разность потенциалов между контактами;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности;

$r$  — удельное сопротивление материала контактов;

$T_0$  — температура всей массы материала контактов.

Вследствие теплового движения, молекулы газа будут слетать со своих мест, и площадка металлического касания расширится. В различных местах площадки касания температура удаления газовой пленки может быть непостоянна. Будем считать, что для удаления молекул газовой пленки с поверхности контактов потребуется тем меньшая температура, чем больше будет давление  $\sigma$ , прижимающее в данном месте контактные поверхности друг к другу; близкое расположение соседней контактной поверхности должно уменьшить потенциальный барьер, который надо преодолеть для удаления молекул газа, покрывающих поверхность контактов.

При рассмотрении в микроскоп поверхность контакта представляется шероховатой, состоя-

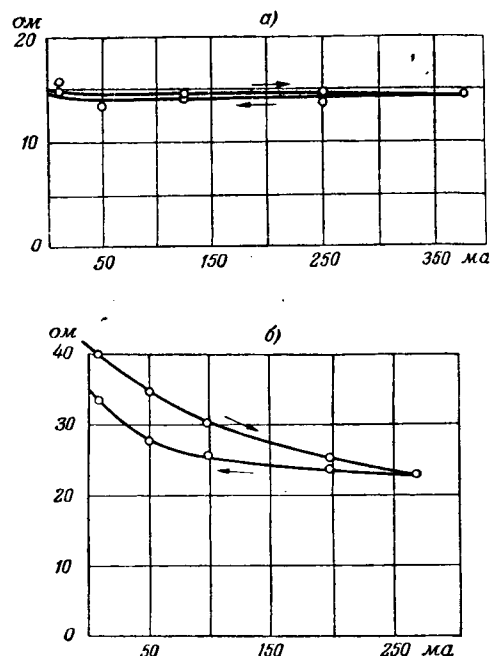


Рис. 4. Сопротивление угольного столба  
в функции тока.

а — под вакуумом; б — после выпуска  
воздуха в сосуд.

щей из отдельных выступов. Существующие теории переходного сопротивления контактов [Л. 2] рассматривают смятие площадок соприкосновения и оставляют открытым вопрос о распределении давления по поверхности смятой площадки. Точная картина соприкосновения контактов не может быть установлена и имеет случайный характер. Эксперимент показывает, что при одинаковой силе давления и прочих равных условиях сопротивление между одними парами контактов угольного столба в несколько раз отличается от сопротивления между соседними контактами того же столба. Для построения вероятной картины касания контактных поверхностей могут быть использованы упрощенные представления, которые могут быть не верными в каждом отдельном случае, но дадут правильный результат для целого угольного столба, состоящего обычно из 40 ÷ 50 контактов, так как сопротивление столба определяется суммой сопротивлений между всеми парами контактов, составляющих столб.

В результате действия сжимающей силы на контакты, на их поверхности происходит разрушение входящих в соприкосновение острых выступов; предположим, что после сжатия и освобождения, площадки соприкосновения будут иметь форму небольших участков сферических поверхностей. При повторных циклах сжатия будет происходить упругая деформация образовавшихся участков сфер, причем распределение давления по их поверхности может быть подсчитано по известной формуле для деформации упругих сфер:

$$\sigma = \frac{3P}{2\pi a^2} \sqrt{1 - \frac{r^2}{a^2}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  — давление в точке контактной площадки, отстоящей от ее центра на расстоянии  $r$ ;  
 $a$  — радиус площадки касания;  
 $P$  — сила, сжимающая сферы.

Давление по площадке соприкосновения уменьшается по мере удаления от центра площадки к периферии. Максимальное давление в центре площадки определит степень ее разрушения. Обозначая через  $\sigma_m$  временное сопротивление материала на смятие, имеем связь между максимальной силой  $P_m$  и максимальным радиусом площадки соприкосновения  $a_m$ :

$$\sigma_m = \frac{3P_m}{2\pi a_m} \quad (3)$$

При  $P = P_m$ ,  $a = a_m$ , мы получим распределение давления по площадке

$$\frac{\sigma}{\sigma_m} = \sqrt{1 - \frac{r^2}{a_m^2}} \quad \text{или} \quad \frac{r}{a_m} = \sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_m^2}} \quad (4)$$

Сопротивление  $R_i$  растеканию электрического тока через круглую площадку номера  $i$  радиуса  $r_i$  определяется формулой [Л. 2]:

$$R_i = \frac{\rho}{2r},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление материала контактов в  $\text{ом}\cdot\text{см}$ . Проводимость контактов

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{2}{\rho} r_i \quad (5)$$

Проводимость контактов без учета газовой пленки

$$G_0 = \sum_{i=1}^n \frac{2}{\rho} a_m \quad (6)$$

Воспользовавшись (4), перепишем (5) в следующем виде:

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{2}{\rho} a_m \sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_m^2}} \quad (7)$$

Будем считать, что  $\sigma$  — давление, при котором разрушение газовой пленки наступает при температуре  $T$ ;  $\sigma_m$  согласно вышеизложенному представляет собой напряжение разрушения материала на смятие.

Так как температура всех площадок согласно (1) одинакова, то для всех площадок  $\sigma = \text{const}$ . Предположим, что и  $\sigma_m = \text{const}$ ; тогда согласно (6) получится:

$$G = G_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_m}\right)^2} \quad (7)$$

где  $G$  — проводимость контактов с учетом действия газовой пленки;

$G_0$  — проводимость контактов при чисто металлическом касании;

$\sigma_m$  — напряжение разрушения материала контактов при сжатии в  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;

$\sigma$  — давление в  $\text{кг}/\text{см}^2$ , при котором для данной температуры  $T$  происходит освобождение контактной поверхности от пленки.

Согласно (7) всегда  $G < G_0$ , что подтверждается опытом, так как согласно данным рис. 4 сопротивление контактов под вакуумом в 1,6 раза меньше, чем в воздухе.

При увеличении  $\sigma$  температура разрушения пленки  $T$  должна уменьшаться. Предположим, что произведение  $\sigma T$  постоянно, причем температуру будем отсчитывать от абсолютного нуля

$$\sigma T = m = \text{const} \quad (8)$$

Принимая во внимание (1) и (7), получим:

$$G = G_0 \sqrt{1 - \frac{A}{(\Delta u^2 + 8k\rho T_0)^2}}; A = \frac{64k^2 r_m^2}{\sigma_m^2} \quad (9)$$

Последнее уравнение (9) содержит две постоянные величины  $G_0$  и  $A$ .

Для экспериментальной проверки (9) были получены семейства кривых  $R = \frac{1}{G} = f(\Delta u)$

(для одной пары угольных контактов) при различных давлениях на контакт для двух угольных столбов № 1 и № 2 (рис. 5 и 6). Кривые были получены при плавном увеличении тока (или  $\Delta u$ ).

Постоянные  $R_0 = \frac{1}{G_0}$  и  $A$  определялись по двум точкам экспериментальной кривой и уравнению (9).

Определив, таким образом,  $A$  и  $R_0$  при  $P = \text{const}$ , строим аналитическую зависимость  $R = \varphi(\Delta u)$ , которую и накладываем для сравнения на графики рис. 5 и 6 вместе с экспериментальной.

Нужно отметить, что при различных силах сжатия столба коэффициент  $A$  остается почти неизменным.

Значения  $A$  и  $R_0$  при  $\rho = 0,01 \text{ ом}\cdot\text{см}$ ;  $\lambda = 0,12 \text{ вт}/\text{см}^2\cdot^\circ\text{C}$  и  $T_0 = 293^\circ\text{K}$ ;  $^\circ\text{C}$  (полученные при обработке кривых рис. 5 и 6 приведены в таблице 1)

Таблица 1

Столб	$P, \text{ кг}$	$A$	$R_0, \text{ ом}$
№ 1	0,059	0,214	0,252
	0,159	0,224	0,109
	0,203	0,224	0,08
№ 2	0,010	7,48	0,161
	0,030	8,19	0,081
	0,100	8,50	0,031
	0,200	8,60	0,018

Мы видим, что для всех кривых одного и того же столба  $A \approx \text{const}$ .

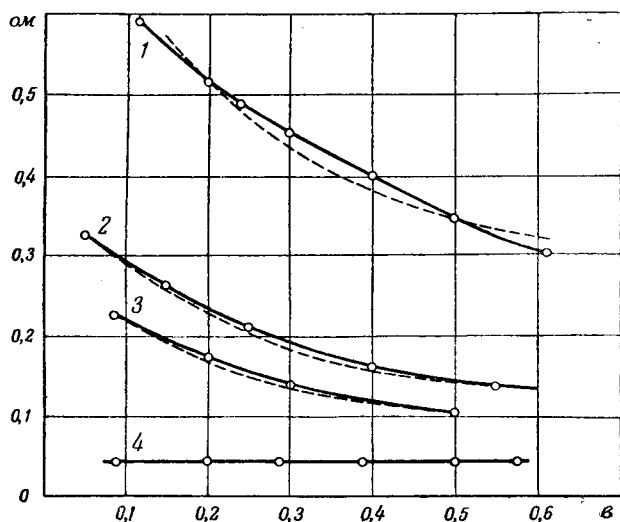


Рис. 5. Сравнение экспериментальной и аналитической зависимостей  $R = f(\Delta U)$  для столба № 1.

Сплошные линии — опытная зависимость, пунктирные — аналитическая.

График 1 —  $P = 59$  г; 2 —  $159$  г; 3 —  $209$  г; 4 —  $409$  г.

Поскольку формулы зависимости сопротивления угольного столба от силы тока совпадают с экспериментальными зависимостями можно утверждать, что угольный столб ведет себя так, как если бы соблюдались предположения, сделанные при выводе формул.

Механизм действия газовой пленки, покрывающей контакты, на электрическую проводимость представляется следующим образом:

а) Газовая пленка, покрывающая поверхность контактов, служит препятствием для прохождения электрического тока через соприкасающиеся выступы. Во всяком случае, часть тока, проходящего через поверхность, покрытую газовой пленкой, ничтожно мала по сравнению с той частью тока, которая проходит через поверхности, свободные от газовой пленки.

б) Часть соприкасающихся выступов оказывается свободной от газовой пленки, причем прочность сцепления пленки с поверхностью материала контактов понижается с увеличением

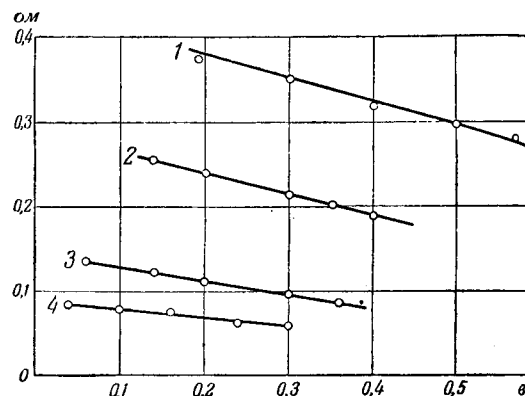


Рис. 6. Сравнение экспериментальной и аналитической зависимостей  $R = f(\Delta U)$  для столба № 2.

Графики — опытная зависимость; точки — аналитическая зависимость. График 1 —  $P = 10$  г; 2 —  $30$  г; 3 —  $100$  г; 4 —  $200$  г.

температуры и давления контактных поверхностей друг на друга в местах их соприкосновения.

в) Освобождение поверхности от газовой пленки происходит при достаточно высоких для этого температуре и давлении, причем было предположено, что на границе области, свободной от пленки, соблюдается условие постоянства произведения давления контактных поверхностей на абсолютную температуру  $T$  в данном месте  $T\sigma = m$ ; при  $T\sigma > m$  пленка отсутствует; при  $T\sigma < m$  — поверхность покрыта пленкой.

г) При увеличении тока падение сопротивления столба будет происходить за такое время, за которое успеет нагреться площадка касания контактов, т. е. за несколько микросекунд, как это и было подсчитано и измерено.

Восстановление сопротивления будет происходить после выключения тока медленно, по мере покрытия газовой пленкой контакта.

### Литература

1. В. С. Кулебакин. Угольные регуляторы напряжения. Изд. Академии им. Жуковского, 1945.
2. Г. Т. Третьяк и Н. Е. Лысов. Основы тепловых расчетов электрической аппаратуры. ОНТИ, 1936.

[16. 12. 194]



## Передвижной многоскоростной электропривод для сельского хозяйства

Кандидат сел.-хоз. наук, доц. Л. Я. ЦИВЬЯН

Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства им. Молотова

Для перевода сельскохозяйственных производственных процессов на электроэнергетическую базу требуется огромное количество электродвигателей, определяющееся сотнями тысяч штук. Эффективность комплексной электрификации в дальнейшем будет зависеть от осуществления рационального электропривода сельскохозяйственных машин и правильного использования парка электродвигателей.

Требования к электродвигателю, обусловленные комплексным использованием его в сельскохозяйственном производстве. Особенностью электропривода сельскохозяйственных машин, резко отличающей его от электропривода машин в промышленности, является сезонность производственных процессов, узкая специализация и, как следствие этого, низкое годовое число часов их использования. Отсюда вытекает задача многократного использования одного и того же двигателя для нескольких машин, работающих одновременно, но это приводит к тому, что в группу машин, обслуживаемую одним двигателем, неизбежно должны включаться машины различной мощности, что требует работы двигателя с высокими энергетическими показателями при полной и частичных нагрузках.

Поставленным условиям отвечает асинхронный двигатель с секционированной обмоткой статора, практически не уменьшающий коэффициента мощности и полезного действия при снижении нагрузки до  $\frac{1}{4}$  номинальной.

Тихоходность большинства сельскохозяйственных машин не допускает непосредственного соединения с двигателем или соединения посредством одной ступени ременной передачи.

По потребляемой мощности состав парка сельскохозяйственных машин характеризуется тем, что для 75% типоразмеров нужен двигатель не более 4,5 кВт.

Устройство передвижного многоскоростного электропривода. Этот электропривод состоит из синхронного электродвигателя и промежуточного вала, установленных (для удобства передвижения) на одноосной тележке (рис. 1).

Двигатель снабжен пусковым контроллером, зробкой с нормальными предохранителями и ланговым четырехжильным проводом дляключения в сеть.

**Электродвигатель.** На опытном образце был установлен электродвигатель типа Р-41-6 («Урал») мощностью 2,7 кВт, 900 об/мин, с секционированной обмоткой статора, которая выполнена двумя параллельными проводами равного сечения. Таким образом, на каждую фазу имеются две секции и к пусковому контроллеру выводятся 12 концов. Изменение режима мощности двигателя осуществляется путем переключения концов статорной обмотки на четыре следующие схемы: параллельная звезда, треугольник, треугольник-звезда, последовательная звезда. При всех четырех схемах соединения к зажимам двигателя подводится одно и то же линейное напряжение. Однако, для каждого соединения на секцию фазы ложится различная доля полного линейного напряжения.

Ток холостого хода двигателя при постоянном подведенном напряжении меняется обратно пропорционально квадрату числа витков обмотки статора. Вполне очевидно, что токи статора изменяются по тому же закону, так как они являются суммами тока холостого хода и приведенного тока ротора.

Активное сопротивление, приходящееся на фазу, увеличивается в 4 раза при переходе от

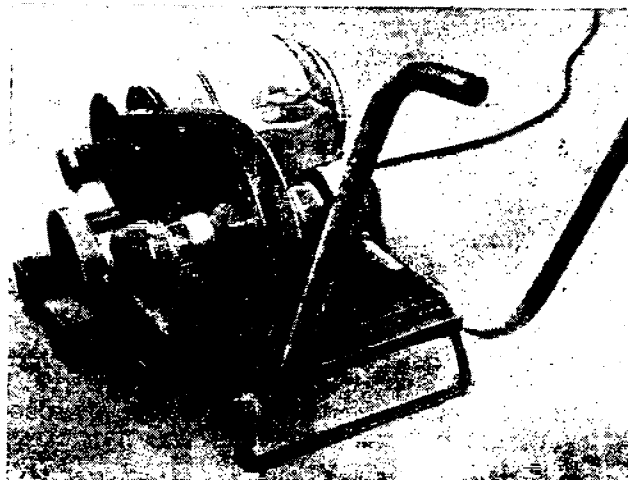


Рис. 1. Общий вид передвижного многоскоростного электропривода

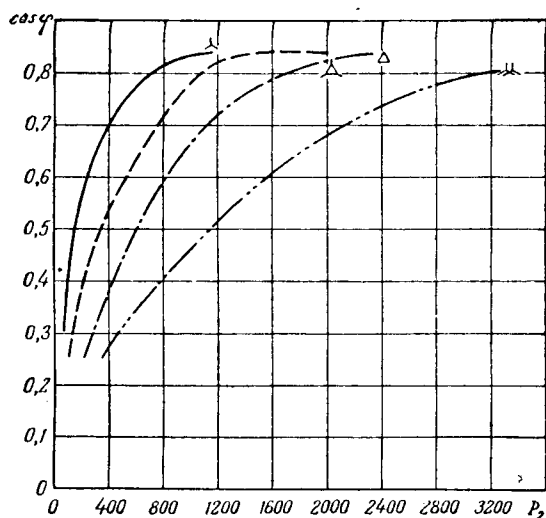


Рис. 2. Коэффициент мощности секционированного двигателя „Урал“ P-41-6.

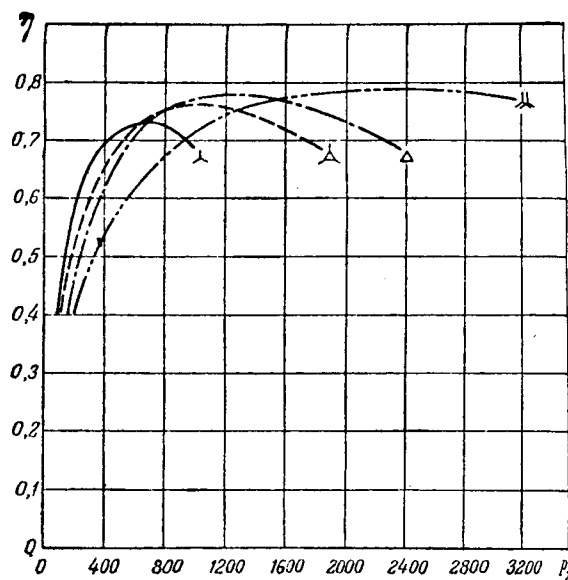


Рис. 3. Коэффициент полезного действия секционированного двигателя „Урал“ P-41-6.

параллельной к последовательной звезде. Оно меняется как вследствие изменения длины, так и сечения провода обмотки фазы. Мощность и вращающий момент изменяются обратно пропорционально квадрату числа витков обмотки фазы. Уменьшение напряжения на секцию ведет к уменьшению магнитного потока и величины намагничивающего тока. Это обуславливает изменение соотношения активной и реактивной составляющих тока, при котором активная составляющая становится значительно больше реактивной, в результате чего при частичных нагрузках получается увеличение коэффициента мощности (рис. 2).

Увеличение к. п. д. обуславливается изменением соотношения постоянных и переменных потерь при переходе от соединения обмотки, соответствующей полной мощности двигателя, к частичным. Равенство постоянных и переменных потерь, при котором к. п. д. достигает максимума, наступает раньше при меньших нагрузках, вследствие того что электрические потери, обуславливаемые быстро растущим активным током, увеличиваются, а потери холостого хода уменьшаются вследствие уменьшения индукции (рис. 3).

Таким образом, включение обмоток двигателя при малых нагрузках на соответствующие схемы частичной мощности улучшает также и к. п. д.

Исследование пускового режима осциллографированием разбега двигателя вхолостую показало, что при схемах соединения обмотки статора с большим числом витков обмотки на фазу величины пускового тока получаются значительно меньшими.

При схеме последовательная звезда пусковой ток двигателя в 4 раза меньше, чем при схеме параллельная звезда, и составляет  $1,27 I_{ном}$ . При включении двигателя вхолостую по схеме полной мощности конструкция пускового контроллера позволяет предварительно включить

двигатель на все предыдущие ступени частичных мощностей. При этом разбег двигателя успевает произойти при включении по первой схеме (последовательная звезда) и переключение его на последующие ступени не вызывает пускового броска тока. Разбег двигателя при частичных нагрузках, приложенных к его валу, происходит также при значительно пониженных значениях пускового тока.

При полной нагрузке, приложенной к валу двигателя, наблюдается уменьшение пускового тока вследствие начала трогания с места двигателя при схемах частичной мощности, обусловленного проскальзыванием шкива по ремню в первый момент пуска. Практически пусковые условия под нагрузкой облегчаются тем обстоятельством, что подавляющее большинство сельскохозяйственных машин пускаются с холостого хода, т. е. при пониженном начальном моменте сопротивления машины. Это обстоятельство делает чрезвычайно желательным применение секционированного двигателя в условиях малых сельских электростанций.

**Промежуточный вал с изменителем.** На промежуточном валу укреплены два шкива: один нормальный диаметром 125 мм для передачи плоским ремнем вращения приводимой машины, второй шкив—специальной конструкции, служащий для сцепления с электродвигателем. Ос-

Таблица 1

Пусковые характеристики двигателя

Соединение обмотки статора	Пусковой ток, а	Снижение пускового тока	Кратность пускового тока	Время разбега, сек.
Параллельная звезда	33,2	1,0	5,1	0,10
Треугольник . . . . .	23,6	0,71	3,63	0,16
Треугольник-звезда	12,1	0,36	1,87	0,28
Последовательная звезда . . . . .	8,3	0,25	1,27	0,42

бенностью этого шкива является то, что он состоит из двух конических половинок, причем одна половинка закреплена жестко на валу, а вторая может немного перемещаться вдоль вала. Такой же шкив, но меньшего диаметра установлен на валу двигателя. Оба эти шкива сцеплены клиновидным ремнем. Конструктивная разница между ведущим и ведомым шкивами состоит в том, что у ведущего подвижная половинка все время находится под давлением пружины, прижимающей ее к закрепленной на валу половине, а у ведомого подвижная половина устанавливается на некотором расстоянии от закрепленной, посредством вращения от руки установочной муфты, находящейся на конце промежуточного вала.

В зависимости от расстояния между коническими половинками этого шкива клиновидный ремень будет проходить по большей или меньшей окружности, т. е. диаметр шкива будет как бы изменяться. Половинки ведущего шкива будут устанавливаться на нужное между собой расстояние сами в зависимости от натяжения клиновидного ремня. Такое устройство позволяет плавно изменять число оборотов промежуточного вала при постоянном числе оборотов двигателя.

**Изменитель.** Минимальное число оборотов, которое должен давать передвижной электропривод для машин ручного действия (60 об/мин) одной ступенью ременной передачи, должно быть не выше 250 об/мин. Необходимые пределы регулирования, следовательно, лежат в границах 250—960 об/мин. Для получения необходимой области регулирования применен наиболее широкий клиновидный ремень (применяющийся на самоходном комбайне) и неодинаковые диаметры шкивов на ведущем и ведомом валах изменителя; с целью увеличения эластичности этого ремня удален внутренний слой сплошной резины и оставлен слой с корднитью. Место среза провулканизировано. Благодаря этому толщина ремня с 24 мм уменьшилась до 12 мм, а площадь поперечного сечения с 8,7 см<sup>2</sup> до 4,2 см<sup>2</sup>. Размеры ремня: верхнее основание 43,5 мм, высота 12 мм, угол между боковыми гранями ~30°, длина ремня по нейтральной линии ~1,6 м.

Проведенными испытаниями установлено, что передаточные числа изменителя находятся в пределах от  $i' = 1 : 0,97$  до  $i'' = 1 : 3,72$  и числа оборотов промежуточного вала меняются в пределах от  $n' = 990$  до  $n'' = 258$ , что дает область регулирования  $i_p = 3,83$ .

Холостые потери в клиновидной передаче составляют 7,8—11,0% от полной мощности на валу двигателя. Величина потерь колеблется в зависимости от величины передаточного числа, достигая максимума в 300 вт при 250 об/мин промежуточного вала. При установке еще более эластичного и тонкого ремня сечением 4,2 см<sup>2</sup> потери снизились против указанных на 30%.

Потери в изменителе уменьшаются с ростом нагрузки, что объясняется увеличением нажатия ремня на стенки канавки. Общий к. п. д. электропривода с учетом к. п. д. двигателя получался в пределах от 0,55 до 0,67.

**Заключение.** 1. С учетом шкалы мощностей новейшей серии электродвигателей типа «Урал» может быть предложена следующая шкала передвижных многоскоростных электроприводов (табл. 2).

Таблица 2

Тип двигателя	Номинальное число об/мин	Область регулирования числа оборотов об/мин	Номинальная мощность двигателя, кВт	Область экономического регулирования мощности, кВт
P-41-6	960	250—960	2,7	0,8—2,7
P-42-6	960	250—960	3,3	1,0—3,3
P-51-8	725	190—725	4,0	1,2—4,0
P-52-6	960	250—960	4,5	1,35—4,5

2. Расчеты, выполненные для определения эффективности применения описанного электропривода при комплексной электрификации производственных процессов в колхозах, приводят к следующим показателям его эффективности:

а) применение передвижного многоскоростного электропривода дает сокращение числа необходимых в хозяйстве двигателей не менее чем на 50%;

б) использование передвижного электродвигателя в условиях сельского хозяйства может достигнуть 2 500 час. в год.

[30. 11. 1948]



# Экспериментальное исследование размагничивающего действия реакции якоря

Кандидат техн. наук Л. М. ШИЛЬДИНЕР

Рассматриваемый экспериментальный метод позволяет определить уменьшение магнитного потока главных полюсов, обусловленное воздействием м. д. с. якоря, в шунтовых машинах постоянного тока, не имеющих компенсационной обмотки. Отличительная его особенность заключается в том, что он дает возможность с большой точностью вычислить величину уменьшения главного потока для каждого момента времени в течение всего периода переходного процесса и также при многократных токах нагрузки стационарного режима, вплоть до установившегося тока полного короткого замыкания. В предлагаемом методе использовано явление размагничивающего действия поперечной м. д. с. при включении тока якоря и также возникающее вследствие этого убывание главного потока, который в свою очередь вызывает изменение тока возбуждения.

При проведении опыта якорь затормаживается и главный поток возбуждается заранее. Одновременно с включением тока якоря производится осциллографирование тока возбуждения, который, как известно, претерпевает при этом большое изменение.

Осциллограмма рис. 1 иллюстрирует изменение токов якоря  $i_a$  и возбуждения  $i_g$ .

Таким образом, ток включается в цепь заторможенного якоря лишь на время, необходимое, чтобы произвести осциллографирование процесса изменения тока возбуждения, когда включается ток якоря, т. е. не больше, чем на 0,2—0,3 сек. Ток в течение столь небольшого промежутка времени не может, конечно, повредить машины даже при предельной его кратности — установившемся токе короткого замыкания.

Напомним, что известный метод [Л. 1] экспериментального определения внешней характеристики стационарного режима шунтовой машины постоянного тока требует, чтобы якорь вращался. За время вращения якоря следует произвести измерение ряда показателей — тока, напряжения и скорости якоря. Обычно опыт ограничивается значениями тока, двух-трехкратными номинальному току. Экспериментирование с многократными нагрузками связано с опасностью появления кругового огня на коллекторе. Недо-

статки также свойственны методу определения внешней характеристики по измеренным значениям крутящих моментов.

Теоретические предпосылки лучше рассматривать в разрезе задачи определения конечных значений уменьшения главного потока вследствие размагничивающего действия реакции якоря.

Напишем уравнение напряжения цепи возбуждения шунтовой машины с учетом возникающей добавочной составляющей тока возбуждения  $i$  (см. осциллограмму рис. 1) и уменьшения главного потока  $\varphi$ :

$$U = L_{\text{ср}} \frac{d(i_0 + i_g)}{dt} + r_g(i_0 + i_g) - w_{g1} \frac{d\varphi}{dt} \cdot 10^{-8}, \quad (1)$$

где  $U$  — напряжение<sup>1</sup>, подводимое к обмотке возбуждения главных полюсов;

$L_{\text{ср}}$  — индуктивность потоков рассеяния главных полюсов;

$i_0$  — установившийся ток в обмотке возбуждения;

$r_g$  — активное сопротивление обмотки возбуждения главных полюсов;

$w_{g1}$  — число последовательно соединенных витков обмотки возбуждения.

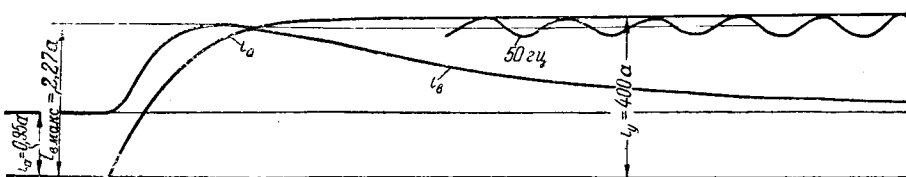
В уравнении (1)  $U = r_g \cdot i_0$  и  $\frac{di_0}{dt} = 0$ . Интегрируем его в пределах от  $t = 0$  до  $t = \infty$

$$L_{\text{ср}} \int_0^{\infty} i_g di_g + r_g \int_0^{\infty} i_g^2 dt + w_{g1} \cdot 10^{-8} \int_0^{\infty} i_g d\varphi = 0. \quad (2)$$

При  $t = 0$  и  $t = \infty$   $i_g = 0$ .

Первый интеграл выражает энергию потоков рассеяния и его решение дает нуль. Второй интеграл представляет энергию, которая поглощается активным сопротивлением за время, прошедшее от момента включения тока якоря и до прекращения переходного процесса в цепи возбуждения. Третий интеграл дает уменьшение запасенной энергии изменившегося главного потока. Следует отметить, что как бы долго ни продолжался процесс установления тока в обмотке возбуждения, значения второго и третьего интегралов, равные друг другу, не могут превысить конечной величины.

<sup>1</sup> Предполагается постоянный источник питания обмотки возбуждения либо источник большой мощности.



Фиг. 1.

Выполнить указанные в уравнении (2) квадратуры трудно. Легче решить задачу, если прибегнуть к приближенному интегрированию осциллограммы кривой добавочной составляющей тока возбуждения  $i_e$ .

Интегрируя (1) в пределах от  $t=0$  до  $t=\infty$ , находим конечное значение кажущегося размагничивающего потока

$$\varphi_p = \int_0^{\infty} d\varphi = \frac{L_{\sigma\sigma} \cdot 10^8}{\omega_{\sigma 1}} \cdot \int_0^{\infty} di_e + \frac{r_e \cdot 10^8}{\omega_{\sigma 1}} \cdot \int_0^{\infty} i_e dt; \quad (3)$$

при  $t=0$ ,  $i_e = 0$ ,  $\varphi = 0$ ; при  $t=\infty$ ,  $i_e = 0$ ,  $\varphi = \varphi_p$ ,  
 $\varphi = \Phi_0 - \Phi_d$ ,

где  $\Phi_0$  — поток холостого хода;

$\Phi_d$  — действующий главный поток при наличии воздействия реакции якоря.

Первый интеграл правой части, выражающий изменение потоков рассеяния, равен нулю и не оказывает влияния на конечную величину главного потока.

Для определения второго интеграла (обозначим его  $F$ ) произведем вычисление площади, ограниченной ординатами добавочной составляющей тока возбуждения  $i_e$  и линией установившегося тока возбуждения  $i_0$ . Таким образом, находим, что конечное значение размагничивающего потока

$$\varphi_p = \frac{Fr_e \cdot 10^8}{\omega_{\sigma 1}}. \quad (4)$$

Для получения каждой точки внешней характеристики следует предварительно включить в якорь такое сопротивление, чтобы установившийся ток не превысил предусмотренной величины. Затем производится включение тока в цепь якоря и одновременно осциллографируется изменяющийся ток возбуждения.

С помощью излагаемого метода можно также определить значение кажущегося размагничивающего потока для каждого момента времени в течение всего периода переходного процесса включения тока<sup>2</sup>.

Для решения этой задачи требуется в уравнении (3) изменить пределы интегрирования от  $t_n$  до  $t_{n+1}$ . Для каждого момента времени по-

<sup>2</sup> Эти пределы выбираются в зависимости от удобства пользования масштабом осциллограммы. Следует предостеречь против использования витков компаундной обмотки в качестве измерительной катушки для осциллографирования размагничивающего потока. В самом деле, эти витки охватываются потоками рассеяния шунтовой обмотки, которые возрастают в два-три раза во время включения тока в якорь, и тогда это рассеяние может достичь величины, равной величине размагничивающего потока. Следовательно, поток в результате вычисления по осциллограммам оказывается сильно преувеличенным.

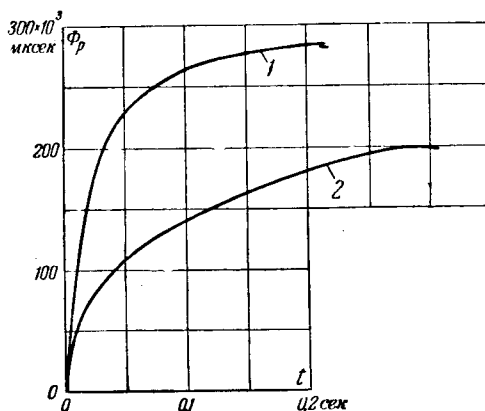


Рис. 2.

лучим величину размагничивающего потока с помощью такой формулы:

$$\varphi = \sum_{n=1} \left( \frac{L_{\sigma\sigma} \cdot 10^8}{\omega_{\sigma 1}} \Delta i_e + \frac{r_e \cdot 10^8}{\omega_{\sigma 1}} \cdot i_e \Delta t \right), \quad (5)$$

где  $\Delta i_e = i_{en+1} - i_{en}$  — разность значений добавочного тока возбуждения для моментов времени  $t_n$  и  $t_{n+1}$ , а средняя величина этого тока

$$i_e = \frac{i_{en+1} + i_{en}}{2} \text{ и } \Delta t = t_{n+1} - t_n.$$

Первый член суммы (5) представляет изменение величины потока рассеяния главных полюсов. Потоки рассеяния сначала добавляются к изменяющейся части главного потока  $\varphi$ , а после достижения током значения  $i_e$  вычитаются из него.

Приведенная на рис. 2 кривая 1 изменений кажущегося размагничивающего потока в функции времени, обусловленных воздействием реакции якоря, получена при установившемся токе  $i_y = 400$  а и  $i_0 = 0,95$  а, а кривая 2 при  $i_y = 200$  а (номинальный ток якоря равен 50 а) и при  $i_0 = 0,95$  а, равном номинальному току возбуждения.

Выполним еще другое изображение кривых размагничивающего потока  $\varphi$  — построим эти кривые в функции тока якоря. Значения тока для каждого момента времени могут быть взяты с осциллограммы, на которой одновременно с током возбуждения также производится осциллографирование тока якоря. Назовем эти кривые динамическими характеристиками размагничивания главного потока в функции тока якоря. Эти характеристики изображаются кривыми 2 и 3 на рис. 3. Кривая 2 соответствует  $i_y = 200$  а, а кривая 3 —  $i_y = 400$  а. В обоих случаях  $i_0 = 0,95$  а. Кривая 1 рис. 3 также представляет характеристику размагничивания главного потока, но она построена с помощью внешней характеристики стационарного режима — назовем ее статической характеристикой.

Сопоставляя кривые динамической и статической характеристик, мы видим, что их конечные значения совпадают. Однако, изменение кри-



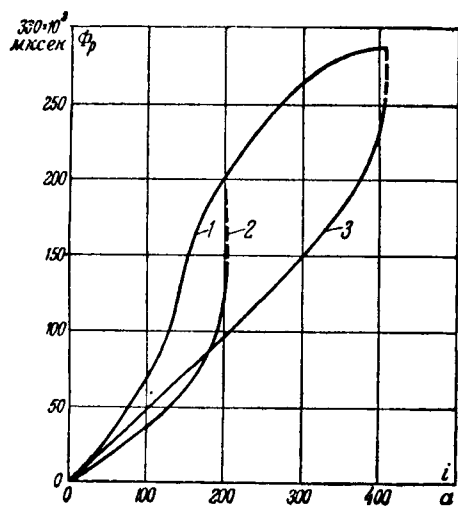


Рис. 3.

вой размагничивающего потока по динамическим характеристикам отличается от кривой статической характеристики и они обнаруживают подобие гистерезиса. Это обусловлено демпфи-

ванием размагничивающего действия реакции якоря вихревыми токами и частичным компенсированием размагничивания главного потока, возникающим добавочным током возбуждения.

Динамические характеристики показывают, что ток якоря растет быстрее размагничивающего потока, т. е. магнитная постоянная времени размагничивающего потока больше электрической постоянной времени цепи якоря.

Рассмотренный метод может быть плодотворно использован для экспериментального изучения демпфирующего влияния вихревых токов во время неустановившегося режима машин постоянного тока. Практическая ценность этого метода заключается в том, что он позволяет достаточно точно экспериментально определить при прямом пуске крутящий момент двигателя при больших кратностях пускового тока и также крутящий момент, возникающий при внезапном коротком замыкании генератора постоянного тока.

#### Литература

1. В. С. Кулебакин. Испытание электрических машин и трансформаторов. Госэнергоиздат, 1935.

[28. 9. 1946]



## Применение системы формул Максвелла для расчета сопротивлений между электродами при электропрогреве бетона

Кандидат техн. наук, доц. А. В. НЕТУШИЛ, студент К. Б. ИСАЕВ  
и студент С. К. ФЕДОРОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

При ведении строительных работ в зимних условиях ЦНИЛЭПС применяет электродный метод электропрогрева [Л. 1], сущность которого заключается в пропускании электрического тока непосредственно через вновь уложенный бетон, что приводит к нагреву и значительному сокращению времени твердения бетона. Электропрогрев находит широкое распространение в строительстве и благодаря его освоению практически ликвидирована сезонность в строительных работах по бетону и кирпичной кладке.

До настоящего времени расстановка электродов производилась без соответствующих расчетов, в результате чего бывали случаи неравномерного нагрева, иногда приводившего к перегреву некоторых участков и даже разрушению прогреваемых конструкций [Л. 2]. Попытки применить для расчета распределения тока в бетоне формулы, выведенные Оллендорфом [Л. 3], часто не дают хороших результатов. Работы Оллендорфа относятся к подсчету сопротивления растекания заземлителей, в которых одним полюсом является система заземляющих электродов,

а вторым — полусфера бесконечно большого радиуса. Электрическое поле при этом не может обладать плоскопараллельной симметрией, и его расчет представляет значительные трудности.

При электропрогреве ограниченных объемов простой формы обычно применяются цилиндрические электроды, а нагреваемый материал ограничивается плоскими поверхностями, перпендикулярными или параллельными осями электродов.

Ток протекает между электродами, расположенными относительно близко один от другого. Электрическое поле плоскопараллельно, и его расчет может быть произведен относительно просто с помощью системы формул Максвелла с потенциальными коэффициентами.

Целью настоящей статьи является рассмотрение нескольких примеров применения формул Максвелла для расчета сопротивлений между электродами.

**Исходные формулы.** Если в однородной проводящей среде бесконечной протяженности расположены электроды, подводящие токи  $I_1, I_2, \dots$

$I_1, \dots, I_n$ , то потенциалы электродов  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$  могут быть определены из общих формул Максвелла [Л. 4] для проводящей среды:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \alpha'_{11} I_1 + \dots + \alpha'_{1k} I_k + \dots + \alpha'_{1n} I_n, \\ \vdots \\ \varphi_i = \alpha'_{i1} I_1 + \dots + \alpha'_{ik} I_k + \dots + \alpha'_{in} I_n, \\ \vdots \\ \varphi_n = \alpha'_{n1} I_1 + \dots + \alpha'_{nk} I_k + \dots + \alpha'_{nn} I_n. \end{cases} \quad (1)$$

Потенциальные коэффициенты  $\alpha'_{ik}$  дают ту составляющую потенциала  $i$ -го электрода, которая получилась бы в данной системе при подведении тока в  $1$  а к  $k$ -му электроду, при равенстве нулю всех остальных токов, например:  $\varphi_i = \alpha'_{ik} I_k$ .

Потенциальные коэффициенты для поля в проводящей среде связаны с потенциальными коэффициентами электростатического поля  $\alpha_{ik}$  соотношением  $\alpha'_{ik} = \epsilon \rho \alpha_{ik}$ , где  $\rho$  и  $\epsilon$  — удельное объемное сопротивление и диэлектрическая проницаемость среды.

Если при подсчете частичных емкостей системы проводов, подвешенных над поверхностью земли, в выражениях для потенциальных коэффициентов учитывается как сам провод, так и его зеркальное изображение, то при решении задач с ограниченными средами удобно рассматривать как сам провод, так и его отражение самостоятельно. Тогда потенциальные коэффициенты в формулах Максвелла определяются следующим образом:

$$\alpha'_{ii} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln r_i; \quad \alpha'_{kk} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln r_k; \quad \alpha'_{ki} = \alpha'_{ik} \approx \frac{\rho}{2\pi l} \ln r_{ki},$$

где  $r_i$  и  $r_k$  — радиусы электродов,

$l$  — длина электродов;

$r_{ki}$  — расстояние между осями  $k$ -го и  $i$ -го электродов (принимая, что  $r_i \ll r_{ki} \gg r_k$ ).

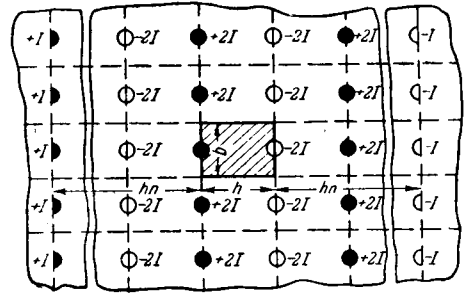
Сопротивление между парой электродов

$$R = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{I}, \quad (2)$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  определяются согласно (1) с учетом зеркальных отражений электродов с током  $I$  от ограничивающих поверхностей. Если бетон ограничен изолирующей поверхностью, то знак тока при отражении не меняется. Если поверхность проводящая, с удельным сопротивлением значительно меньшим, чем сопротивление бетона, то знак отраженного тока противоположен знаку реального тока.

**Два цилиндрических электрода в полупроводящей пластине.** Пусть цилиндрические электроды радиуса  $r$  размещены на расстоянии  $h$  вдоль оси проводящей стены толщиной  $b$  [Л. 5]. Тогда для замены неоднородной среды однородной необходимо отразить от обеих поверхностей ток каждого электрода и всех его отражений так, чтобы в итоге каждая из поверхностей стены могла служить осью симметрии. В резуль-

Рис. 1. Схема расположения электродов и их отражений.



тате такого многократного отражения получаются две решетки с шагом между стержнями  $b$ , находящиеся одна от другой на расстоянии  $h$  (см. табл. 1, п. 4). К каждому из стержней первой решетки подводится ток  $I$ , а второй решетки — ток  $-I$ . Формулы Максвелла для потенциалов первой и второй решеток имеют вид:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= -\varphi_2 = \\ &= -\frac{\rho I}{2\pi l} \left( \ln \frac{h}{r} + 2 \sum_{i=1}^{\infty} \ln \frac{\sqrt{h^2 + b^2 i^2}}{bi} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Из теории целых функций [Л. 6] известно, что  $\prod_{i=1}^{\infty} \left( 1 + \frac{a^2}{i^2} \right) = \frac{\sinh a\pi}{a\pi}$  и, следовательно,

$$\sum_{i=1}^{\infty} \ln \left( \frac{h^2}{b^2 i^2} + 1 \right) = \ln \frac{\sinh \frac{h}{b} \pi}{\frac{h}{b} \pi}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), получаем с учетом (2)

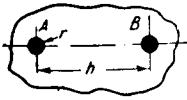
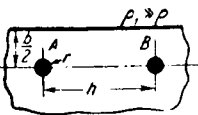
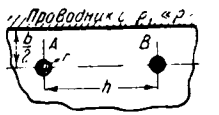
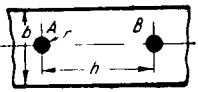
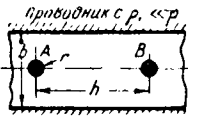
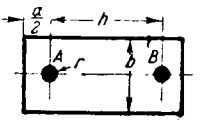
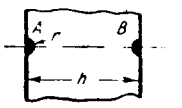
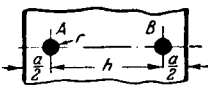
$$R = \frac{\rho}{\pi l} \left[ \ln \frac{h}{r} + \ln \frac{\sinh \frac{h}{b} \pi}{\frac{h}{b} \pi} \right]. \quad (5)$$

Эта формула приводится Оллендорфом [Л. 3] в несколько ином виде для подсчета сопротивления растекания вдоль поверхности стены. Для  $\frac{h}{b} > 1$ ,  $\ln \sinh \frac{h}{b} \approx \frac{h}{b} - \ln 2$  и, следовательно,

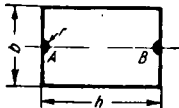
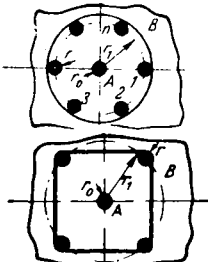
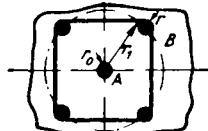
$$R \approx \frac{\rho}{l} \left( \frac{h}{b} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{b}{2\pi r} \right). \quad (5a)$$

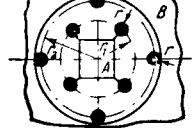
**Два цилиндрических электрода в полупроводящей призме.** Если проводящая среда имеет форму призмы со сторонами  $b$ ,  $h$  и  $l$ , а электроды утоплены только наполовину (рис. 1), то для подсчета распределения токов необходимо произвести отражение электродов от всех шести граней призмы. Отражение от граней, перпендикулярных осям электродов, приводит к представлению об электродах бесконечно большой длины. Отражение от боковых граней приводит к системе двух решеток, состоящих из полуцилиндров, а последующее отражение полученных решеток от торцовых поверхностей приводит к системе безграничных решеток. Для получения приближенного результата целесообразно заменить две крайние разнотипные решетки, состоящие из полуцилиндров, эквивалентными пластинами плоского конденсатора и рассчитать сопротивления между электродами для раз-

Формулы для расчета сопротивлений между

№ п.п.	Эскиз конструкции и расстояния между электродами	Сопротивление между точками А и В	Примечание	№ п.п.
1		$R_1 = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{h}{r}$	$r \ll h$	
2		$R_2 = \frac{\rho}{\pi l} \left( \ln \frac{h}{r} + \ln \sqrt{\frac{h^2}{b^2} + 1} \right)$	$r \ll h$ $r \ll b$	9
3		$R_3 = \frac{\rho}{\pi l} \left( \ln \frac{h}{r} - \ln \sqrt{\frac{h^2}{b^2} + 1} \right)$	$r \ll h$ $r \ll b$	10
4		$R_4 = \frac{\rho}{\pi l} \left( \ln \frac{h}{r} + \ln \frac{\operatorname{sh} \frac{h}{b} \pi}{\frac{h}{b} \pi} \right) \approx \frac{\rho}{l} \left( \frac{h}{b} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{b}{2\pi r} \right)$	$r \ll h$ $r \ll b$	11
5		$R_5 = \frac{\rho}{\pi l} \left( \ln \frac{h}{r} + \ln \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{2} \frac{h}{b}}{\frac{\pi}{2} \frac{h}{b}} \right)$ $R_5 \approx \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2b}{\pi r} \text{ при } \frac{\pi h}{2b} \gg 1$	$r \ll h$ $r \ll b$	12
6		$R_6 = \frac{\rho}{\pi l} \left[ \ln \frac{h}{r} + \ln \frac{\operatorname{sh} \frac{h}{b} \pi}{\frac{h}{b} \pi} - \ln \left( 1 - e^{-\frac{2(a+r)}{b} \pi} \right) \right]$	$r \ll b$ $r \ll h$ $a \ll h$ $b < h$	13
7		$R_7 = \frac{\rho}{\pi l} 2 \ln \frac{2h}{\pi r}$	$r \ll h$	14
8		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2(a+h)}{\pi r \operatorname{tg} \frac{r+a}{2(a+h)} \pi}$	$r \ll h$	15

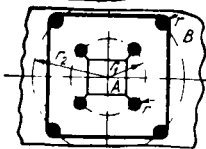
# кду цилиндрическими электродами

Эскиз конструкции и расстановка электродов	Сопротивление между точками A и B	Примечание
	$R_9 = \frac{2\rho}{\pi l} \left[ \ln \frac{h}{r} + 2 \sum_{k=1}^{n-1} (-1)^k \frac{\operatorname{sh} k\pi \frac{h}{b}}{k\pi \frac{h}{b}} + \right. \\ \left. + (-1)^{n-1} \ln \frac{\operatorname{sh} n\pi \frac{h}{b}}{\pi \frac{h}{b}} + (-1)^n \frac{\pi}{2} \cdot \frac{h}{b} \right] \\ R_9 \approx \frac{\rho}{l} \left( \frac{h}{b} + \frac{2}{\pi} \ln \frac{b}{2\pi r} \right)$	<p><math>n</math> — определяется по кривой рис. 2, <math>r &lt; b</math></p>
	$R_{10} = \frac{\rho}{2\pi n l} \ln \frac{r_1^{n+1}}{nr_0^n r}$	<p><math>r \ll r_1</math> <math>r_0 \ll r_1</math></p>
	$R_{11} = \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{r_1^5}{4r_0^4 r}$	<p><math>r \ll r_1</math> <math>r_0 \ll r_1</math></p>



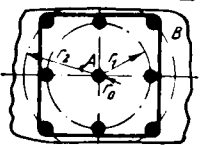
$$R_{12} = \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{(r_1^4 + r_2^4)^2}{16r^2 r_1^3 r_2^3}$$

$$\begin{aligned} r &\ll r_1 \\ r &\ll r_2 \end{aligned}$$



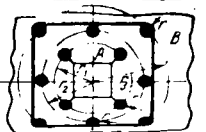
$$R_{13} = \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{(r_2^4 - r_1^4)^2}{8r^2 r_1^3 r_2^3}$$

$$\begin{aligned} r &\ll r_1 \\ r &\ll r_2 \end{aligned}$$



$$R_{14} = \frac{1}{2} \left[ R_{11}(r_1) + R_{11}(r_2) - \frac{1}{2} R_{12}(r_1 r_2) \right] - \frac{[R_{11}(r_1) - R_{11}(r_2)]^2}{4R_{12}(r_1 r_2)}$$

$R_{11}$  и  $R_{12}$   
см.  
п. 11,  
п. 12



$$R_{15} = \frac{1}{2} \left[ R_{12}(r_1 r_2) + R_{13}(r_1 r_3) - \frac{1}{2} R_{12}(r_2 r_3) \right] - \frac{[R_{13}(r_2 r_3) - R_{13}(r_1 r_3)]^2}{4R_{12}(r_1 r_2)}$$

$R_{12}$  и  $R_{13}$   
см.  
п. 12,  
п. 13

личных кратностей отражения от торцовых поверхностей.

Тогда

$$R_0 = \frac{2\rho}{\pi l} \cdot \frac{h}{b} \cdot \frac{\pi}{2},$$

$$R_1 = \frac{2\rho}{\pi l} \left[ \ln \frac{h}{r} + \ln \frac{\operatorname{sh} \frac{h}{b} \pi}{\frac{h}{b} \pi} - \frac{h}{b} \frac{\pi}{2} \right],$$

$$\dots$$

$$R_n = \frac{2\rho}{\pi l} \left[ \ln \frac{h}{r} + 2 \sum_{k=1}^{n-1} (-1)^k \ln \frac{\operatorname{sh} k \frac{h}{b} \pi}{k \frac{h}{b} \pi} + \right.$$

$$\left. + (-1)^{n-1} \ln \frac{\operatorname{sh} n \frac{h}{b} \pi}{n \frac{h}{b} \pi} + (-1)^n \frac{h}{b} \frac{\pi}{2} \right],$$

где  $R_n$  — сопротивление между электродами, подсчитанное при  $n$ -кратном отражении от торцевых поверхностей.

При  $n \rightarrow \infty$  сопротивление определяется бесконечным знакоперевающимся рядом.

Общий член этого ряда:

$$\Delta R_{n+1} = R_{n+1} - R_n =$$

$$= \frac{2\rho(-1)^n}{\pi l} \left[ \ln \frac{\operatorname{sh} (n+1) \frac{h}{b} \pi}{\operatorname{sh} n \frac{h}{b} \pi} - \frac{h}{b} \pi \right]. \quad (7)$$

Так как  $|\Delta R_{n+1}|$  с возрастанием  $n$  монотонно стремится к нулю, то согласно теореме о сходимости: 1) ряд сходится, и его сумма не превышает величину первого члена ряда; 2) ошибка, получающаяся при замене суммы ряда суммой  $n$  членов, имеет знак  $(n+1)$ -го члена и не превосходит его по величине.

Если абсолютную величину относительной ошибки обозначить через  $\delta$ , то

$$\delta < \left| \frac{\Delta R_{n+1}}{R_0} \right| = \frac{2b}{\pi h} \left[ \ln \frac{\operatorname{sh} (n+1) \frac{h}{b} \pi}{\operatorname{sh} n \frac{h}{b} \pi} - \frac{h}{b} \pi \right]. \quad (8)$$

Решение этого неравенства относительно  $n$  дает:

$$n > \frac{1}{2c} \ln \frac{e^{-2c} - e^{\frac{\delta c}{2}}}{1 - e^{\frac{\delta c}{3}}}, \quad (9)$$

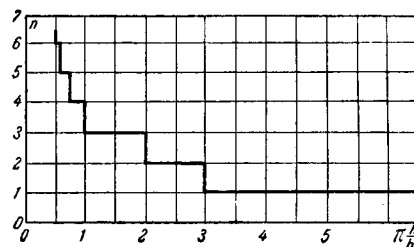
где  $c = \frac{h}{b} \pi$ . Зависимость  $n = f(c)$  для  $\delta = 0,01$

представлена на рис. 2. Из рисунка видно, что в наиболее часто встречающемся случае, когда  $\frac{h}{b} > 1$ , можно ограничиться однократным отражением. Тогда

$$R \approx \frac{\rho}{l} \left( h/b + \frac{2}{\pi} \ln \frac{b}{2\pi r} \right). \quad (10)$$

Сопротивления между несколькими системами. В проводящей среде находятся две системы соединенных между собой электродов, как

Рис. 2.  
Зависимость  
числа  
отражений  
от отношения  $h$   
к  $b$  (на рис. 1)  
при точности  
 $\pm 1\%$ .



это имеет место в случае прогрева армированной колонны; одним электродом является специально уложенный по оси колонны прут, а вторым арматура.

Если стержни арматуры расположены симметрично по образующим двух коаксиальных цилиндров радиусов  $r_1$  и  $r_2$  (таблица, п.14), то сопротивление между центральным электродом и остальными может быть подсчитано по известным величинам частичных сопротивлений. С помощью системы формул Максвелла можно показать, что, если в проводящей среде находятся три системы электродов, наличие каждой из которых при отсутствии в ней тока не искажает поле двух других систем, то при известных частичных сопротивлениях между парами систем  $R_{12}$ ,  $R_{23}$  и  $R_{13}$ , сопротивление между первой системой и двумя другими, соединенными вместе, может быть подсчитано по формуле

$$R_a = \frac{1}{2} (R_{13} + R_{12} - \frac{1}{2} R_{23}) - \frac{(R_{12} - R_{13})^2}{4R_{23}}. \quad (11)$$

Для рассматриваемого случая

$$\left. \begin{aligned} R_{12} &= \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{r_1^5}{4r_0^4 r}; & R_{13} &= \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{r_2^5}{4r_0^4 r}; \\ R_{23} &= \frac{\rho}{8\pi l} \ln \frac{(r_1^4 + r_2^4)^2}{16r^2 r_1^3 r_2^3}, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где  $r_0$  — радиус центрального электрода;

$r$  — радиус каждого из остальных восьми электродов.

Аналогично рассмотренным примерам могут быть подсчитаны сопротивления для самых разнообразных случаев размещения цилиндрических электродов. Некоторые из характерных случаев приведены в таблице (графа 2); в графе 3 даны формулы для расчета сопротивления между электродами. В случае трехфазного тока частичные сопротивления между группами одноименных цилиндрических электродов определяются аналогично, а распределение токов между отдельными фазами находится непосредственно из системы формул Максвелла.

#### Литература

1. Инструкция по применению электропрогрева в строительстве. Наркомстрой, 1945.
2. А. Точилин и Р. Вегенер. Строительная промышленность, № 1, 1946.
3. Ф. Оллендорф. Токи в земле. ОНТИ, 1932.
4. К. А. Круг. Основы электротехники. Госэнергоиздат, т. 1. 1946.
5. А. В. Нетушил. Вестник инженеров и техников, № 6, 1947.
6. В. И. Смирнов. Курс высшей математики. ГТТИ. 1948.

[18. 6. 1947]



# Определение реактивной мощности синхронных генераторов

Кандидат техн. наук А. М. ЛЕВИТСКИЙ

Ленинград

За последние 15 лет предложено несколько методов расчета реактивной мощности синхронных генераторов [Л. 1, 2, 3, 4]. Однако, все они отличаются большой трудоемкостью, вследствие чего не могут в полной мере отвечать требованиям инженерных расчетов. В связи с этим для определения реактивной мощности ниже предлагается простой графо-аналитический метод, основанный на использовании уравнений угловых характеристик генератора с поправками, позволяющими учесть насыщение магнитной цепи. Подобного рода поправки приводятся в работе Г. Н. Петрова [Л. 5].

Уравнения угловых характеристик генераторов с учетом насыщения (активным сопротивлением обмотки статора ввиду малых его значений пренебрегается) при номинальной частоте сети имеют (в относительных единицах<sup>1</sup>) следующий вид.

Для неявнополюсного генератора

$$p_a = \frac{u \cdot e_0}{x_{dн}} \cdot \sin \vartheta, \quad (1)$$

$$p_r = \frac{u \cdot e_0}{x_{dн}} \cdot \cos \vartheta - \frac{u^2 \cdot \varepsilon}{x_{dн} \cdot \varepsilon_0} \quad (2)$$

и для явнополюсного генератора

$$p_a = \frac{u \cdot e_0}{x_{dн}} \cdot \sin \vartheta + \frac{u^2}{2} \cdot \left( \frac{x_{dн} - x_q}{x_{dн} \cdot x_q} \right) \cdot \sin 2\vartheta, \quad (3)$$

$$p_r = \frac{u \cdot e_0}{x_{dн}} \cdot \cos \vartheta + \frac{u^2}{2} \cdot \left( \frac{x_{dн} - x_q}{x_{dн} \cdot x_q} \right) \cdot \cos 2\vartheta - \frac{u^2}{2} \cdot \left( \frac{x_{dн} + x_q}{x_{dн} \cdot x_q} \right), \quad (4)$$

где  $p_a$  и  $p_r$  — активная и реактивная мощность;

$u$  — напряжение на зажимах статора;

$e_0$  — э. д. с. холостого хода;

$x_{dн}$  — синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси полюсов с учетом насыщения соответствующего режиму нагрузки;

$x_q$  — ненасыщенное синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси полюсов;

$\vartheta$  — угол сдвига фаз между векторами  $i$  и  $e_0$ ;

$\varepsilon_0 = \frac{i_f}{e_0}$  — „относительное насыщение“, соответствующее э. д. с.  $e_0$ ;

$\varepsilon = \frac{i_{f8}}{e_8}$  — „относительное насыщение“, соответствующее внутренней э. д. с.  $e_8$ ;

$i_f$  и  $i_{f8}$  — токи возбуждения, соответствующие по характеристике холостого хода э. д. с.  $e_0$  и  $e_8$ .

**Неявнополюсные генераторы.** Как показано в работе Г. Н. Петрова [Л. 5],

$$x_{dн} = \frac{x_s \cdot \varepsilon + k}{\varepsilon_0}, \quad (5)$$

$$e_8 = u \cdot \sqrt{1 + \sigma^2 + 2\sigma \cdot \cos \vartheta} - \frac{x_s}{k} \cdot i_{f8}, \quad (6)$$

где  $x_s$  — индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

$$k = \frac{x_d - x_s}{u_0}; \quad \sigma = \frac{i_f \cdot x_s}{u \cdot k};$$

$x_d$  — ненасыщенное синхронное индуктивное сопротивление;

$u_0$  — напряжение, соответствующее по спрямленной характеристике холостого хода вдоль начальной прямолинейной ее части току возбуждения  $i_{f0} = 1,0$ .

Таким образом, при заданных — характеристике холостого хода и значениях  $p_a$ ,  $u$ ,  $i_f$  — число  $\varepsilon$ , а следовательно, и  $x_{dн}$  и, наконец,  $p_r$ , возможно лишь в частных случаях, когда характеристику холостого хода в определенном интервале удастся выразить аналитически в виде некоторой зависимости  $e_8 = f(i_{f8})$ .

Но сопротивление  $x_{dн}$ , теоретически зависящее от режима нагрузки, тем не менее практически, как показано в работе Г. Н. Петрова, в значительном интервале изменения угла  $\vartheta$  остается почти постоянным. Это позволяет, не внося существенной погрешности, принять (при заданном возбуждении генератора)  $x_{dн} = \text{const}$  и использовать угловые характеристики для определения отдаваемой неявнополюсным генератором реактивной мощности и в тех случаях, когда характеристика холостого хода не описывается аналитическим выражением. Ход расчета в этом случае может быть нижеследующим.

По общеизвестному приближенному выражению  $p_a = \frac{u \cdot e_d}{x_d} \cdot \sin \vartheta$ , где  $e_d$  — э. д. с. холостого хода по спрямленной характеристике, определяется величина

$$\sin \vartheta = \frac{p_a \cdot x_d}{u \cdot e_d}. \quad (7)$$

Далее находятся величины  $e_8$  и  $i_{f8}$ . Пользуясь предложенным Г. Н. Петровым простым графо-аналитическим приемом, по оси ординат характеристики холостого хода генератора откладывается отрезок  $\overline{OB} = u \cdot \sqrt{1 + \sigma^2 + 2\sigma \cdot \cos \vartheta}$ , т. е. первое слагаемое выражения (6) (для вычисления этого слагаемого имеются все необходимые исходные данные), а по оси абсцисс — отрезок  $\overline{OD} = \overline{OB} \cdot \frac{k}{x_s}$ .

<sup>1</sup> За единицу принимаются номинальные значения кажущейся мощности и напряжения и ток возбуждения холостого хода, соответствующий номинальному напряжению.

Прямая, соединяющая точки  $B$  и  $D$  на осях координат, пересечет характеристику холостого хода в некоторой точке, координаты которой дадут непосредственно значения  $e_d$  и  $i_{f8}$ .

Техника определения точек  $B$  и  $D$  соответственно различным значениям напряжения может быть значительно упрощена, если задаться изменением напряжения равными ступенями. При таких условиях достаточно рассчитать отрезки  $\overline{OB}$  и  $\overline{OD}$  лишь для крайних значений напряжения, а промежуточные значения определить методом линейной интерполяции. Получающаяся при этом относительная погрешность, как показали специальные расчеты, не превысит 4%.

Расчет заканчивается подстановкой всех необходимых значений в выражение для реактивной мощности генератора:

$$p_r = g \cdot i_f \cdot u \cdot \cos \theta - g \cdot u^2 \cdot \epsilon. \quad (8)$$

Последнее получается путем следующих несложных преобразований. Из выражений (1) и (7):  $x_{dH} = \frac{e_0 \cdot u}{p_a} \cdot \sin \theta = \frac{e_0 \cdot x_d}{e_d}$ . Подстановка в уравнение (2) выражений для  $x_{dH}$  и  $\epsilon_0$  и обозначение постоянного отношения  $\frac{u_0}{x_d}$  через  $g$ , дает в итоге расчетное выражение (8).

В случае отклонения частоты сети от номинальной необходимо произвести пересчет индуктивных сопротивлений и характеристику холостого хода соответственно фактическому значению частоты.

**Пример 1. Задание.** Имеется турбогенератор 7500 кВА, 6000 кВт, 3150 в, 3000 об/мин, 50 Гц с параметрами:  $x_d = 1,24$ ;  $x_s = 0,16$  и характеристикой холостого хода, приведенной на рис. 1. Требуется определить его реактивную мощность при следующих условиях: частоте  $f = 0,94$ ,  $i_f = 2,15$ ,  $u$ , изменяющемся в пределах 0,65 — 1,1, и  $p_a$ , изменяющейся в зависимости от напряжения (изменение задано в таблице).

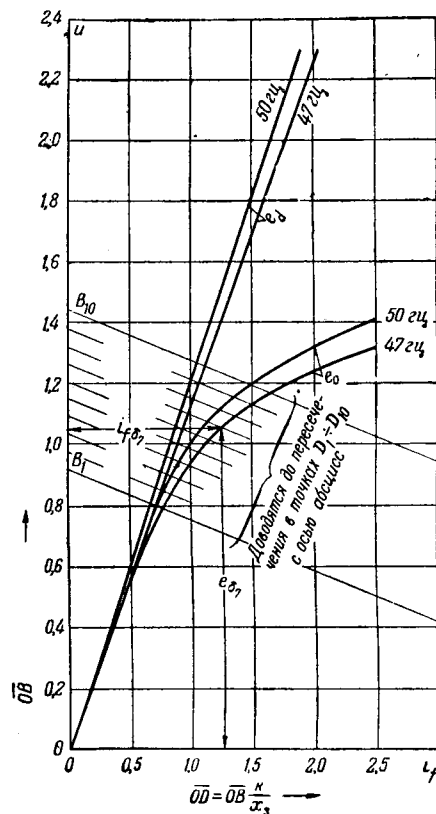


Рис. 1. Пример 1. Графическое определение  $e_d$  и  $i_{f8}$ .

**Расчет.** Пересчитывается характеристика холостого хода на частоту  $f = 0,94$  и производится спрямление характеристик. Определяются постоянные величины (соответственно  $f = 0,94$ ), не зависящие от значений  $u$  и  $p_a$ :  $u_0 = 1,13$ ;  $e_d = 2,42$ ;  $e_0 = 1,26$ ;  $x_d = 0,94 \cdot 1,24 = 1,165$ ;  $x_s = 0,94 \cdot 0,16 = 0,15$ ;  $k = 0,9$ ;  $\frac{k}{x_s} = 6,0$ ;  $g = 0,97$ . Определяются переменные величины соответственно 10 различным значениям  $u$  (результаты расчетов сводятся в табл. 1): для крайних значений  $u$  вычисляются отрезки  $\overline{OB}$  и

Таблица 1

$p_r$	0,705	0,744	0,782	0,793	0,8	0,78	0,75	0,672	0,517	0,438
$gu^2$	0,407	0,486	0,566	0,667	0,771	0,9	1,05	1,225	1,43	1,67
$gi_f \cos \theta$	1,112	1,23	1,348	1,46	1,571	1,68	1,8	1,897	2,007	2,108
$\epsilon$	1,0	1,022	1,042	1,075	1,106	1,147	1,205	1,262	1,34	1,425
$i_{f8}$ (рис. 1)	0,788	0,85	0,917	1,0	1,075	1,162	1,265	1,375	1,512	1,662
$e_d$ (рис. 1)	0,788	0,832	0,88	0,93	0,972	1,015	1,055	1,09	1,13	1,168
$\overline{OB}$	5,5									8,64
$\overline{OD}$	0,918									1,44
$2\epsilon \cos \theta$	0,906									0,601
$\sigma^2$	0,305									0,106
$\sigma$	0,552									0,327
$\cos \theta$	0,821	0,843	0,862	0,875	0,887	0,896	0,904	0,910	0,916	0,919
$\sin \theta$	0,571	0,537	0,508	0,484	0,462	0,444	0,428	0,415	0,402	0,392
$p_a$ (задано)	0,77	0,78	0,79	0,802	0,815	0,83	0,842	0,86	0,875	0,895
$u^2$	0,42	0,49	0,55	0,64	0,72	0,81	0,9	1,0	1,1	1,21
$u$ (задано)	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1



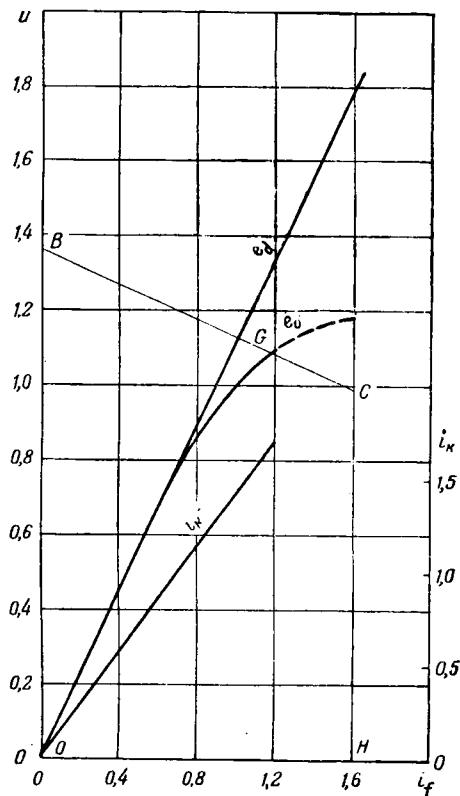


Рис. 2. Пример 2. Графическое определение  $e_{ad}$  и  $i_{fd}$ .

$\overline{OD}$ ; определяется шаг для значений  $\overline{OB}$  и  $\overline{OD}$ , соответствующих 8 промежуточным значениям напряжения.

$$\frac{\overline{OB}_{10} - \overline{OB}_1}{9} = \frac{1,44 - 0,918}{9} = 0,058 \text{ и } \frac{\overline{OD}_{10} - \overline{OD}_1}{9} = \frac{8,64 - 5,5}{9} = 0,35; \text{ значения } \overline{OB} \text{ и } \overline{OD} \text{ наносятся по осям}$$

координат характеристик холостого хода; пересечения прямых  $\overline{BD}$  с характеристикой холостого хода ( $f = 0,94$ ) отсчитывают точки с координатами  $e_c$ ,  $i_{fc}$  по формуле (8) определяются искомые значения  $p_r$ .

Как нетрудно убедиться, проделывая (при помощи логарифмической линейки) вычислительные операции данного примера, последние выполняются просто и быстро. Это позволяет высчитывать без затраты большого труда и времени целые семейства кривых.

**Явнополюсные генераторы.** Как показано в работе Г. Н. Петрова,

$$x_{dn} = \frac{k(e_0 - u \cdot \cos \vartheta)}{i_f - i_{fd}}, \quad (9)$$

где  $i_{fd}$  — ток возбуждения, соответствующий продольной составляющей внутренней э. д. с.  $e_{ad}$ .

Сопrotивление  $x_{dn}$ , являющееся неизвестной переменной величиной, теоретически зависящей от режима нагрузки, практически, как и в случае неявнополюсной машины, в значительном интервале изменения угла  $\vartheta$  остается почти постоянным [Л. 5]. Это позволяет определить угол  $\vartheta$  с достаточной для инженерных расчетов точностью, пользуясь общеизвестным уравнением угловой характеристики активной мощности без учета насыщения:

$$p_a = \frac{u \cdot e_d}{x_d} \cdot \sin \vartheta + \frac{u^2}{2} \left( \frac{x_1 - x_q}{x_d \cdot x_q} \right) \cdot \sin 2\vartheta. \quad (10)$$

Решение уравнения (10) относительно  $\sin \vartheta$  представляет значительные трудности. Тем не менее, как видно из нижеследующего, задача может быть решена достаточно просто. Действительно, в рассматриваемом случае интерес представляют не все корни уравнения (10), а лишь один, который определяет значение угла  $\vartheta_2$ , соответствующее установившемуся режиму работы генератора при заданной нагрузке активной мощностью  $p_{a2}$ . Этот угол, как известно, обычно относительно невелик. При таких условиях его можно определить с вполне достаточной точностью, если кривую  $p_a = f(\vartheta)$ , характеризующую уравнением (10), заменить в пределах изменения угла  $\vartheta$  от 0 до  $\vartheta_3$ , близкого  $\vartheta_2$  ( $\vartheta_2 < \vartheta_3$ ), прямой. Тогда  $\vartheta_2 \approx \frac{p_{a2}}{p_{a3}} \vartheta_3$ , где  $p_{a3}$  — значение активной

мощности генератора, соответствующее углу  $\vartheta_3$  по выражению (10).

Угол  $\vartheta_3$  будет близок углу  $\vartheta_2$ , если его вычислить, например, по выражению  $\sin \vartheta_3 = \frac{x_d}{p_{a2} u \cdot e_d}$ .

При значениях угла  $\vartheta_2$  выше  $40 - 45^\circ$  его величина может быть вычислена более точно по выражению

$$\vartheta_2 \approx \frac{p_{a2} - p_{a1}}{p_{a3} - p_{a1}} \cdot (\vartheta_3 - \vartheta_1) + \vartheta_1,$$

где  $\vartheta_1 < \vartheta_2 < \vartheta_3$ , причем  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_3$  близки к  $\vartheta_2$ ;  $p_{a1}$  — активная мощность генератора, соответствующая углу  $\vartheta_1$  по выражению (10). Угол  $\vartheta_1$  будет близок к углу  $\vartheta_2$ , если его определить по выражению (10) соответственно  $p_{a1} = 2p_{a2} - p_{a3}$ .

Чтобы определить величину  $x_{dn}$  по выражению (9), необходимо найти кроме величины угла  $\vartheta$  также величину тока возбуждения  $i_{fd}$ . Для этой цели можно воспользоваться следующим предложенным Г. Н. Петровым простым графоаналитическим приемом. На графике характеристики холостого хода, как это показано на примере (рис. 2), откладываются отрезки  $\overline{CH} = u \cdot \cos \vartheta_2$  и  $\overline{OB} = u \cdot \cos \vartheta_2 + i_f \frac{x_s}{k}$ . Точка пересечения прямой  $\overline{BC}$  с характеристикой холостого хода имеет координаты  $e_{ad}$  и  $i_{fd}$ . По известным углу  $\vartheta_2$  и сопротивлению  $x_{dn}$  определяется искомая величина  $p_r$ , пользуясь уравнением (4).

**Пример. Задание.** Имеется гидрогенератор 68 800 квт, 55 000 кв. в, 13 800 в, током возбуждения холостого хода 685 а, 50 гц с параметрами:  $X_q = 1,44$  ом ( $x_q = 0,52$ );  $X_s = 0,37$  ом ( $x_s = 0,134$ ) и характеристиками холостого хода и короткого замыкания, приведенными на рис. 2. Требуется определить его реактивную мощность при следующих условиях: номинальной частоте, напряжении 14 000 в ( $u = 1,015$ ), нагрузке 45 000 квт ( $p_a = 0,654$ ) и токе возбуждения<sup>2</sup> 1 098 а ( $i_f = 1,603$ ).

<sup>2</sup> Исходные данные взяты из примера, который приведен в статье И. М. Марковича [Л. 4]. Это позволяет сопоставить предлагаемый метод расчета с ранее опубликованным.

Расчет. По характеристике холостого хода и ее спрямлению отсчитываются:  $u_0 = 1,12$ ,  $e_d = 1,79$ ;  $e_0 = 1,18$ ; по характеристике холостого хода и короткого замыкания определяется недостающая в задании величина сопротивления

$$x_d = \frac{e_{dk}}{i_k} = 0,795.$$

Определяется значение  $\cos \vartheta_2$ , соответствующее  $p_{a2} = 0,654$ :  $\sin \vartheta_2 = 0,654 \cdot \frac{0,795}{1,015 \cdot 1,79} = 0,286$ , чему соответствует  $\vartheta_2 = 16^\circ 36'$ ;  $p_{a3} = \frac{1,015 \cdot 1,79}{0,795} \cdot 0,286 + \frac{1,015^2}{2} \times \frac{0,795 - 0,52}{0,795 \cdot 0,52} \cdot 0,549 = 0,841$ ;  $\vartheta_2 = \frac{0,654}{0,841} \cdot 16,6 = 12,9 = 12^\circ 54'$ , чему соответствует  $\cos \vartheta_2 = 0,975$ .

Рассчитывается сопротивление  $x_{dH}$ :  $\overline{CH} = 1,015 \times 0,975 = 0,989$ ;  $\overline{OB} = 0,989 + 1,603 \cdot \frac{0,134}{0,59} = 1,355$ ; координаты точки  $G$  пересечения  $\overline{BC}$  с характеристикой холостого хода  $e_{dH} = 1,085$  и  $i_{fH} = 1,19$ ;

$$i = \frac{0,795 - 0,134}{1,12} = 0,59; \quad x_{dH} = \frac{0,59 \cdot (1,18 - 0,989)}{1,603 - 1,19} = 0,273.$$

Определяется по формуле (4) искомая величина  $p_r$ :

$$p_r = \frac{1,015 \cdot 1,18}{0,273} \cdot 0,975 + \frac{1,015^2}{2} \cdot \frac{0,273 - 0,52}{0,273 \cdot 0,52} \cdot 0,901 - \frac{1,015^2}{2} \cdot \frac{0,273 + 0,52}{0,273 \cdot 0,52} = 0,592.$$

Это соответствует 40 700 *квар*.

Согласно расчетам, приведенным в аналогичном примере [Л. 4], та же величина равна 40 000 *квар*. Таким образом, относительная погрешность расчета  $p_r$  по предлагаемому в настоящей работе методу равна 1,75%.

Проведение параллельных расчетов способом последовательного приближения по методу И. М. Марковича [Л. 4], с полной убедительностью показывает значительные преимущества предлагаемого в настоящей работе метода в отношении простоты и быстроты расчетных операций.

**Явнополюсные генераторы малой мощности.** Активное сопротивление обмотки статора мало-мощных генераторов  $r_a$  бывает обычно достаточно высоким. Например, для генераторов серии

МС-330 мощностью 27—1 000 *квт*  $r_a = 0,01$ —0,045 и серии СГ мощностью 12—48 *квт*  $r_a = 0,04$ —0,06. Таким образом, неучет  $r_a$  может внести в отдельных случаях существенные погрешности в конечные результаты при вычислении  $p_r$ .

Вычисление  $p_r$  с учетом  $r_a$  может быть выполнено лишь способом последовательного приближения, сводящимся к последовательному подбору величины реактивной загрузки генератора таким образом, чтобы соответствующий ей (при заданной активной нагрузке  $p_a$ ) ток возбуждения  $i_{fd} + ki_d$  получился равным установленному для генератора току возбуждения  $i_f$ , т. е. чтобы  $i_f = i_{fd} + ki_d$ , где  $i_d = i \cdot \sin \psi$  — продольная составляющая тока статора. Составляющие токи возбуждения, соответствующие заданным значениям  $p_a$  и  $i$  и принятому в порядке пробы значению  $p_r$ , можно определить, пользуясь формулами (1), (2) и (3), приведенными в статье В. Т. Касьянова [Л. 6].

#### Литература

1. И. М. Маркович. Располагаемая реактивная мощность генераторов при снижении напряжения и частоты. Электрические станции, № 3, 1934.
2. В. М. Горнштейн. Располагаемая реактивная мощность генератора. Электрические станции, № 12, 1939.
3. Д. Е. Трофименко. Располагаемая реактивная мощность генератора с гладким ротором. Электрические станции, № 6, 1942.
4. И. М. Маркович. Определение располагаемой реактивной мощности явнополюсных синхронных генераторов. Электрические станции, № 7, 1945.
5. Г. Н. Петров. Влияние насыщения на угловые характеристики синхронной машины. Электричество, № 4, 1945.
6. В. Т. Касьянов. Определение изменений напряжения синхронного генератора. Электричество, № 10, 1947.

[11. II. 1948].



## Стандарты и нормы

# Стандартизация автотракторного электрооборудования

**Кандидат техн. наук Г. С. ПЛИСС**

Управление стандартизации

На 1 января 1949 г. на автопакторное электрооборудование действует 22 общесоюзных стандарта (ГОСТ и ОСТ).

Остановимся на каждом из этих стандартов:

Требования, относящиеся ко всему автотракторному электрооборудованию. *Шкала номинальных напряжений*. ГОСТ 4572-49 «Электрооборудование для автомобилей, тракторов и мотоциклов. Шкала напряжений» утвержден взамен ОСТ 26018 со сроком введения с 1 апреля 1949 г.

Стандартом установлены номинальные напряжения, на которые должно выпускаться автотракторное электрооборудование 6; 12 и 24 в. Стандарт отличается от замененного, во-первых, тем, что исключено нерациональное и не нашедшее широкого применения в автотракторном электрооборудовании напряжение 2 в, и, во-вторых, тем, что новый стандарт распространяется также на самоходные и моторизованные сельскохозяйственные машины.

Основные технические требования. ГОСТ 3940-47 «Электрооборудование для автомобилей, тракторов и мотоциклов (Основной стандарт)» утвержден со сроком введения с 1 июля 1948 г. Проект стандарта разработан МОИТОЗ.

Стандарт устанавливает поддающиеся обобщению основные технические требования ко всему азототракторному электрооборудованию, служащему для запуска двигателей, зажигания рабочей смеси в цилиндрах двигателя, автоматизации управления различными механизмами и для других целей, как-то: для обслуживания системы отопления, вентиляции, сигнализации и др.

Утверждением такого стандарта исключается возможность появления противоречивых требований в отдельных стандартах или технических условиях на родственное автотракторное электрооборудование и устанавливаются основные нормы, обязательные к соблюдению при исом проектировании автотракторного электрооборудования.

Дополнительные требования, относящиеся к отдельным изделиям автотракторного электрооборудования и не нашедшие отражения в основном стандарте, указываются в отдельных стандартах или технических условиях на данный вид изделия.

Стандартом предусмотрена следующая классификация автотракторного электрооборудования по номинальному режиму работы и по виду исполнения.

По номинальному режиму работы электрические машины и аппараты автотракторного электрооборудования разделяются на: машины и аппараты продолжительного режима работы с неограниченной продолжительностью непрерывной работы; повторно-кратковременного режима работы с продолжительностью рабочего периода до 3 мин. при ПВ до 10% и до 30 мин. при ПВ до 50% (ПВ — сокращенное обозначение отношения времени рабочего периода к суммарной продолжительности рабочего периода и перерыва); кратковременного режима работы с продолжительностью непрерывной работы не более 1 мин., после чего наступает перерыв до полного остывания машины или аппарата.

По виду исполнения электрические машины и аппараты разделяются на: пылезащищенные, закрытые, защищенные и открытого исполнения.

Автотракторное электрооборудование должно быть работоспособным—при изменении температуры окружаю-

щей среды в пределах  $-40^{\circ} \div +60^{\circ} \text{C}$ , при относительной влажности окружающей среды  $95 \pm 3\%$  и при вибрации и тряске. Необходимость испытаний изделий на вибрацию и тряску, а также режим и длительность этих испытаний устанавливаются в стандартах или технических условиях на отдельные виды изделий. В тех случаях, когда в стандартах или в технических условиях на изделия указывается только на необходимость проверки изделий на вибрацию, а режим и длительность испытания не нормированы, то испытание таких изделий должно производиться при частоте 2 500 периодов в минуту и амплитуде колебаний  $\pm 0,5 \text{ мм}$  (размах  $1 \text{ мм}$ ) в течение 4 час.

Съемные детали и узлы однотипных изделий, поставляемые как запасные части, должны быть взаимозаменяемы независимо от того, на каком заводе они изготовлены.

Далее предусмотрены требования, определяющие механическую прочность изделий, и требования по защите стальных и чугунных деталей от коррозии.

Изделия должны быть предназначены для работы в однопроводной схеме электрооборудования. Вторым проводом служит корпус («масса») машины. На массу должен быть присоединен положительный полюс, как это имеет место на всех тракторах, автомобилях и мотоциклах, выпускаемых в СССР.

Следует отметить, что до сих пор не установлены преимущества электрической схемы с присоединением к массе машины положительного полюса по сравнению со схемой с присоединенным к массе машины отрицательным полюсом. В разных странах одни автомобильные фирмы присоединяют к массе машины положительный полюс, а другие — отрицательный полюс. Все же стандартизация присоединения к массе какой-либо одной полярности целесообразна, так как позволяет унифицировать схему и расположение контактов вибрационных регуляторов напряжения, предназначенных для разных машин.

Стандартом предусмотрены требования по проверке коммутации электрических машин. Для машин продолжительного режима работы искрение на коллекторе должно быть не более степени 1,5, а для машин повторно-кратковременного номинального режима с ПВ не более 50% не более степени 2 по ГОСТ 183-41. Снижение требований к коммутации по сравнению со стационарными электрическими машинами объясняется тем, что срок службы машин автотракторного электрооборудования значительно меньше, чем у нормальных стационарных машин, а условия коммутации ввиду широкого рабочего диапазона оборотов тяжелее.

Изоляция токоведущих частей автотракторных электрических машин и аппаратов при испытании относительно корпуса должна выдерживать следующие испытательные напряжения переменного тока 50 гц.

Принятие двух величин испытательного напряжения (220 и 550 в) для разных машин и аппаратов при одном и том же номинальном напряжении бортовой сети автомобиля или трактора (6; 12 и 24 в) объясняется тем, что фактические напряжения, под которыми могут находиться эти изделия, различны. Например, стартеры, электродвигатели управления, электродвигатели стеклоочистителя и связанная с ними аппаратура находятся в эксплуатационных условиях под напряжением, мало отличающимся от номинального, а для таких изделий нормировано испытание напряжением 220 в. В таких же изделиях, как генераторы, реле, лампы, фары, электростанции, электромоторы,

Электрические машины и аппараты или их части	Эффективное значение испытательного напряжения, в	Продолжительность испытания, сек.
Генераторы, работающие с одноступенчатыми вибрационными регуляторами напряжения. Одноступенчатые регуляторы напряжения. Вибрационные электрические сигналы. Детали магнето, распределителей и катушек зажигания со стороны низкого напряжения и выключатели зажигания. . . . .	550	60
Прочие электрические машины и аппараты низкого напряжения. . . . .	220	5 ÷ 6
Детали распределителей, катушек зажигания и магнето — со стороны высокого напряжения, изготовленные не из пластмасс (эти детали должны выдерживать еще испытание на поверхностный разряд напряжением 10 600 в в течение 1 мин.) . .	18 000	мин.

раторы, работающие с одноступенчатыми регуляторами напряжения, вследствие периодического включения и выключения в цепь обмотки возбуждения добавочного сопротивления возникают пиковые напряжения, значительно превышающие номинальное, и достигающие до 150 ÷ 220 в; поэтому для таких изделий стандартом нормировано испытание изоляции токоведущих частей напряжением 550 в.

Испытательное напряжение для аппаратов зажигания со стороны низкого напряжения установлено также 550 в, так как максимальное напряжение, под которым может находиться в эксплуатационных условиях изоляция этих аппаратов, со стороны низкого напряжения не превышает 150 ÷ 175 в. Испытательное напряжение для аппаратов зажигания со стороны высокого напряжения 18 000 в установлено, исходя из того, что величина напряжения пробоя искрового промежутка в свечах зажигания колеблется в пределах 3 500 ÷ 7 000 в.

Кроме испытания деталей катушек зажигания и магнето на электрическую прочность изоляция токоведущих частей со стороны высокого напряжения катушек зажигания в сборе и трансформаторов магнето (кроме трансформаторов одно- и двухцилиндровых магнето) должна испытываться в течение 30 сек. работой на трехэлектродный разрядник с расстоянием между электродами 12 мм, а трансформаторы одно- и двухцилиндровых магнето — работой на трехэлектродный разрядник с расстоянием между электродами 10 мм.

Изоляция токоведущих частей катушек зажигания и магнето в сборе со стороны высокого напряжения должна испытываться еще работой этих изделий на разомкнутую сеть.

Превышение температуры коллектора (при измерении методом термометра) генераторов и электродвигателей продолжительного номинального режима работы закрытого типа, не имеющих собственного вентилятора, установлено 100° С; для генераторов и электродвигателей, имеющих собственный вентилятор для наружного охлаждения 80° С; для генераторов и электродвигателей, имеющих собственный вентилятор для проточной вентиляции, 75° С. Допустимое превышение температуры обмоток реле-регуляторов, работающих с генераторами, продолжительного номинального режима работы установлено 110° С. Это объясняется тем, что нагрев обмоток якоря автотракторных машин превышает нагрев коллекторов на 10 ÷ 25° С.

Стандартом также установлены правила приемки, методы испытаний, требования по маркировке изделий и по их упаковке.

**Пластические массы.** Стандартом ГОСТ 927-41 «Изделия из пластических масс, применяемые в автомобильной и тракторной промышленности для работы под низким напряжением» установлены физико-механические показатели прессматериала, применяемого для изготовления изделий, и технические требования к самим изделиям из пластических масс.

**Аппараты зажигания для карбюраторных тракторных двигателей.** Для зажигания рабочей смеси в цилиндрах тракторных карбюраторных двигателей применяется магнето высокого напряжения. На всех магнето, предназначенных для рабочих тракторных двигателей, и на большинстве магнето, предназначенных для пусковых двигателей, применяются пусковые ускорители, как средство облегчения запуска двигателей. Для выключения зажигания применяется отдельный аппарат — короткозамыкатель.

В декабре 1947 г. утверждены стандарты на тракторное магнето, пусковой ускоритель к нему и на короткозамыкатель со сроком введения их с 1 июля 1948 г. Проекты этих стандартов разработаны МОНИТОЭ.

**Магнето для тракторных двигателей.** Магнето представляет собой отдельный агрегат, связанный с двигателем приводом и креплением. Образование высокого напряжения (рис. 1) происходит во вторичной обмотке А трансформатора магнето А в момент размыкания первичной обмотки В, в которой наводится ток низкого напряжения полем постоянного магнита. Размыкание первичной цепи осуществляется специальным прерывательным механизмом, контакты К которого шунтируются конденсатором С. Номинальный режим работы магнето — продолжительный.

ГОСТ 3941-47 «Магнето для карбюраторных рабочих и пусковых тракторных двигателей. Технические условия» в дополнение к основному стандарту на автотракторное электрооборудование (ГОСТ 3940-47) устанавливает технические требования для магнето.

Стандартом установлена классификация магнето;

а) по числу цилиндров двигателя, для которых они предназначены (одно-, двух- и четырехцилиндровые);

б) по направлению вращения (правого вращения — по часовой стрелке, смотря со стороны привода, — и левого вращения);

в) по изменению момента зажигания во время работы двигателя (с ручной регулировкой, автоматической регулировкой и без регулировки момента зажигания);

г) по креплению на двигателе (с фланцевым креплением и с креплением на площадке);

д) по числу искр за каждый оборот валика привода (двух- и четырехискровое).

Магнето должно обеспечить бесперебойность искрообразования для зажигания рабочей смеси при самых неблагоприятных условиях на всем диапазоне скорости вращения ротора магнето. Этот диапазон скорости вращения установлен в пределах от минимальной — при пуске двигателя посредством заводной рукоятки (150 или 250 об/мин) до максимальной, определяемой скоростью вращения коленчатого вала двигателей (4 500 или 3 000 об/мин).

Магнето должно быть снабжено внутренним предохранительным искровым разрядником (И на схеме) с расстоянием между острыми электродами 10 ÷ 11 мм. Назначение этого разрядника — защита трансформатора магнето от перенапряжений, которым он подвергается при работе на разомкнутую сеть (при обрыве провода от распределителя магнето к свече на ходу двигателя).

Конденсатор С должен иметь сопротивление изоляции не менее 50 мгом при температуре 15 ÷ 25° С. Конструкция конденсатора должна быть герметичной.

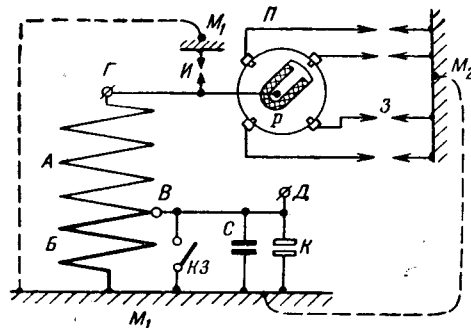


Рис. 1.

Магнето должно выдержать испытание на повышенную (на 20% против максимальной рабочей) скорость вращения.

Конструкция магнето должна быть закрытого исполнения, пылезащищенной и предусматривать вентиляционные и сточные отверстия, также защищенные от попадания пыли.

Гарантийный срок службы магнето установлен в 3 000 час., причем допускается смена трансформатора, конденсатора и контактов прерывателя, срок службы которых должен быть не менее 1 000 час. Конструкция магнето должна обеспечивать непрерывную работу его в течение 1 000 час без добавления смазки.

**Пусковые ускорители к тракторным магнето.** Пусковые ускорители осуществляют импульсное увеличение скорости вращения ротора, создают автоматическое запаздывание зажигания (во избежание обратных ударов) и, кроме того, служат для эластичной передачи крутящего момента двигателя на ротор магнето.

В соответствии с ГОСТ 3942-47 «Ускорители пусковые к тракторным магнето. Технические условия» пусковые ускорители разделяются:

- а) по направлению вращения (со стороны привода) на ускорители одноимпульсные и двухимпульсные;
- б) по конструкции—на ускорители с регулируемым и с нерегулируемым углом запаздывания;
- в) по числу ускоряющих импульсов за один оборот—на ускорители одноимпульсные и двухимпульсные.

Ускорители должны быть защищенного исполнения. Конструкция и сборка ускорителя должны обеспечить его работу без заедания. Ускоритель в рабочем положении должен автоматически выключаться при запуске двигателя и автоматически выключаться при скорости вращения ротора магнето 100—150 об/мин. Ускоритель должен при каждом импульсе обеспечивать бесперебойное искрообразование на трехэлектродном игольчатом разряднике с расстоянием между электродами 7 мм.

Углы запаздывания ускорителей с нерегулируемым углом запаздывания устанавливаются (по ротору магнето) в 30; 40; 50 и 60° с допускаемым отклонением  $\pm 7^\circ$  (вместо принятых до утверждения стандарта  $10^\circ$ ). Установление допуска на величину угла запаздывания только в сторону его увеличения связано с необходимостью гарантирования отсутствия обратных ударов при запуске.

Ускорители с регулируемым углом запаздывания должны обеспечить возможность получения необходимых углов запаздывания в пределах от 30 до 60°.

Гарантийный срок безотказной работы пусковых ускорителей установлен для одноимпульсных ускорителей 75 000, а для двухимпульсных 150 000 пусковых импульсов.

**Короткозамыкатели.** Назначение короткозамыкателя КЗ на схеме—выключать зажигание карбюраторных тракторных двигателей посредством замыкания изолированного вывода первичной обмотки трансформатора В магнето на массу  $M_1$ .

В соответствии с ГОСТ 3943-47 «Короткозамыкатели к тракторным магнето. Технические условия» короткозамыкатели разделяются:

- а) по конструкции—на перекидные, поворотные и поступательные;
- б) по числу выводных зажимов—на однозажимные (один из полюсов присоединен к корпусу) и двухзажимные.

Короткозамыкатели должны быть закрытого исполнения и иметь два рабочих положения рукоятки, в каждом из которых рукоятка должна фиксироваться четко. Контактная система короткозамыкателя должна быть рассчитана на прохождение тока 5а. Падение напряжения на зажимах короткозамыкателя при токе 5а не должно превышать 0,15 в. Короткозамыкатель должен выдержать 50 000 выключений при условии нормальной эксплуатации и ухода за ним в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

Во всех стандартах на аппараты зажигания для карбюраторных двигателей нормированы правила приемки, методы испытаний, маркировка и упаковка.

**Автотракторные электропровода.** Применяемые при монтаже автотракторного электрооборудования электрические провода делятся на низковольтные и высоковольтные.

**Низковольтные электрические провода.** ГОСТ 974-47 «Провода автомобильные и тракторные низкого напряже-

ния» утвержден взамен ГОСТ В-974-41 со сроком введения с 1 января 1948 г. и распространяется на провода медными жилами с резиновой изоляцией и на голые провода, предназначенные для соединения автотракторного электрооборудования в сети низкого напряжения. Провода изготавливаются следующих марок: АОЛ, АОЛБ, АСО, АСОБ, АСОЛ, АМГ, АРФ, АДОЛ. Буква А означает автомобильный, О—оплетенный (хлопчатобумажной пряжей), Л—лакированный, Б—бронированный, С—стартерный, МГ—голый (без изоляции), плетеный, для присоединения аккумулятора на массу, РФ—фарный без оплетки поверх резины, Д—двухжильный с параллельно уложенными жилами.

Провода марок АОЛ и АОЛБ применяются, главным образом, для всей низковольтной проводки кроме стартерной, АСО, АСОБ и АСОЛ—для стартерной цепи, АМГ—для соединения аккумуляторной батареи на массу, АРФ—для внутренних соединений в фарах и АДОЛ—для присоединения переносных ламп. Бронированные провода марок АОЛБ и АСОБ применяют там, где провода подвергаются опасности механических повреждений.

Установлен ряд номинальных сечений проводов от 1 до 70 мм<sup>2</sup> и ряд наружных диаметров проводов от 3,2 до 21,5 мм. Номинальная радиальная толщина резиновой изоляции в зависимости от номинального сечения проводов установлена от 0,6 до 1,4 мм. Резиновая изоляция должна плотно прилегать к жиле и легко защищаться. Изолированная жила провода до наложения оплетки должна выдерживать испытание напряжением 1 500 в, 50 гц.

Оплетка из хлопчатобумажной пряжи, накладываемая поверх резиновой изоляции, должна плотно облегать провод. Плотность оплетки должна быть не менее 90% (для АСО и АСОБ не менее 80%).

Для защиты резиновой изоляции проводов от воздействия бензином и маслом хлопчатобумажная оплетка должна покрываться специальным лаком. Лаковая пленка должна быть эластичной и стойкой в отношении тепла, холода, воды и смеси минерального масла с бензином.

Для упрощения электромонтажных работ оплетка автотракторных проводов должна иметь отличительную расцветку.

Провода могут поставляться в бухтах, на барабанах, в пучках и отрезках. Пучки и отрезки провода изготавливаются по чертежам заказчика. Наконечник на провод сечением до 6 мм<sup>2</sup> включительно должен быть прочно зажат на изоляции, припаян к жиле и выдерживать нагрузку на отрыв не менее 12 кг, а на проводах сечением 10 мм<sup>2</sup> и более должен припаиваться к жиле и выдерживать нагрузку на отрыв не менее 18 кг.

**Высоковольтные электрические провода.** ГОСТ 3923-47 «Провода автотракторные высокого напряжения для приборов зажигания» утвержден впервые со сроком введения с 1 октября 1948 г.

Провода высокого напряжения применяются лишь для подвода тока высокого напряжения от аппарата зажигания к свечам. Предусматриваются следующие марки автотракторных электропроводов высокого напряжения с резиновой изоляцией в оплетке с лаковым покрытием: ПВЛ-1 провод повышенной нагревостойкости для форсированных двигателей, ПВЛ-2—для двигателей при тяжелых условиях эксплуатации провода, ПВЛ-3 для двигателей при нормальных условиях эксплуатации проводов. В случае применения на проводах экранирующей оплетки из металлической проволоки в марке после буквы добавляется буква Э.

В стандарт не включен провод марки ПВГ с незащищенной резиновой изоляцией, как недостаточно надежный к воздействию масла на резину.

Наружный диаметр провода должен быть в пределах 6,6—7,3 мм, а при наличии экранирующей оплетки 7,3—8,2 мм. Этими пределами определяется и допускаемая овальность.

Резиновая изоляция должна плотно облегать токопроводящую жилу. Эксцентricичность резиновой изоляции по отношению к жиле не должна превышать 15%. Плотность оплетки должна быть не менее 90%. Оплетка должна быть покрыта лаковой пленкой, стойкой в отношении тепла, холода, масла и не липкой при температуре  $+40^\circ\text{C}$ . Экранирующая оплетка должна быть изготовлена из проволоки диаметром 0,15—0,20 мм, защищенной от корро-

или металлическим покрытием. Плотность экранирующей сетки должна быть не менее 90%.

Изолированная жила проводов всех марок (до наложения хлопчатобумажной оплетки) должна выдерживать испытание напряжением 15 кВ, 50 Гц в течение 5 мин. После 12-часового пребывания жилы в воде при 25° С. Это испытание может быть заменено приложением напряжения 20 кВ, 50 Гц на аппаратах сухого испытания.

Образцы готовых проводов (для экранированных проводов—до наложения экрана) должны выдерживать испытание напряжением 20 кВ, 50 Гц в течение 5 мин после 6-часового пребывания образцов в воде при 25° С. Взамен этого испытания допускается испытание готовых проводов всех марок по всей протяженности на аппаратах сухого испытания при 20 кВ, 50 Гц. Кроме указанных испытаний образцы проводов должны выдерживать в течение 2 час. без повреждения испытания на жорону (озоностойкость) напряжением 50 Гц: для марки ПВЛ-1—20 кВ, для марок ПВЛ-2 и ПВЛ-3—15 кВ.

Стандартом установлен ряд других требований, нормирующих минимальные длины поставляемых отрезков провода, правила приемки, методы испытаний, упаковку и маркировку.

Присоединительные, установочные, габаритные и монтажные размеры. Стандарты, приведенные в следующей таблице, обеспечивают взаимозаменяемость агрегатов в целом, ускоряют монтирование электрооборудования на заводах автотракторного машиностроения и в ремонтных мастерских.

Стандарт и срок введения	Краткая характеристика стандарта
ГОСТ 2829-45. Магнето автотракторные. Присоединительные и установочные размеры. Октябрь 1945 г.	Установлены для магнето (кроме вертикального) размеры приводного хвостовика ротора, присоединительные размеры пускового ускорителя и установочные размеры на плоском и радиальном основаниях
ГОСТ 3048-45. Генераторы автомобильные и тракторные с креплением на лапах и на фланце. Присоединительные размеры. Май 1946 г.	Установлены присоединительные размеры генератора с ременным приводом для автомобилей и тракторов и генераторов с шестеренчатым приводом для тракторов
ОСТ 26066. Генераторы электрические автомобильные. Наружные диаметром и длины корпусов. Октябрь 1940 г.	Установлены размеры наружных диаметров корпусов генераторов (крепящихся на двигателе в подушке, фланцем и на кронштейнах) допуски на размеры диаметров, а также общую наибольшую длину генератора (без конца проводного валика)
ГОСТ 3286-46. Распределители батарейного зажигания автомобильных двигателей. Присоединительные размеры. Ноябрь 1946 г.	Установлены присоединительные размеры хвостовика и валика привода распределителей батарейного зажигания автомобильных двигателей
ГОСТ 3544-47. Фары грузовых автомобилей. Габаритные и присоединительные размеры. Июнь 1947 г.	Установлены размеры основных элементов корпуса фар типа I (фара, устанавливаемая на крыло автомобиля) и типа II (фара, устанавливаемая в гнездо крыла автомобиля)
ГОСТ 3545-47. Фонари задние грузовых автомобилей и автомобильных прицепов. Габаритные и присоединительные размеры. Июль 1947 г.	Установлены габаритные и присоединительные размеры
ОСТ 26052. Гнезда для проводов электрооборудования автомобилей и тракторов. Октябрь 1940 г.	Размер отверстий (во всех приборах автотракторного электрооборудования), предназначенных для проводов без специального наконечника должен быть $7,5 \pm 0,5$ мм

О пересмотре части стандартов на автотракторное электрооборудование. Некоторые из стандартов на автотракторное электрооборудование, действующие на протяжении 5 ÷ 10 лет, должны быть пересмотрены в направлении исключения отживших параметров, повышения качественных требований, уточнения методов испытаний и дополнения требованиями, определившимися в процессе эксплуатации. Таковы:

ГОСТ В-2023-43 «Лампы накаливания электрические для автомобилей, танков и тракторов».

ГОСТ 959-42 «Батареи аккумуляторные свинцовые стартерные для колесных и гусеничных транспортных машин».

ГОСТ В-2043 «Свечи зажигательные искровые для двигателей автотракторного типа».

ОСТ 26065 «Генераторы электрические в 250 и 400 ватт для автомобилей. Основные размеры и технические условия».

ОСТ 26069 «Реле-регулятор напряжения для автомобильных генераторов».

ОСТ 26044 «Реле электромагнитное для звуковых сигналов автомобилей 6 и 12 в».

ОСТ 26043 «Сигналы звуковые электрические для автомобилей».

Разработка новых проектов по некоторым из указанных проектов уже начата.

Закключение: 1. Введение в производство новых стандартов на автотракторное электрооборудование и автотракторные электропровода улучшит качество автотракторного электрооборудования и электропроводов и удлинит срок их службы.

2. В связи с утверждением основного стандарта на автотракторное электрооборудование (ГОСТ 3940-47) все ведомственные технические условия на отдельные виды автотракторного электрооборудования, утвержденные до срока введения указанного стандарта и у которых технические требования к электрооборудованию занижены в сравнении с требованиями стандарта, должны быть приведены в соответствие с требованиями этого стандарта.

3. Необходимо продолжить работу по стандартизации габаритных, установочных и присоединительных размеров автотракторного электрооборудования, ускорить проведение работ, связанных с пересмотром некоторых стандартов, в которых отдельные показатели устарели. Необходи-

димо также форсировать разработку проектов стандартов на нестандартизованное автотракторное электрооборудование: (стартеры, вспомогательные аппараты электрооборудования и др.).

4. Необходимо начать работу по стандартизации отдельных узлов и деталей автотракторного электрооборудования, поставляемых в качестве запасных частей (трансформаторы к магнето и др.).

5. Особо следует отметить необходимость и неотложность разработки перспективного плана работы по стандартизации автотракторного электрооборудования, предусматривающего взаимосвязь и последовательность разработки отдельных проектов государственных общесоюзных стандартов на автотракторное электрооборудование.



## Развитие магнитных материалов

Вопросу создания новых магнитных материалов со специальными характеристиками в настоящее время уделяется большое внимание. Значительное число таких материалов успешно изготавливается отечественной промышленностью. Тем не менее рассмотрение в данном обзоре зарубежных данных представляет некоторый интерес, так как позволяет судить об уровне развития магнитных материалов за границей.

Приводимые отдельными авторами [Л. 9] теоретические построения не всегда соответствуют современным представлениям, развитым, главным образом, русскими учеными (Н. С. Акулов, Е. И. Кондорский, С. В. Вонсовский, Я. С. Шур и др.) и поэтому в обзоре опущены.

**Листовые электротехнические стали.** Развитие мягких магнитных материалов за последние десятилетия шло параллельно с теорией ферромагнетизма. Многие вновь открытые факты давали пищу теории, а последняя часто указывала пути исследования, приводившие к практическим результатам.

Так, например, Чоффи путем длительного высокотемпературного отжига в водороде добился исключительного роста проницаемости и снижения коэрцитивной силы обычного железа армко (рис. 1). Иенсен и Циглер подробно изучили влияние незначительных количеств примесей на магнитные свойства железа и кремнистых сталей. На основе этих исследований в дальнейшем были разработаны практические методы рафинирования магнитных материалов, приведшие к заметному их улучшению и созданию новых марок.

**Холоднокатанная трансформаторная сталь.** Появление в 1933—1935 гг. трансформаторной стали с направленными магнитными свойствами может считаться наиболее выдающимся событием в истории ее развития. В общих чер-

тах процесс изготовления этой стали сводится к следующему: сталь с 3,25÷3,5% кремния обычным путем прокатывается в горячую до толщины порядка 2,5 мм и затем охлаждается на промежуточную толщину около 0,75 мм. Далее полосу отжигается в течение нескольких минут в конвейерной печи в водороде при 900÷1000°С. Прокатка на конечную толщину 0,30÷0,35 мм производится в холодной. Окончательный отжиг в водороде при 1000—1100°С помимо рекристаллизации имеет целью очистку металла от вредных примесей. В частности, для получения хороших результатов содержание углерода должно быть порядка 0,005% или даже менее.

Как показали рентгеновские и магнитные исследования, такая сталь обладает резко выраженной кристаллической текстурой, причем в плоскости прокатки лежит плоскость диагонали грани куба, а ребро куба направлено вдоль прокатки. Известно, что различие магнитных свойств железа по разным кристаллографическим направлениям; причем направление легкого намагничивания лежит вдоль ребра куба. Этим и объясняется высокая проницаемость и малая коэрцитивная сила холоднокатанной стали при намагничивании вдоль направления прокатки. Очевидно, что свойства в поперечном направлении, наоборот, хуже, чем в обычной горячекатанной стали с беспорядочно ориентированными кристаллитами.

На рис. 2 представлены кривые намагничивания холоднокатанной стали с 3% кремния по различным направлениям (0°, 54,7° и 90°) относительно прокатки, а в рис. 3 — зависимость потерь на гистерезис от направления.

Превосходство холоднокатанной стали над горячекатанной видно из рис. 4, где даны кривые намагничивания и потери американской холоднокатанной стали (гайперск

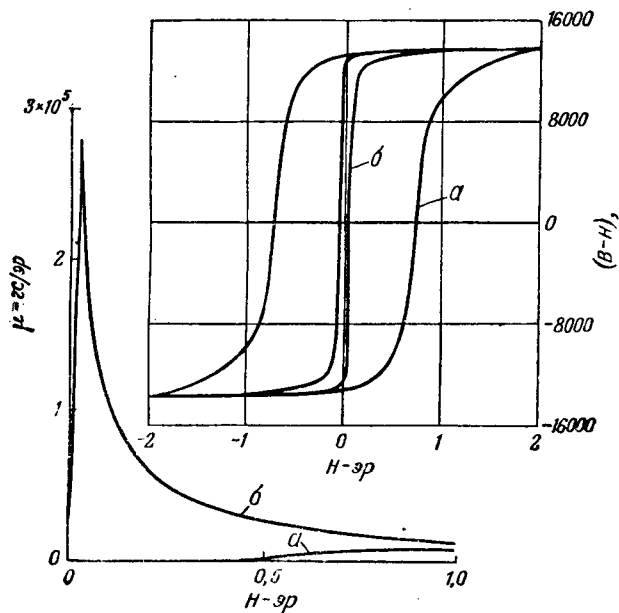


Рис. 1. Влияние длительного высокотемпературного отжига на петлю гистерезиса и проницаемость армко-железа. а — материал до отжига; б — материал после отжига.

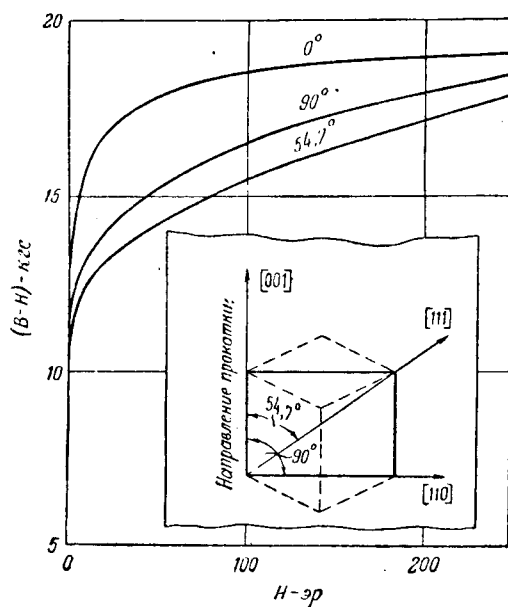


Рис. 2. Кривые намагничивания холоднокатанной трансформаторной стали с 3% кремния по различным направлениям относительно оси прокатки.



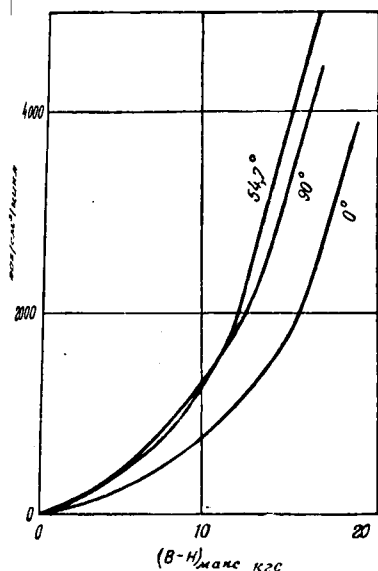


Рис. 3. Зависимость от направления потерь на гистерезис холоднокатанной трансформаторной стали с 3% кремния.

с 3,25% кремния вдоль прокатки в сравнении с наилучшей английской горячекатанной сталью с 4,25% кремния (средние данные вдоль и поперек прокатки).

В СССР разработана и выпускается холоднокатанная сталь марки ХВП со свойствами, не уступающими американской стали [Л. 1].

Применение стали ХВП позволяет в средних и мощных трансформаторах уменьшить габарит и вес на 20—35%, а в маломощных и слаботочных трансформаторах — значительно снизить габарит, либо соответственно повысить мощность при сохранении прежнего габарита.

**Горячекатанная кремнистая сталь.** Повышение свойств горячекатанной кремнистой стали шло десятилетиями путем улучшения процессов выплавки, прокатки и окончательной термической обработки. Так, например, современная английская сталь уже много лет находится на уровне, приведенном в табл. 1. Содержание примесей в этой стали составляет: 0,03% С, 0,02% S и Р и 0,15% Mn.

Таблица 1  
Гарантируемые свойства английской горячекатанной кремнистой стали

Примерное содержание кремния, %	Толщина, мм	Полные потери при частоте 50 гц, Вт/кг	
		$B_{\max} = 10 \text{ кгс}$	$B_{\max} = 13 \text{ кгс}$
0,4	0,40	2,96	4,83
1,5	0,40	2,20	3,60
3,0	0,40	1,71	2,93
4,0	0,35	1,30	2,20
4,3	0,35	1,08	1,89

В предвоенный период некоторые германские фирмы выпускали горячекатанную сталь толщиной 0,35 мм с гарантированными потерями 0,90 Вт/кг при индукции 10 кгс и частоте 50 гц. Содержание кремния было на уровне 4,2÷4,6%, серы и фосфора ниже 0,01%, а углерода 0,02÷0,03%. В отличие от английской стали, выплавляемой в мартеновской печи, такая германская сталь производится дуплекс-процессом: сталь, выплавляемая в основной мартеновской печи или бессемеровском конверторе, рафинируется переплавкой в основной дуговой электрической печи.

В США выпускаются горячекатаные высококачественные кремнистые стали с потерями, значительно меньшими, чем в аналогичных английских сталях, приведенных в табл. 1. Улучшение достигнуто в основном обезуглероживающим отжигом после прокатки на окончательный размер, причем содержание углерода снижается до 0,01%. Находит применение и трансформаторная сталь с содержанием кремния свыше 5% и добавкой до 0,5% алюминия (с повышенной хрупкостью). Ее потери составляют 0,8 Вт/кг. Динамная сталь толщиной 0,35 мм с

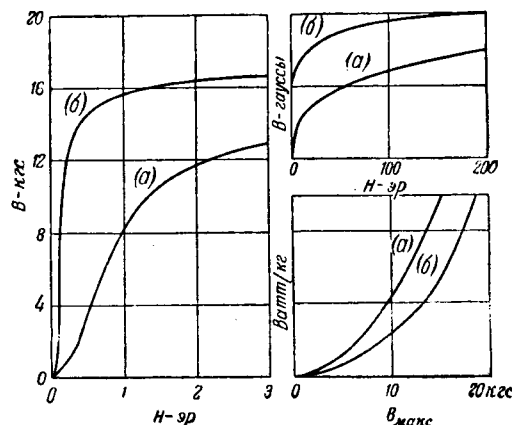


Рис. 4. Сравнение кривых намагничивания и полных потерь лучшей английской горячекатанной трансформаторной стали с 45% кремния (а) и американской холоднокатанной стали с 3,25% кремния (б). Частота 50 гц, толщина 0,35 мм; для горячекатанной стали даны средние свойства вдоль и поперек листа.

2,25% кремния имеет потери до 1,06 Вт/кг при индукции 10 кгс, частоте 50 гц и толщине 0,35 мм, т. е. превосходит лучшую английскую трансформаторную сталь.

Качество отечественной трансформаторной и динамной стали весьма высокое и не уступает лучшим маркам американской и английской горячекатанной стали массового производства.

Группой инженеров Верх-Исетского завода [Л. 2] разработаны специальные марки трансформаторной горячекатанной стали, еще не вошедшие в ГОСТ (ВП-1; ВП-2; ВП-3), которые по проницаемости и потерям в слабых полях значительно превосходят обычную сталь Э4АА.

**Железokoбальтовые сплавы.** Для конструктора электрических машин весьма заманчиво иметь материал с насыщением, заметно большим, чем у железа, с тем, чтобы значительно повысить рабочую индукцию в зубцах. Известен лишь один способ существенного повышения индукции насыщения железа—введение нескольких десятков процентов кобальта.

Из рис. 5, показывающего величину насыщения во всем ряду железokoбальтовых сплавов, видно, что при 35÷50% кобальта можно получить насыщение на 10÷12% больше, чем у чистого железа. Однако, такие сплавы хрупки и с трудом прокатываются. Добавка хрома или ванадия, хотя и несколько снижает насыщение, но делает сплавы вязкими и позволяет прокатывать их до толщины 0,025 мм. Высокая стоимость кобальта ограничи-

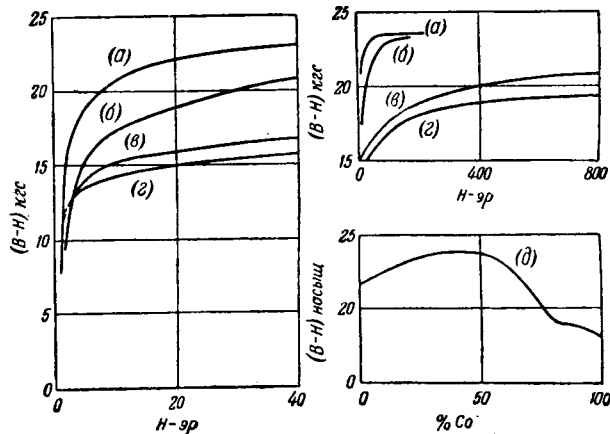


Рис. 5. Железokoбальтовые сплавы с высокой индукцией насыщения.

а — 50% Co; 50% Fe (пермемкр); б — 35% Co; 49,5% Fe; 0,5% Cr (гиперко); в — обычная динамная сталь, 0,5% Si; г — трансформаторная сталь, 4% кремния; д — магнитное насыщение железokoбальтовых сплавов.



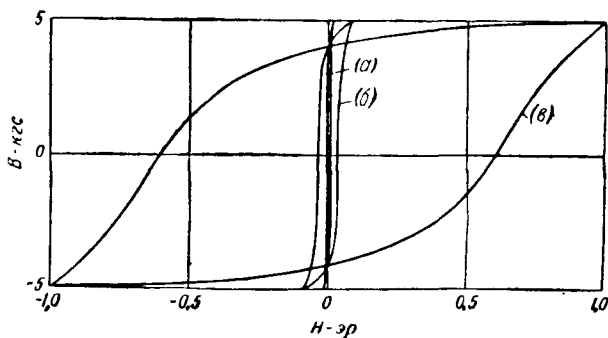


Рис. 6. Сравнение кривых намагничивания и проницаемости супермаллоя (а); Мо — пермаллоя (б) и армо-железа (в).

дает применение железокобальтовых сплавов специальными конструкциями. Из промышленных марок известны: «пермендюр» и «гиперко».

Пермендюр представляет сплав, состоящий из 49% железа, 49% кобальта и 2% ванадия. Промышленная технология изготовления пермендюра освоена в СССР [Л. 3].

В сплаве гиперко содержится 35% кобальта, 0,5% хрома или 1% ванадия, остальное — железо. Углерода должно быть не более 0,005% и серы также возможно менее. Удельное электрическое сопротивление гиперко равно 20 мком·см. Сравнение кривых намагничивания кобальтовых сплавов с обычной динамной (~0,5% кремния) и трансформаторной сталью (4% кремния) дано на рис. 5. При частоте 50 ÷ 60 Гц и индукции 14 кГс гиперко имеет примерно такие же потери, как динамная сталь с 1% кремния, а при более высоких индукциях еще меньше. Применение гиперко в авиационных электромоторах и генераторах позволяет на 10—12% снизить их вес.

**Железоникелевые сплавы.** Высокая магнитная проницаемость и малые потери на гистерезис железоникелевых сплавов известны уже в течение нескольких десятилетий. За это время разработаны различные промышленные марки пермаллоя применительно к требованиям, выдвигаемым техникой (пермаллой—А, Мо—пермаллой, муметалл, гиперник, рометалл и др.). Исследование и освоение некоторых сортов пермаллоя по ряду показателей, превосходящих импортные, проведено в СССР [Л. 4].

Новым в этой области является недавно разработанный сплав «супермаллой», содержащий 79% никеля, 5% молибдена и 0,5% марганца (остальное — железо). От обычного молибденового пермаллоя сплав отличается повышенным содержанием молибдена. Шихта плавится в вакуумной печи, а отливка производится в нейтральной среде (гелий или азот при атмосферном давлении). Материал вторично и в холодную прокатывается в ленту толщиной до 0,006 мм. Высокими магнитными свойствами супермаллой, повидимому, обязан конечному рафинирующему отжигу при 1300°С в сухом водороде. При

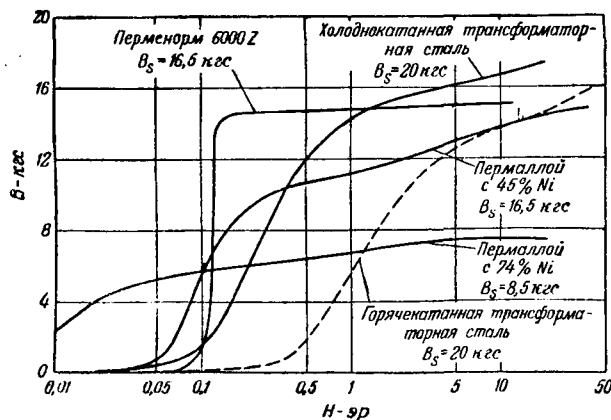


Рис. 7. Кривые намагничивания железоникелевых сплавов и трансформаторной стали, применяемых для дросселей насыщения.

толщине 0,35 мм сплав имеет начальную проницаемость 50 000 ÷ 150 000 и максимальную 600 000 ÷ 1 200 000 Гс/кА, потери на гистерезис при индукции 5 кГс менее 5 эрг/см<sup>3</sup> за цикл. В лентах толщины 0,025 мм максимальная проницаемость несколько ниже, но все же находится в пределах 200 000 ÷ 400 000.

На рис. 6 представлены петли гистерезиса супермаллоя сравнительно с обычным молибденовым пермаллоем и железом армо. Супермаллой пока не является материалом, производимым в промышленном масштабе, однако, он показывает потенциальные возможности в этой области.

Весьма ценным свойством железоникелевых сплавов является способность насыщаться в сравнительно слабых магнитных полях. Эта особенность успешно используется в дросселях магнитных усилителей и дросселях насыщения контактных выпрямителей.

На рис. 7 представлены кривые намагничивания ряда железоникелевых сплавов сравнительно с холоднокатанной и горячекатанной трансформаторной сталью [Л. 10].

Обращает на себя внимание исключительно крутой подъем кривой намагничивания с резко выраженным коленом сплава «перменорм 5000 Z». Достоинством его является также большая индукция насыщения и высокая удельное электрическое сопротивление. По литературным данным этот сплав имеет в своем составе около 50% никеля и несколько процентов марганца (остальное — железо). Прямоугольная форма петли гистерезиса (рис. 8), повидимому, достигается специальной обработкой.

**Материалы для постоянных магнитов.** Наиболее употребительным материалом для постоянных магнитов до 1917—1920 гг. являлись вольфрамовая и хромистая стали с остаточной индукцией 9,2 ÷ 10,5 кГс при коэрцитивной силе 74 ÷ 65 эр и магнитной энергии  $(BH)_{max} = 0,25 ÷ 0,32 \cdot 10^6$  Гс·эр.

К двадцатым годам относится промышленное развитие серии кобальтовых сталей с содержанием кобальта до 35% и хрома до 9%. Эти стали отличались повышенной коэрцитивной силой (до 250 эр) и магнитной энергией (до  $0,96 \cdot 10^6$  Гс·эр).

Следующим этапом явилось открытие в 1931—1932 гг. железоникель-алюминиевых сплавов с удвоенной коэрцитивной силой по сравнению с 35% кобальтовой сталью.

Добавка меди и особенно кобальта еще более повысила свойства этих сплавов, названных «альнико»  $[(BH)_{max} \text{ до } 1,6 \cdot 10^6 \text{ Гс·эр}]$ . В отличие от сталей сплавы альнико не обрабатываются резанием.

В период 1934—1936 гг. появилось несколько новых сплавов: новая сталь KS\*; Fe — Pt; Co — Pt; Cu — Ni — Fe; Cu — Ni — Co и др. (табл. 2 и 3).

К 1937 г. наметились следующие три основные тенденции в развитии высококоэрцитивных материалов:

а) повышение магнитных свойств сплавов независимо от способности к механической обработке;

б) разработка сплавов, способных обрабатываться резанием и одновременно имеющих высокие магнитные свойства;

в) новые методы технологии, позволяющие в массовом количестве изготавливать дешевые магниты любой формы и размера.

Сплавы с повышенной магнитной энергией. 1938 г. ознаменовался открытием принципиально нового метода улучшения магнитных свойств высококоэрцитивных сплавов. Оказалось, что если нагретый до 1200°С брусок альнико (с 12% Co) охладить в сильном магнитном поле, то такой ма-

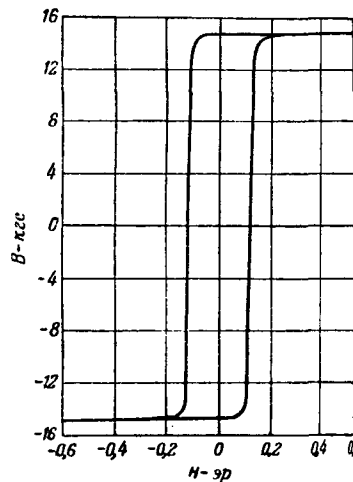


Рис. 8. Петля гистерезиса сплава перменорм 5000 Z.

териал приобретает магнитную текстуру и становится магнитоанизотропным. При этом в направлении действия магнитного поля получается увеличение остаточной индукции и выпуклости кривой размагничивания примерно на 10%. В перпендикулярных направлениях, наоборот, указанные свойства ухудшаются. В результате дальнейших исследований были разработаны сплавы тикональ и алькомакс, у которых термомагнитная обработка вызвала повышение магнитной мощности до  $3,5 \div 3,8 \cdot 10^6$  гс · эр. В дальнейшем получили распространение сплавы алькомакс II, тикональ G и альнико 5 с магнитной энергией  $4,3 \div 5,7 \cdot 10^6$  гс · эр, а также сплавы с коэрцитивной силой, повышенной до  $800 \div 1000$  эр (гайкомакс I и реко 2A). Сплавы, аналогичные альнико 5, разработаны в СССР под названием магнико [Л. 5]. Отечественный сплав магнико не уступает подобным английским и американским сплавам и успешно применяется в ряде случаев [Л. 3].

На рис. 9 наглядно представлено влияние термомагнитной обработки на магнитные свойства, а в табл. 2 даны магнитные характеристики ряда анизотропных сплавов.

**Деформируемые высококоэрцитивные сплавы.** Хрупкость сплавов альнико и родственных им затрудняет механическую обработку. Поэтому открытие деформируемых магнитных сплавов имело большое значение, особенно для изготовления мелких магнитов.

В табл. 3 приведены основные характеристики ряда деформируемых сплавов. Сплавы кунифе I и II и вайкелой II—анизотропны, прочие—изотропны.

Сплавы типа кунифе и кунико еще в довоенное время изучены в СССР Б. Г. Лившицом и А. Г. Рахштадтом. Часть деформируемых сплавов в результате холодной деформации приобретает анизотропность магнитных свойств. При этом остаточная индукция и магнитная энергия в направлении прокатки значительно возрастают за счет уменьшения в поперечном направлении.

**Материалы для постоянных магнитов, получаемые методами порошковой металлургии.** За последнее десятилетие порошковая металлургия получила широкое развитие, особенно применительно к массовому производству.

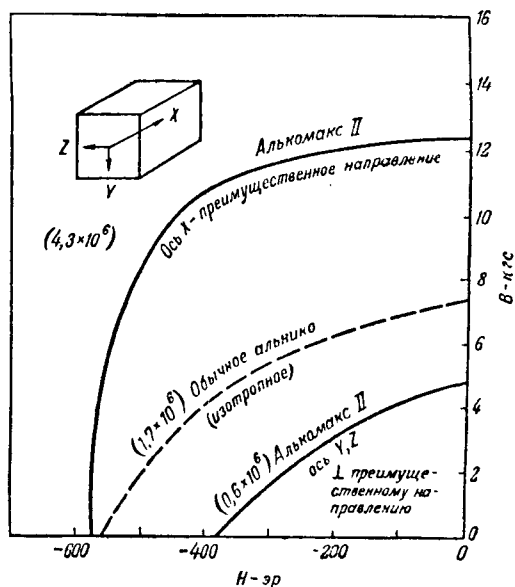


Рис. 9. Кривые размагничивания сплавов алькомакс II и изотропного сплава альнико.

(Цифры в скобках обозначают величину магнитной энергии  $(BH)_{\max}$  гс · эр).

Успешным оказалось и изготовление металлокерамическим путем магнитов из порошков сплавов типа альнико и им подобных. Такие магниты могут иметь сложную форму, малую величину и точно выдерживаемые размеры, что устраняет необходимость шлифования. Магнитные характеристики получаются лишь примерно на 10% хуже, чем у литых магнитов.

В 1947 г. было освоено изготовление металлокерамических магнитов вместе с железными полюсными наконечниками.

Таблица 2

Магнитоанизотропные сплавы, не обрабатываемые давлением и резанием

Наименование	Номинальный состав, % (ост.-железо)					$B_r$ , гс	$BH_c$ , эр	$(BH)_{\max}$ , гс · эр
	Al	Ni	Co	Cu	Ti			
Тикональ D или 3,8	8	14	24	3	0,01—3,0	12 000	600	$3,8 \times 10^6$
Алькомакс I	7	11	25	3	1,5	12 000	475	3,5
Алькомакс II	8	11,5	21	4	—	12 500	530	4,3
Реко 2A	7	20	20	7	6,5	5 500	1 000	1,9
Тикональ G	8	14	24	3	—	13 480	580	5,7
Гайкомакс I	9	21	20	2	—	9 000	830	3,2
Альнико 5E	8	14	24	3	—	11 700	760	4,6
Альнико 5	8	14	24	3	—	12 700	630	5,5
Альнико 6B	8	15	24	3	1	10 500	760	3,65
Альнико 6C	8	15	24	3	0,5	11 000	700	4,0
Альнико 12 (изотропный)	6	18	35	—	8	6 100	1 000	—
Новая сталь KS (изотропная)	3,7	17,7	27,2	—	6,7	6 000	900	2,0

Таблица 3

Деформируемые высококоэрцитивные сплавы

Наименование	Номинальный состав, %	$B_r$ , гс	$BH_c$ , эр	$(BH)_{\max}$ , гс · эр
Кунифе I	20 Ni; 60 Cu; 20 Fe	5 800	600	$1,96 \times 10^6$
Кунифе II	20 Ni; 50 Cu; 27,5 Fe; 2,5 Co	7 300	260	0,78
Кунико I	21 Ni; 29 Co; 50 Cu	3 400	710	0,85
Кунико II	24 Ni; 41 Co; 35 Cu	5 300	450	0,99
Fe—Pt	78 Pt; 22 Fe	5 800	1 600	3,0
Co—Pt	77 Pt; 23 Co	4 500	2 700	4,0
Вайкелой I	52 Co; 10 V; 38 Fe	9 000	300	1,0
Вайкелой II	52 Co; 13 V; 35 Fe	10 000	450	3,0

Некоторое развитие получили и так называемые оксидные магниты, представляющие прессованную и спеченную смесь порошкообразных окислов железа и кобальта. Эти магниты при малой остаточной индукции обладают высокой коэрцитивной силой и очень легки. Поэтому их магнитная энергия на единицу веса оказывается значительной. Торговые марки оксидных магнитов—«вектолайт» (США) и «кэслекс» (Англия).

Далее следует упомянуть прессованные магниты, получающиеся в результате прессования в прессформе измельченного в порошок высококоэрцитивного сплава, смешанного с каким-либо связующим. Такие магниты известны под маркой «троталит».

Прессованные магниты, не уступающие лучшим импортным образцам, разработаны в СССР [Л. 6].

Недавно было открыто, что весьма тонкий (размер зерна менее 1 мкм) железный порошок, полученный хи-

мическим разложением, обладает высокой коэрцитивной силой. Прессованием этого порошка удается получить магниты, не уступающие магнитам из сплава альнико. Добавка порошка кобальта еще более повышает их свойства. Подобные магниты изготавливаются в настоящее время в промышленном масштабе.

Некоторые характеристики магнитов, получаемых методами порошковой металлургии, даны в табл. 4.

**Порошкообразные сердечники.** Развитие радиотехники и связи потребовало создания контуров с постоянной индуктивностью и высокой добротностью. Компактные магнитные материалы в виде тонких листов или проволок не могут быть использованы для сердечников таких феррокатушек, так как не обладают магнитной стабильностью и дают значительные потери на вихревые токи, снижающие добротность.

Проблема была решена созданием сердечников, представляющих прессованную смесь ферромагнитного порошка с каким-либо диэлектриком. Подобные сердечники, получившие название магнитодиэлектрических [Л. 7], успешно находят применение в диапазоне частот от 100 гц до 100 мгц. При этом мелкость порошка соответственно меняется от 250 мкм до 1 мкм.

Измельчение порошка и улучшение изоляции отдельных крупинок друг от друга снижает потери на вихревые токи и повышает добротность феррокатушек. В том же направлении действует и увеличение удельного электрического сопротивления материала, из которого готовится порошок.

Магнитодиэлектрические сердечники для телефонии (частота до 100 кгц) большей частью имеют тороидальную форму.

Для радиочастот, когда вредное действие полей рассеяния легче устранить экранированием, возможно применение сердечников с открытой или неполностью замкнутой магнитной цепью, что значительно упрощает намотку феррокатушек.

Важным преимуществом сердечников является также возможность придания им любой формы и их монолитность, что устраняет усложняющие конструкцию скрепляющие детали, неизбежные в случае сердечников листового материала.

Главным недостатком магнитодиэлектрических сердечников с точки зрения их характеристик является незначительная магнитная проницаемость, не превышающая 100–200 гс/эр (при тороидальной форме). Уже для получения проницаемости более 10–20 гс/эр требуются давления при прессовании порядка 3–20 т/см<sup>2</sup>.

Первые магнитодиэлектрические сердечники, сделанные более 60 лет назад, состояли из железных опилок, изолированных парафином. Однако, магнитная проницаемость их оказалась недостаточной, а попытка увеличить ее повышением давления привела к разрушению изоляции между опилками и росту потерь на вихревые токи. К концу первой мировой войны удалось успешно разрешить проблему изоляции порошков и способа их прессования. Применение порошкообразного пермаллоя значительно

улучшило свойства магнитодиэлектриков применительно к телефонии. Для радиочастот в 1933 г. был разработан материал «феррокарт», представляющий спрессованные листы бумаги, покрытые слоем мелкого порошка карбонильного железа. Вскоре после этого стали изготавливаться сердечники из карбонильного железа, не разделенные слоями бумаги. Такой метод приобрел повсеместное распространение благодаря улучшению механической стабильности феррокатушек и простоте их изготовления.

К 1935–1936 гг. относится открытие серии сплавов системы Fe—Si—Al (так называемый «альсифер»), сочетавших высокую магнитную проницаемость и удельное электрическое сопротивление с легкой дробимостью. Система железо—кремний—алюминий была подробно изучена А. С. Займовским и Я. П. Селиским [Л. 8]. Применение порошкообразного альсифера для сердечников феррокатушек разработано в довоенное время работниками завода «Красная заря» [Л. 7] и успешно продвигается [Л. 3]. В большей части диапазона частот альсиферные сердечники не уступают сердечникам из карбонильного железа, но значительно дешевле их.

Дальнейший прогресс магнитодиэлектрических сердечников шел в следующих направлениях: 1) улучшение материала порошков; 2) улучшение технологии изготовления и свойств сердечников; 3) расширение применения сердечников; 4) разработка новых материалов.

**Улучшение магнитных материалов.** Для феррокатушек, применяемых в телефонии, в настоящее время основным материалом заграничной является пермаллой, состоящий из 75–80% никеля с добавкой или без нее нескольких процентов молибдена, меди или других элементов, повышающих удельное электрическое сопротивление и магнитную проницаемость.

Изоляция порошка делается из керамики, так как это позволяет отжигать готовые сердечники с целью снятия напряжений и повышения тем самым проницаемости.

Для радиочастот сердечники с малой проницаемостью, как правило, изготавливаются заграничной из карбонильного железа, а с большой проницаемостью — из 50%-ного пермаллоя или отожженного карбонильного железа. Если не предъявляются высокие требования к добротности катушек, то материалом для сердечников может служить обычное порошкообразное железо, более дешевое, чем карбонильное.

Во всех перечисленных случаях до недавнего времени применялись исключительно порошкообразные сердечники, так как только таким путем было возможно снизить потери на вихревые токи.

Теперь найден новый неметаллический материал, который наряду с высокой проницаемостью, доходящей до 3 000 гс/эр, обладает исключительно высоким удельным электрическим сопротивлением. Это делает излишним его измельчение и позволяет применять компактные сердечники.

В табл. 5 сведены основные характеристики магнитодиэлектрических сердечников.

Таблица 4

### Характеристики магнитов, полученных металлокерамическим путем

Материал	Номинальный состав, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	$B_r$ , гс	$H_c$ , эр	$(BH)_{max} \times 10^3$
Альнико . . . . .	10 Al; 18 Ni; 13 Co; 6 Cu; Fe—ост.	7	6 400—7 700	550—450	1,4—1,66
Гайкомакс* . . . . .	9 Al; 21 Ni; 20 Co; Fe—ост.	7	7 600—8 200	820—760	2,4—2,8
Алькомакс* . . . . .	8 Al; 11,5 Ni; 21 Co; 4 Cu; Fe—ост.	7	11 200	560	3,3
Тромалит					
а) альни 90 . . . . .	12 Al; 22 Ni; Fe—ост.	—	4 400	250	—
б) альни 120 . . . . .	14 Al; 23 Ni; Fe—ост.	—	3 200	470	—
в) альнико 160 . . . . .	11 Al; 24 Ni; 11 Co; 3,5 Cu; Fe—ост.	—	3 700	615	—
Кэслокс . . . . .	17 Co; 56 Fe; 27 O <sub>2</sub>	3,25	1 100	700	0,21
Вектолайт . . . . .	44 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ; 30 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 26 Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,12	1 600	900	0,5
Микропорошок железа	15 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ; 70 Fe; O <sub>2</sub>	4,3	5 000	600	1,0
Микропорошок железа с кобальтом . . . . .	22,5 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ; 26 Co; 37 Fe; ?O <sub>2</sub>	—	7 500	500	1,7

\* Анизотропен

Таблица 5

Материал	Диапазон проницаемости	Крупность порошка	Данные феррокатушек	Потери
	<i>B</i> — высокое давление (6–15 т/см <sup>2</sup> ) <i>H</i> — низкое давление (1,5–3 т/см <sup>2</sup> )	<i>K</i> — крупный <i>C</i> — средний <i>M</i> — мелкий	<i>Q</i> — $\omega L/R$ — добротность <i>Z</i> — звуковая частота <i>H</i> — несущая частота <i>P</i> — радиочастота <i>П</i> — подстроечник	<i>h</i> — гистерезис <i>e</i> — вихревые токи <i>v</i> — последствие <i>p</i> — удельное электрическое сопротивление
<b>Железо</b>				
а) измельченное губчатое и т. д.	5 — 25 <i>H</i> До 40 <i>B</i>	<i>K, C (M)</i> (неоднородный) <i>K</i>	Малое <i>Q</i> для <i>P</i> Среднее <i>Q</i> для <i>Z</i>	Высокое <i>h</i> Среднее <i>h</i>
б) электролитическое железо	10 <i>H</i> До 50 (70) <i>B</i>	<i>M</i> , сферический <i>M</i> , близкий к сферическому <i>M</i> , 2 ÷ 5 <i>MK</i> (сферический)	Высокое <i>Q</i> для <i>H</i> и <i>P</i> Среднее <i>Q</i> для <i>H</i> и <i>P</i> а также <i>Z</i> и <i>П</i> Большое <i>Q</i> для высоких <i>P</i>	Малое <i>h, v, e</i> Среднее <i>h</i> , малое <i>e</i>
в) карбонильное, тип Е	5 — 10 <i>H</i>			Очень малое <i>h</i> и <i>e</i>
г) карбонильное, тип С				
а) карбонильное, тип SF (а также и др. типы)				
<b>Железоникелевые сплавы:</b>				
а) высоконикелевый сплав (80% N; 20% Fe)	12 — 120 <i>B</i>	<i>K, C, M</i>	Среднее и высокое <i>Q</i> для <i>Z, H</i> и <i>P</i>	Малое <i>h</i> и <i>e</i>
б) Мо-пермаллой	14 — 135 <i>B</i>	<i>K, C</i>	Высокое <i>Q</i> для <i>Z</i> и <i>H</i>	Малое <i>h</i> и <i>e</i>
в) низконикелевый сплав (50% N; 50% Fe)	10 — 20 <i>H</i>	<i>C, M</i>	Среднее <i>Q</i> для <i>P</i> и <i>П</i>	Среднее <i>h</i> , малое <i>e</i> , высокое <i>p</i> (у материала)
Сендаст (альсифер) 84 Fe; 9,5 Si; 6,5 Al	До 70	<i>K, (C)</i>	Среднее <i>Q</i> для <i>Z (H)</i>	Малое <i>h</i> , высокое <i>p</i> (у материала)
Оксиды и т. д.				
а) магнитит	6 — 8 <i>H</i>	Компактный материал	Среднее <i>Q</i> для <i>P</i>	Высокое <i>p</i>
б) феррит	50 — 3 000	Компактный материал с воздушным зазором <i>M</i> — порошок с высоким <i>p</i> при низком <i>e</i>	Очень высокое <i>Q</i> для <i>H</i> и <i>P</i> Высокое <i>Q</i> > 250 (примерно) Низкое <i>Q</i> < 100 (примерно)	Низкое <i>e</i> , высокое <i>p</i> Малое <i>h</i> необходимо для <i>Z</i> и <i>H</i> Высокое <i>p</i> для малого <i>e</i>
Примечания:	Малое $\mu$ для высоких <i>f</i> (частота) Большое $\mu$ для низких <i>f</i>			

## Литература

1. А. Л. Гольдман и В. В. Дружинин. Магнитные свойства холоднокатанной трансформаторной стали. Электричество, № 10, 1946.
2. А. С. Займовский и В. В. Усов. Металлы и сплавы в электротехнике. 2-е изд. Госэнергоиздат, 1949.
3. А. С. Займовский. Задачи науки и техники в области электротехнических сплавов. Электричество, № 9, 1946.
4. А. С. Займовский и Л. Ш. Казарновский. Исследование и освоение железоникелевых сплавов с высокой магнитной проницаемостью. Качественная сталь, № 3, 1938. А. С. Займовский, Л. Ш. Казарновский и В. Ф. Архипов. Исследование и освоение железоникелевых сплавов типа пермаллой. Труды ВЭИ, вып. 32, 1938. А. С. Займовский, Л. Ш. Казарновский, К. В. Нащокин и В. Ф. Архипов. Исследование и полужавовское освоение сплавов типа пермаллой. Бюллетень ВЭИ, № 2, 1940. А. С. Займовский, Л. Ш. Казарновский, К. В. Нащокин и В. Ф. Архипов. Сплавы с высокой магнитной проницаемостью.

Электричество, № 3, 1940. А. С. Займовский и В. В. Усов, Металлы и сплавы в электротехнике, стр. 159, 1949.

5. А. С. Займовский и Л. М. Львова. Сталь, № 4, 1945.

6. А. С. Займовский, Л. Ш. Казарновский и И. И. Кифер. Прессованные магниты. ВЭП, № 5, 1947.

7. Н. Н. Шольц, Л. И. Рабкин и К. Морозов. Порошкообразные сердечники для высоких частот из альсифера. Электросвязь, № 1, 1940. Н. Н. Шольц и Л. И. Рабкин. Магнитодиэлектрики и феррокатушки. Госэнергоиздат, 1948. О. Н. Альтгаузен. Магнитодиэлектрики на основе сплава альсифер. Электричество, № 9, 1946.

8. А. С. Займовский и Я. П. Селицкий. О природе высокой проницаемости сплавов железо — кремний — алюминий. Journal of Physics of USSR, № 2, 1944.

9. F. Brailsford, D. A. Oliver, D. Hadfield, G. R. Polgreen. JIEE, т. 95, ч. 1, № 96, стр. 522, 1948.

10. El. Eng. № 1, стр., 36, 1949.

Инж. Л. Ш. КАЗАРНОВСКИЙ



## К статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского

„ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНАЯ ШКАЛА СТАНДАРТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДИАПАЗОНЕ 10—220 кВ“.

(Электричество, № 11, 1948)

Кандидат техн. наук Н. Н. КРАЧКОВСКИЙ

Гидроэнергoproject МЭС СССР

Вопрос о пересмотре шкалы напряжений для электрических сетей поставлен вполне своевременно. Действующая шкала весьма бедна. Когда много лет назад перед нашей промышленностью была поставлена задача выпуска в кратчайшие сроки и в требуемом количестве оборудования и аппаратуры для электрических станций и сетей, то для успешного ее разрешения важно было сократить до минимума номенклатуру выпускаемых изделий. Задачи электропромышленности при этом чрезвычайно облегчались, но для электрических сетей создавалась неблагоприятная конъюнктура, так как в ряде случаев приходилось применять пониженное напряжение по сравнению с требуемым, что приводило к заметному увеличению расхода цветного металла и к повышению потерь энергии. Общим этим факторам в те годы не уделялось достаточного внимания.

Непропорционально низкая отпускная стоимость цветного металла по сравнению с другими составляющими в суммарной стоимости 1 км линии передачи затуманивала значение фактора экономии и довольно легко позволяла идти на повышенные сечения проводов, требуемые при пониженном напряжении сети.

Такое положение стало совершенно нетерпимым, и единственным технически правильным решением проблемы экономии цветного металла и потерь энергии является повышения напряжения сетей. Это благоприятно скажется не только на самой линии электропередачи, но отчасти и на экономике подстанций, так как благодаря уменьшению числа линий электропередачи уменьшается и число линейных ячеек на подстанциях, а соответственно и количество требуемой аппаратуры. Этим одновременно будут облегчены и задачи электропромышленности.

При анализе вопроса об оптимальном напряжении сети авторы статьи рассматривали район с равномерно распределенной нагрузкой. Результаты приведенных там расчетов убедительно показывают целесообразность применения напряжения 154 кВ по сравнению с напряжением 110 кВ. К этим же выводам можно прийти и иным путем, а именно рассматривая вообще вопрос о передаче энергии на различные расстояния. Ниже приводятся результаты такого рассмотрения.

Для получения сравнимых объективных показателей по передаче энергии при различных вариантах напряжений следует предварительно условиться о некоторых исходных положениях:

1) Принимается одинаковая экономическая плотность тока при одинаковом числе часов использования максимума передаваемой мощности (предлагая как среднюю величину  $T=5000$  час., имеем при этом экономическую плотность тока для медных проводов  $\Delta=1,75$  а/мм<sup>2</sup> и для сталеалюминиевых проводов  $\Delta=1,0$  а/мм<sup>2</sup>).

2) Применяется один и тот же род проводов и материал опор (чтобы исключить, по возможности, ограничения по короне, применяем сталеалюминиевые провода.

Типы опор рассматриваем как деревянные, так и металлические).

3) Сравнение производится для длин линий электропередачи в пределах 50—300 км и для мощностей 30, 45; 60; 90 и 120 тыс. кВт.

4) Наибольшая передаваемая по одной цепи мощность, в долях натуральной, определяется, исходя из следующего: при длине линии 100, 150, 200 и 300 км передаваемая мощность соответственно 2; 1,75; 1,5; 1,25 Р.

5) Коэффициент мощности во всех случаях принимается одинаковым и равным 0,9 (фактически для длинных линий  $\cos \varphi$  должен быть выше, однако это уточнение в расчет не вводилось, так как оно не существенно для объективности сравнения).

Исходя из этих положений, составлены табл. 1 и 2.

Таблица 1  
Сечения сталеалюминиевых проводов, мм<sup>2</sup>

Напряжение, кВ	Передаваемая мощность, тыс. кВт				
	30	45	60	90	120
110	175	262	350	525	700
154	125	188	250	375	800
220			175*	262	350

\* Сечение АС-175 недопустимо по условиям короны и в дальнейшем принято сечение АС-262.

Таблица 2  
Число цепей и сечение проводов \*

Передаваемая мощность, тыс. кВт	Напряжение, кВ	Длина линии, км				
		50	100	150	200	300
30	110	175	175	175	175	175
30	154	125	125	125	125	125
45	110	262	262	262	262	262
45	154	188	188	188	188	188
60	110	350	350	2 × 175	2 × 175	2 × 175
60	154	250	250	250	250	250
60	220	262	262	262	262	262
90	110	2 × 262	2 × 262	2 × 262	2 × 262	3 × 175
90	154	375	375	375	375	2 × 182
90	220	262	262	262	262	262
120	110	3 × 233	3 × 233	3 × 233	3 × 233	3 × 233
120	154	2 × 250	2 × 250	2 × 250	2 × 250	2 × 250
120	220	350	350	350	350	350

\* При составлении таблицы было принято, что по условиям резервирования не требуется сооружение второй цепи.

Как следует из табл. 2, сечения проводов в той или иной степени не соответствуют стандартным сечениям проводов. В дальнейшем с целью наиболее объективного

\* Начало дискуссии см. Электричество, № 5, 1949.

сравнения вариантов по потерям приведенные в таблице сечения не округлялись до стандартных, принимались как расчетные, но единичная стоимость 1 км линии электропередачи определялась путем интерполяции.

Потеря мощности на 1 км линии в процентах от передаваемой мощности определялась по формуле

$$\Delta P = \frac{5,95}{U}.$$

Годовые потери энергии принимались, исходя из числа часов потерь, равного 4000, что приблизительно соответствует  $T=5000$  час.

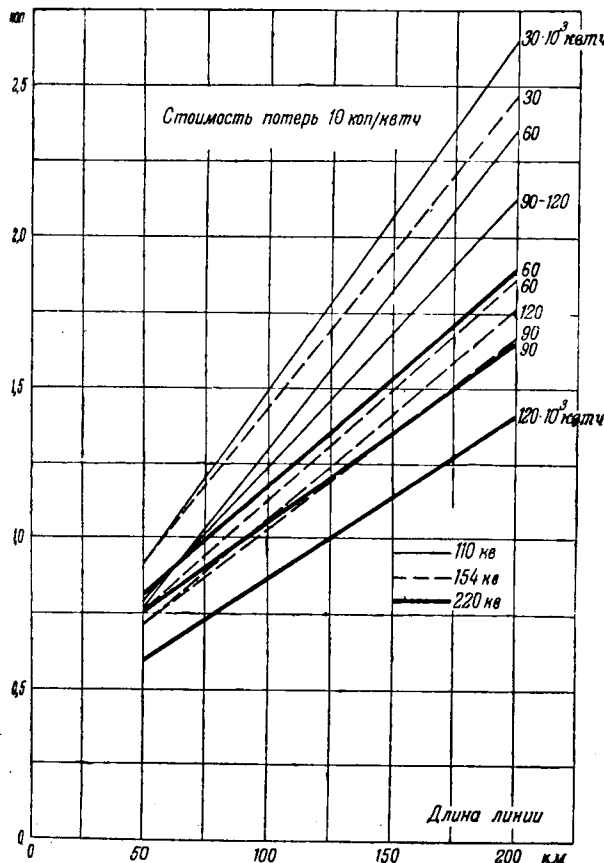
При сравнении принимались во внимание повышающая и понижающая подстанции. Повышающие трансформаторы были приняты двухобмоточными, а понижающие — трехобмоточными. Единичные их мощности для различных величин передаваемых мощностей при расчетном  $\cos \varphi = 0,8$  принимались равными 37,5; 55,25 и 75,0 тыс. квт.

На каждую линию или трансформатор предполагался один выключатель.

Для указанного диапазона мощностей стоимость двух обмоточных трансформаторов для 110—154 и 220 кв была принята в соотношении 1:1,37:1,80. Стоимость понижающих трехобмоточных трансформаторов полагалась на 30% выше. На транспорт, монтаж и накладные расходы делались надбавки в 30%. Годовые потери энергии в повышающих и понижающих трансформаторах приняты в 2% от переданной энергии.

Стоимость ячеек выключателей на 110—154 и 220 кв была принята в соотношении 1:2:4.

Основное сравнение производилось для линий электропередачи на деревянных опорах, так как по таким линиям мы располагаем довольно полными данными по их стоимости. Частично сравнение проводилось также и для линий на металлических опорах. Стоимость линий на деревянных опорах была исчислена по данным Теплоэлектропроекта, но с перерасчетом сталеалюминиевого провода и изоляторов по ценам 1945 г. Стоимость линий с сечением проводов, приведенных в табл. 2, определялась, как указано выше, путем интерполяции. Для последующих цепей стоимость принималась на 20% ниже.



Для линий электропередачи на металлических опорах сравнение производилось только для передаваемой мощности в 90 тыс. квт.

На основании полученных данных были подсчитаны капитальные затраты, а также ежегодные расходы. Ежегодные отчисления от капитальных затрат для линий на деревянных опорах полагали равными 14%; для линий на металлических опорах 10%; для подстанций 10%. Стоимость потерь энергии была принята в 10 коп. за 1 квтч.

На диаграмме и в табл. 3 даны стоимости передачи 1 квтч для линии на металлических и деревянных опорах.

Таблица 3

Стоимость передачи 1 квтч в копейках (линия на металлических опорах; передаваемая мощность 90 тыс. квт; стоимость потерь 10 коп/квтч; длина линии электропередачи в км)

Напряжение, кв	Длина линии, км			
	50	100	150	200
110	0,76	1,17	1,58	1,99
154	0,70	1,0	1,30	1,61
220	0,76	1,05	1,34	1,63

Минимальные значения стоимости передачи энергии в табл. 3 указаны жирным шрифтом.

Рассмотрение данных таблицы и диаграммы показывает, что напряжение 154 кв является наиболее экономичным в следующем диапазоне мощностей и расстояний: 30 тыс. квт — 100—300 км; 60 тыс. квт — 100—400 км; 90 тыс. квт — 100—200 км. При переходе с напряжения 110 кв на напряжение 154 кв может быть получена экономия до 20—25%.

Ииж. Г. Н. ПЕРИХАНЫ

Армянское отделение ВНИТОЭ

Отправные начала статьи А. А. Глазунова и С. А. Геликонского неприменимы с методологической стороны. Надуманная геометрическая и нежизненная сеть с равномерным распределением мощности от 50 000 квт до 400 000 квт на площади 10 000 км<sup>2</sup> не может заменить реально существующие системы, где подобная плотность встречается редко. Разнородность и различная плотность распределения мощности на площадях, обслуживаемых системами, являются одними из основных факторов, определяющих технико-экономические показатели системы, между тем как факторы, принятые в старых методах, полностью искажены и представлены в обратном виде. Не принята во внимание разнородность географических условий, также играющая большую роль в определении технико-экономических показателей сетей. Не рассмотрена смешанная промышленная и сельская сеть, имеющая очень большое распространение. Совершенно игнорирована сельская электрификация. Нет никаких ссылок на опыт работающих систем и примененных напряжений. Не учтена специфичность условий хозяйственного развития отдельных районов страны.

Схематичность и абстрактность отправных начал статьи привели к неверным выводам. Из статьи не вытекает технико-экономическая целесообразность сохранения в стандарте напряжения 10 кв, между тем как в выводах записано о необходимости его оставления. Напряжение 20 кв дает почти одинаковые технико-экономические показатели, что и 35 кв, между тем в «выводах»

\* Замечания Г. Н. Периханяна, а также следующие далее замечания С. А. Амирбекяна, А. И. Рафазаряна и Д. Б. Давидяна являются кратким изложением их выступлений на состоявшемся в феврале 1949 г. совещании Лаборатории электротехники Академии наук Армянской ССР совместно с Армянским отделением ВНИТОЭ, на котором были обсуждены вопросы, поднятые в статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского. Материалы совещания были присланы редакции для освещения их в данной дискуссии.

напряжение 20 кВ исключается из стандарта. В статье доказывается прямое и безусловное преимущество напряжения 154 кВ в сравнении с напряжением 110 и 220 кВ и не делается никаких рекомендаций о прекращении проектирования сетей с напряжением 110 и 220 кВ и о переходе на 154 кВ.

Из сказанного следует, что статья А. А. Глазунова и С. А. Геликонского, своевременно поставив вопрос о новых стандартах напряжений, не дает достаточно убедительных оснований для тех рекомендаций, которые в весьма категорической форме делаются в «выводах». В условиях Армении напряжение 20 кВ себя вполне оправдало и включение его в стандартную шкалу весьма желательно.

### Инж. С. А. АМИРБЕКЯН

Арменэнерго

Приведу несколько примеров, подтверждающих необходимость напряжения 20 кВ в шкале стандарта.

При составлении проектов энергоснабжения районов, зачастую из-за отсутствия в шкале стандарта напряжения 20 кВ приходится выбирать 35 кВ. В условиях Армении, при сильно пересеченной местности, большое значение имеет легкость опор и соответствующее конструктивное выполнение их. Лес для опор линий привозной. Эти обстоятельства часто тормозят электрификацию сельского хозяйства при напряжении 35 кВ. Наоборот, когда напряжение распределительной сети выбирается 6 кВ, как это было сделано, например, в Микоянском районе Армении, электрификация колхозов этого района не была приостановлена даже в годы войны.

Другой пример. После ввода в эксплуатацию в 1933 г. фидера Давалу в Арташатском районе за время до 1946 г. было электрифицировано всего 12—13 колхозов; электрификации сел препятствовало то обстоятельство, что Арменэнерго ставило условием строить подстанции и линии на напряжение 35 кВ. Когда же в 1946 г. в районе была сооружена понижающая подстанция 35(22)/6 кВ и питание потребителей было переведено на напряжение 6 кВ, то за один год было электрифицировано 8 колхозов.

В настоящее время, когда стоит задача сплошной электрификации сельского хозяйства, выбор напряжения распределительной сети приобретает важное значение и наличие в стандартной шкале напряжения 20 кВ во многом поможет быстрее электрификации сельского хозяйства Армянской ССР, так как облегчит постройку колхозных подстанций по сравнению с системой 35 кВ и исключит двойную трансформацию по сравнению с системой 35/10 кВ.

### Кандидат сел.-хоз. наук А. Г. ЗАХАРИН и кандидат техн. наук Л. Е. ЭБИН

Всесоюзный институт механизации и электрификации сельского хозяйства

Авторы, хотя и упоминают о сельскохозяйственных районах, фактически ограничивают свое исследование районами промышленной и городской нагрузок и, повидимому, относят свои выводы преимущественно к последним. Так, указывая, что верхний предел плотности нагрузки в сельских районах не превышает 2—3 кВт на 1 км<sup>2</sup>, они все кривые стоимости распределения электроэнергии строят лишь для пределов от 5 до 30 кВт/км<sup>2</sup>.

В большинстве сельскохозяйственных районов средние мощности подстанций в настоящее время составляют 15—25 кВА, а экономический оптимум не превышает 10 кВА.

В статье не рассмотрен случай питания сельских районов от электростанций местного значения. Между тем, в этом случае мы будем иметь интервал мощностей станций или нескольких станций, объединенных в местные энергосистемы (примерно 1—5 тыс. кВт), для которого определяются радиусы, отличные от принятых в статье, и оптимальным напряжением оказывается напряжение в 20 кВ.

Применение так называемой смешанной системы распределения электроэнергии в сельском хозяйстве дает зна-

чительную экономию: до 50% в расходе металла проводов и до 30% в первоначальных денежных затратах<sup>3</sup>.

Одной из основных причин, по которой, несмотря на значительные экономические преимущества, смешанная система распределения электроэнергии не получила до сих пор распространения, являлась ненадежность выпуска экономичных для таких сетей однофазных распределительных трансформаторов мощностью 3—5 кВА, которые предназначаются для питания осветительных и мелкомото-торных нагрузок. Разукрупнение мощностей распределительных трансформаторов оправдывается лишь при условии, что эти трансформаторы будут полностью отвечать требованиям сельского электроснабжения по своим технико-экономическим параметрам и при обязательном условии использования лучших современных материалов и лучших конструкций (применение холоднопрокатной стали для сердечников, встроенной коммутационной аппаратуры и т. п.). Такие трансформаторы окажутся возможным подвешивать непосредственно на одиночные столбы опор высоковольтных линий, не прибегая к сооружению специальных трансформаторных пунктов, стоимость которых составляет в настоящее время значительную часть от затрат по сооружению сетей. Трансформаторные пункты старого типа не могут быть оправданы для однофазных трансформаторов малых мощностей. Очевидно, что номинальное напряжение однофазных трансформаторов существенно сказывается на экономике применения их. В настоящее время перед электропромышленностью поставлена задача изготовления таких трансформаторов для применения в трехфазных сетях 6 и 10 кВ.

В связи с ростом мощностей сельских электростанций и объединением их в местные энергосистемы становится очевидной необходимость перехода на более высокие напряжения. Экономические преимущества смешанной системы могут быть полностью сохранены при применении напряжения 17,5 кВ с глухозаземленной нейтралью при включении однофазных трансформаторов 10 кВ между фазой и землей.

Вопрос об экономическом напряжении высоковольтных сетей для сельской электрификации нельзя решать в отрыве от рассмотрения типа распределительных трансформаторов и экономики низковольтных сетей.

Мы считаем, что если для промышленности вопрос о напряжении 20 кВ решится отрицательно, для сельских сетей этот вопрос может и должен решаться самостоятельно. При этом подлежит рассмотрению также вопрос о том, какому из напряжений — 17,5 или 20 кВ следует отдать предпочтение. При составлении в настоящее время схем электрификации сельского хозяйства отдельные области выявляются объемом строительства высоковольтных сетей порядка до 10 000 км на область, что для всей страны составляет сотни тысяч километров и во много раз превышает масштабы строительства высоковольтных сетей этих напряжений в других областях народного хозяйства.

### Инж. А. П. ЗЛАТКОВСКИЙ

Главсельэлектро

Не возражая против вывода авторов о напряжении 66 и 154 кВ, мы считаем необходимым с точки зрения интересов сельской электрификации категорически настаивать на обязательном введении в шкалу напряжения, промежуточного между 10 и 35 кВ.

Если разобрать пример электрификации сельскохозяйственного района, то легко прийти к убеждению о значительных технических и экономических преимуществах промежуточного напряжения 20 кВ. Как известно, в настоящее время сельская электрификация переходит к широкому строительству межколхозных электростанций укрупненной мощности (200—1 000 кВт). Сельская электростанция мощностью 600—800 кВт с двумя агрегатами может обслужить обычно до 25—35 колхозов, расположенных на территории с радиусом в 25—30 км. Такая кар-

<sup>3</sup> А. Г. Захарин и И. А. Будзко. «Смешанная система распределения электроэнергии в сельскохозяйственных районах». Электричество, № 1, 1939.



тина характерна для большинства районов СССР. Практически радиус охвата потребителей от такой электростанции снижается до 15—20 км из-за невозможности передать электроэнергию с допустимыми потерями напряжения по стальным проводам, даже применяя напряжение 10 кВ вместо 6 кВ.

На рисунке приведена характерная схема электропитания части такого района от двухагрегатной гидроэлектростанции. Напряжение генераторов в соответствии с действующими стандартами принимается либо низкое (400 в), либо высокое (6300 в). Ввиду явной нецелесообразности и практической невозможности питания района электроэнергией генераторным напряжением, на станции устанавливаются повышающие трансформаторы на 10 или 35 кВ. Число отходящих фидеров такой станции составляет 3—4 с присоединенной мощностью на каждый фидер до 500 кВт. На схеме показано также распределение нагрузок одного из воздушных фидеров длиной в 32 км, а с ответвлениями—50 км. Потребители указаны в виде стрелок с сосредоточенной нагрузкой в среднем по 40 кВт. Для полевой нагрузки эта величина соответствует мощности одного электротрактора, а для сельских населенных пунктов мощность в 40 кВт условно означает сосредоточение в одной точке нагрузок колхозного населенного пункта в 100—120 дворов, питание которого фактически производится от двух-трех трансформаторных подстанций мощностью 10—20—30 кВА каждая.

Основным положением техники и экономики развития сельской электрификации является применение на воздушных линиях исключительно стальных проводов и максимальная экономия проводов из цветных металлов.

Если мы произведем расчет воздушной линии, допускающей максимальные потери напряжения в 10%, то убедимся, что на напряжение 10 кВ не может быть применено, так как на протяжении всех 32 км магистрали пришлось бы подвесить провода из меди сечением 16 мм<sup>2</sup> или из алюминия сечением 25 мм<sup>2</sup>. При напряжении 20 кВ результаты получаются другие (см. таблицу):

Участок	Длина, км	$\Sigma P$ , кВт	Коэффициент одновременноности K	Расчетное $P$ , кВт	Провода	Потери напряжения на 1 км, %	Потери напряжения на участке, %
AB	10	480	0,7	336	Ж-35	0,45	4,5
BC	6	360	0,8	288	Ж-35	0,4	2,4
CD	6	240	0,85	204	Ж-35	0,25	1,5
DE	5	120	0,9	108	Ж-35	0,12	0,6
EK	2	80	0,95	76	Ж-35	0,1	0,2
KM	3	40	1,0	40	Ж-35	0,03	0,1

Всего . . . | 9,3

Из таблицы видно, что при суммарной потере напряжения в 9,3%, на протяжении всей линии возможно проложить стальной провод сечением 35 мм<sup>2</sup>. Таким образом, в данном случае вполне очевидны преимущества введения более высокого напряжения, чем 10 кВ.

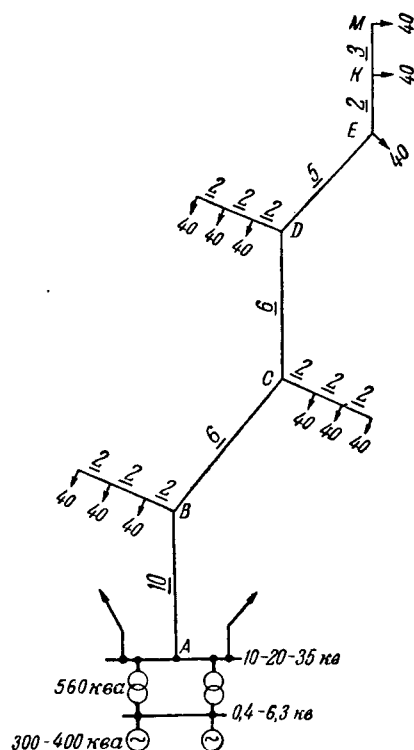
Далее возникает вопрос, почему нельзя обойтись во всех случаях стандартным напряжением 35 кВ и вовсе не применять 20 кВ?

На этот вопрос мы можем ответить следующее:

1. Минимальная мощность силовых трансформаторов с напряжением 35 кВ составляет по ГОСТ 50 кВА; по данным электромашиностроительных заводов дальнейшее снижение минимальной мощности таких трансформаторов нецелесообразно из-за конструктивных соображений.

Для сельских электрических установок наиболее ходовые мощности потребительских трехфазных трансформаторов составляют 20 и 30 кВА.

2. Трансформаторы 20 кВ по своим габаритам не будут намного отличаться от трансформаторов 10 кВ, так как трансформаторные заводы выпускали до сих пор трансформаторы 10 кВ с расчетом на верхний предел высшего напряжения в 20 кВ. Марка таких трансформаторов раньше имела наименование не ТМ-10, а ТМ-20. Это говорит о том, что при введении в шкалу напряжения 20 кВ трансформаторные заводы быстро осваивают выпуск силовых трансформаторов 20/0,4 кВ, причем габариты



риты и вес таких трансформаторов будут близки к трансформаторам 10/0,4 кВ.

3. Единственным распространенным типом трансформаторных подстанций в сельском хозяйстве является мачтовая открытая подстанция с расположением трансформатора на площадке на высоте 4—5 м. Поднимать на такую высоту тяжелые трансформаторы 35 кВ чрезвычайно затруднительно, а сравнение весов дает следующие цифры: трансформатор мощностью 50 кВА с высшим напряжением 10 или 20 кВ весит с маслом 730 кг. Аналогичный трансформатор той же мощности с высшим напряжением 35 кВ весит 1040 кг. Для мощности 100 кВА соответствующие цифры составляют: 1150 кг и 1400 кг. Практика показывает, что подъем трансформатора весом больше 1 т при обычной конструкции трансформаторных подстанций в сельских установках затруднителен.

Резюмируя сказанное и исходя из интересов сельской электрификации, следует рекомендовать ввести в шкалу стандартных напряжений напряжение в 20 кВ.

**Инж. Я. С. ТЕПЛИЦКИЙ**

Главселелектро

Обоснование экономически целесообразной шкалы стандартных напряжений в диапазоне 10—220 кВ базируется авторами статьи на плотностях нагрузки, не характерных для сельскохозяйственных электрических сетей (5—30 кВт/км<sup>2</sup>). Также не учитываются специфические особенности сельской электрификации с применением местных энергетических систем, связывающих несколько гидроэлектростанций и тепловых электростанций малой и средней мощности в радиусе 20—40 км.

Соединительные линии электропередач между гэс и тэс местной энергосистемы при напряжении 10 кВ обычно получаются из цветного металла сечением порядка 50 мм<sup>2</sup> и выше. В этом случае, несомненно, более рациональным является переход на более высокое напряжение, а именно 17,5 или 20 кВ, что резко снижает расход на цветные провода и дает возможность использовать их как распределительные фидеры, питающие «по пути» сельские подстанции мощностью 10—50 кВА.



Применение напряжения 17,5 или 20 кВ для сельских распределительных сетей с плотностью нагрузки 1—2 кВт/км<sup>2</sup> дает возможность при относительно легких сетях, применяя преимущественно стальные провода, увеличить радиус энергоснабжения от сельских гзс и тэс до 35—40 км без промежуточных трансформаторных подстанций 35/10 кВ, которые потребовались бы при применении напряжения 10 кВ.

Это подтверждается опытом эксплуатации линий электропередач 15—20 кВ в районе Корсунь-Шевченковской гзс, на сельских гидростанциях Армянской ССР, в Калининградской области и в наших прибалтийских республиках.

В настоящее время во всех республиках, краях и областях составляются генеральные схемы сельской электрификации. Анализ поступающих материалов с мест показывает, что вследствие отсутствия промежуточного напряжения между 10 и 35 кВ приходится устанавливать большое количество промежуточных трансформаторных подстанций 35/10 кВ.

При разработке генеральной схемы сельской электрификации Украинской ССР произведены весьма интересные подсчеты выбора экономического радиуса для линий электропередач на 6—10—20 и 35 кВ при разных плотностях нагрузки для проводов из цветного металла и стальных разных сечений. Из этих подсчетов видно, что напряжение 20 кВ является совершенно необходимым при осуществлении сплошной электрификации сельского хозяйства.

Таким образом, с выводами авторов статьи об отсутствии необходимости введения в шкалу напряжений 20 кВ нельзя согласиться. Эти выводы неприемлемы для сельской электрификации, с интересами которой при настоящем ее огромном размахе нельзя не считаться.

### Инж. А. И. ВАРДАЗАРЯН

Канакирская гзс

Отказ авторов от конкретных объектов при проведении исследования вопроса об экономически целесообразной шкале стандартных напряжений привел к теоретическому анализу на основе условных схем сетей с укрупненными данными. При этом авторы статьи совершенно не учитывали многообразия структур энергетических систем страны. В результате принятая авторами статьи в основу анализа условная энергетическая система весьма далека от действительности, в связи с чем и выводы могут оказаться неверными.

В качестве примера можно указать на особенности систем, расположенных в высокогорных районах. Основное отличие линий электропередачи, проходящих по горным местностям, от равнинных заключается в том, что в то время, как километровая стоимость линий на равнине по всей длине одинакова, для горных линий получается совершенно иная картина.

При рассмотрении вопросов, связанных со стоимостью линий и подстанций, расположенных на больших высотах над уровнем моря, приходится учитывать также меняющийся рельеф, различные категории грунта, характерные для горных трасс, тяжелые метеорологические условия, отдаленность от железных и шоссе дорог и т. д.

Можно привести случай, когда для одной подстанции, расположенной в горной местности, стоимость транспортировки силового трансформатора 110 кВ мощностью 15 000 кВА превысила втрое стоимость самого трансформатора.

Следующим спорным пунктом в рассматриваемой статье является принятие авторами статьи лишь одной величины себестоимости электроэнергии при сравнении различных вариантов сети. Общая сумма эксплуатационных расходов складывается из постоянной величины и переменной, представляющей стоимость потерянной энергии. В зависимости от стоимости этой энергии будет меняться общая величина эксплуатационных расходов при неизменных условиях системы. Таким образом, для истинного суждения об экономичности того или иного варианта сети необходимо произвести определение эксплуатационных расходов, принимая в качестве исходных данных

несколько значений стоимости 1 кВтч потерянной энергии. Принятая авторами статьи для всех случаев средняя себестоимость потерянной энергии в 7 коп. за 1 кВтч является ошибочной и ведущей к сопоставлению несравнимых величин, в связи с чем и некоторые выводы могут быть ошибочными.

Недостаточно убедительны выводы авторов в отношении нецелесообразности применения напряжения 66 кВ, что объясняется искусственностью принятого метода исследования сети, расположенной на площади 10 000 км<sup>2</sup>. Возможно, при другой величине района результаты были бы иные.

Непонятны выводы авторов из сравнения стоимости сети 154 кВ с сетью 110 кВ. Получив при сравнительных расчетах данные, что капитальные затраты при сети 154 кВ возрастают на 10—25%, а эксплуатационные расходы снижаются на 8—10%, авторы делают вывод, что дополнительные капитальные затраты вследствие этого окупятся в течение 1—3 лет. Здесь очевидное недоразумение, так как подобный вывод мог быть справедливым, если бы стоимость эксплуатационных расходов была равна стоимости капитальных работ, что вряд ли возможно.

### Инж. Д. Б. ДАВИДЯН

Арменэнерго

Следует приветствовать начинание редакции журнала «Электричество», выдвинувшей данную актуальную тему на обсуждение.

Метод подсчета, приведенный в статье, несколько искусственный, также искусственны и сами выводы. Не учтен ряд сетей, хотя и маломощных, но многочисленных и развитых, как, например: сельские сети, сети строительства железнодорожных узлов, рабочих поселков, некоторые виды маломощных промышленных сетей предприятий стройматериалов.

Специального внимания заслуживают сети в горных и особенно высокогорных районах СССР. В этих условиях находятся Закавказские республики, Северный Кавказ, Средне-Азиатские республики и ряд районов Дальнего Востока. Удельный вес этих районов достаточно велик, чтобы ими пренебрегать.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации высокогорных сетей Армении привел нас к нескольким выводам о целесообразной шкале стандартных напряжений. Причина этого лежит в ряде особенностей высокогорных сетей, которые предъявляют свои специфические требования как к конструкции сетей, так и к величине напряжения.

Отметки этих трасс обычно выше 1 000 м над уровнем моря, а в ряде случаев достигают 2 500—3 000 м. Изоляция электрооборудования, как известно, согласно ОСТ рассчитана для использования на высотах до 1 000 м. Естественно, что на более высоких отметках условия работы изоляции, да и сети в целом значительно утяжеляются. С отметкой местности связан также эффект короны и величина потерь на корону для напряжений 110 кВ и выше. Топографические и геологические условия трассы в узвязке с напряжением сети определяют экономический пролет, тип и материал опор, протяженность и тип дорог и общие технико-экономические условия сооружения и эксплуатации этих сетей. При этом, естественно, чем ниже напряжение, тем проще сеть. Поэтому напряжение 20 кВ может конкурировать с 35 кВ. Плотность нагрузки на 1 км<sup>2</sup> территории в высокогорных условиях значительно меньше, чем в равнинных, поэтому длины этих сетей получаются сравнительно короче, а нагрузки меньше.

Проведенное на ряде примеров сравнение сетей 20 и 35 кВ приводит к выводу о выгодности напряжения 20 кВ, причем экономия составляет величину порядка 25%. В пользу этого напряжения говорит также фактическая картина сети 20 кВ в Армении. Намечаемый перевод сети 20 кВ Ереванского района (и только Ереванского района) на 35 кВ объясняется значительной протяженностью ее и доминирующей промышленной нагрузкой, которая сильно возросла и вышла вообще за рамки напряжения 20 кВ. Вся остальная сеть Армении не требует

перевода на 35 кВ и с успехом работает при 20 кВ с большим запасом по падению напряжения.

Проведенные нами сравнительные расчеты для сетей небольшой протяженности и средних мощностей подтвердили целесообразность 60 кВ по сравнению со 110 кВ, при этом достигается экономия порядка 20%. В условиях высокогорных сетей решающим при этом сравнении оказывается эффект короны. Сечения проводов, полученные для линии передачи 110 кВ даже на самых низких отметках местности, не удовлетворяют по короне, тогда как при 60 кВ не только этот вопрос решается благополучно, но и конструкция самой линии получается проще. Применение же в этом случае напряжения 35 кВ невозможно по пропускной мощности. Эти расчеты показали, что напряжение 60 кВ есть единственно возможное там, где 110 кВ неприменимо по условиям короны (потребуется увеличение сечения проводов в 3—4 раза), а 35 кВ неприемлемо по пропускной мощности (потребуется 3—4 цепи).

## Проф. П. Г. ГРУДИНСКИЙ

Московский энергетический институт им. Молотова

Отказ от включения напряжения 20 кВ в стандарт должен быть пересмотрен. При росте мощностей и расстояний передачи электрической энергии на определенном напряжении должен наступить предел, после которого становится выгодным перейти к следующей ступени напряжения. Если эти ступени отстоят так далеко друг от друга, как это имеет место в существующей шкале между 10 и 35 кВ, то можно ожидать, что в каком-то интервале мощностей и расстояний, зависящем от закона изменения стоимостей оборудования и линий, введение промежуточного напряжения 17,5—20 кВ даст положительные результаты. Такое предположение тем более вероятно, что при переходе к напряжению 35 кВ наступают глубокие качественные изменения в системе распределения энергии: неизбежно появление повышающей трансформации и в большем числе случаев невозможно построить питательные и распределительные сети на одном и том же напряжении. При напряжении же 20 кВ возможно применение генераторов с напряжением 20 кВ и сооружение распределительной кабельной сети такого же напряжения, так как кабели 20 кВ изготавливаются, начиная с сечений в 25 мм<sup>2</sup>, а при напряжении 35 кВ, начиная с сечений 70 мм<sup>2</sup>.

В статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского, разбужающей вопрос об установлении новых рациональных напряжений, для напряжения 20 кВ не находится области, где применение таких напряжений оказалось бы рентабельным. Такой вывод заставляет внимательно проанализировать методы сравнения вариантов и широту охвата области исследования. К сожалению, в статье первому вопросу мало отведено внимания, вследствие чего пришлось обратиться к основной работе тех же авторов, послужившей материалом для статьи в журнале. Эта работа имеется в библиотеках МЭИ и Министерства электростанций.

При экономическом сопоставлении выгодности различных вариантов большое влияние на результаты может оказать метод приведения одновременных затрат к ежегодным расходам, так как авторы вполне правильно считают критерием выгодности варианта — минимум последних. Из материалов основной работы можно видеть, что величина процентных отчислений, принимаемая в расчетах, соответствует норме амортизационных отчислений для кабельных сетей принята авторами в размере от 6 до 6,5%. Этот метод сравнения следует признать вполне правильным. Принятие завышенной нормы под видом «коэффициента эффективности», как это делалось в некоторых исследованиях, находится в противоречии с принципами социалистического хозяйства и влечет за собой искажение сравнения, поскольку в ценах, служащих для определения эксплуатационных расходов, такой коэффициент не включен.

В статье указывается, что потери энергии оценивались, исходя из стоимости 1 кВтч в 7 коп. Если принять,

что потери должны оцениваться по себестоимости, причем во всяком случае должны быть покрыты стоимость топливной составляющей и амортизационные отчисления от стоимости установленного киловатта, исходя из использования максимума потерь, то при средней величине топливной составляющей в 4 коп. за 1 кВтч (в ценах того времени, к которому относится дискутируемая статья) 7 коп. за 1 кВтч может быть принято при нагрузках, имеющих продолжительность использования не менее 6 000 час. (стоимость установленного 1 кВт принимается в 1 500 руб., а размер амортизационных отчислений в 9%). При коммунальной же нагрузке с продолжительностью использования в 4 000 час. стоимость потерь следует исчислять не ниже 9—10 коп. за 1 кВтч. В основной работе авторов подсчеты произведены для разной стоимости потерь, в том числе и для 10 коп. за 1 кВтч.

Отсюда можно прийти к заключению, что методика сравнения, принятая авторами, правильная, а имеющиеся в работе данные позволяют произвести анализ при различной стоимости энергии.

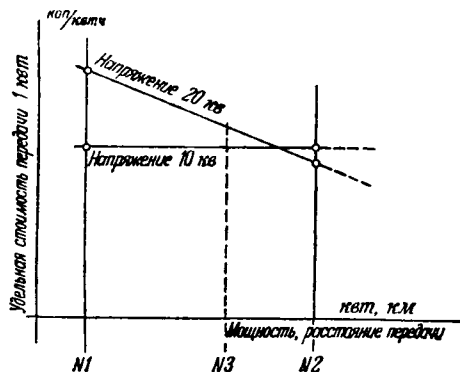
Необходимо признать, что в отношении широты охвата сетей в отношении исследования рациональности применения напряжений 66 и 154 кВ сомнений не возникает. Однако, при анализе выгодности применения напряжения 20 кВ авторы, повидимому, ограничились рассмотрением очень небольшой области относительно невысоких нагрузок и не обратили внимания на некоторые тенденции, намечающиеся даже при ограниченном числе точек, захваченных исследованием. Для примера приведем выдержку из основной работы авторов о результатах сравнения вариантов кабельных сетей 10; 20 и 35 кВ. Кабельные сети выбраны потому, что именно здесь лежит область наиболее выгоднейшего применения напряжения 20 кВ. В таблице 4 приведены соответствующие цифры. Напомним, что объект № 1 имеет максимум нагрузки в 5 500 кВт, а объект № 2—13 500 кВт.

Сопоставление вариантов электроснабжения заводов кабельными линиями напряжений 10; 20 и 35 кВ

Наименование статей расходов	Объект № 1		Объект № 2		
	10 кВ	20 кВ	10 кВ	20 кВ	35 кВ
Общая сумма первоначальных затрат, тыс. руб. . . . .	479	735	1 462	1 419	2 017
Стоимость потерь энергии в год тыс. руб. при 6 коп. за 1 кВтч . .	34,7	63,2	211,2	208,4	284,0
Суммарные годовые расходы, тыс. руб. . . .	69,3	116,8	232,3	228	318,4

Примечание. Цифры таблицы взяты из табл. 12 основной работы авторов.

Сопоставление цифр таблицы может привести к выводу, что применение напряжения 20 кВ, явно невыгодное для кабельной сети предприятия с максимумом нагрузки в 5 500 кВт, становится почти рентабельным для предприятия с нагрузкой 13 500 кВт даже при очень низкой цене потерь энергии, принятой в таблице в 6 коп. за 1 кВт. Можно предполагать, что для предприятий большей мощности применение 20 кВ даст значительно большие выгоды и окажется исключительно рентабельным. При нагрузке в 13 500 кВт по мощности достаточно двух нормальных фидеров напряжением 20 кВ; из условий же сети этого числа недостаточно. Напряжение 20 кВ пригодно при больших расстояниях; в расчетах же принято это расстояние в 1 км. У нас существует очень много предприятий, где нагрузка кабельных сетей превосходит в несколько раз принятую в расчетах авторов, питаются эти предприятия при помощи многих удвоенных фидеров напряжением 10 кВ. Имеются и сооружаются предприятия с нагрузкой выше 100 000 кВт, питающиеся кабельными сетями от своей станции на напряжении 35 кВ, причем распределительная сеть в некоторых случаях имеет напряжение 10 кВ, т. е. введено две лишних трансформации. Можно с уверенностью предположить, что для пред-



приятный такого типа зависимость выгодности напряжения от мощности имела бы характер, показанный на рисунке пунктиром. На этом рисунке нанесены стоимости передачи, отнесенные к 1 квтч при напряжении 10 и 20 кВ, в зависимости от мощности и расстояния, и показаны результаты сравнения для объектов № 1 и № 2.

Аналогичное предположение возникает и при рассмотрении результатов выгодности применения напряжения 20 кВ для кабельной сети города с чисто коммунальной нагрузкой. Суммарная нагрузка города принята в 23 300 квтч, что опять-таки мало для того, чтобы оправдать переход на напряжение 20 кВ. Однако, и в этих неблагоприятных условиях при стоимости потерь энергии в 10 коп за 1 квтч ежегодные расходы при напряжении 20 кВ получаются всего на 5% выше, но потери энергии на 12% ниже, чем при варианте 10 кВ (табл. 18 основной работы). Соответствующие точки нанесены на диаграмме под обозначением № 3. Следует заметить, что городов, в которых не было бы промышленности, в нашей стране практически не будет, ведь 200 000 населения должны быть заняты. Анализировать же каждый вид нагрузки в отдельности неправильно, так как для каждой отдельной нагрузки напряжение 20 кВ может оказаться нерентабельным, а для всей системы будет выгодным. Следовало бы выбрать конкретный пример относительно мощной сети промышленного предприятия и города и для них провести сравнение, как это сделано при анализе выгодности напряжения 154 кВ применительно к конкретной системе.

Преимущества 20 кВ по отношению к 10 кВ состоят в том, что при напряжении 20 кВ число кабелей уменьшается вдвое, а потери энергии в 2 раза, что дает выгоды при большом числе кабелей и мощных потоках энергии. Преимущества 20 кВ по сравнению с 35 кВ состоят в том, что можно избежать одной, а во многих случаях двух трансформаций энергии и иметь питательную и распределительную сети одного напряжения. Надеяться, что удастся построить генераторы на напряжение 35 кВ, пока нет оснований. Такие генераторы можно было бы выполнить при заземлении нейтрали 35 кВ, но это решение означало бы введение новой ступени, очень близкой к существующей.

Следует отметить, что все оборудование, необходимое для напряжения 20 кВ, заводами освоено и, следовательно, не может идти речи о трудностях освоения нового производства.

Отдавая должное большой и важной работе, проведенной А. А. Глазуновым и С. А. Геликонским, и признавая их методику в основном правильной, а выводы в отношении напряжений 66 и 154 кВ и для воздушных сетей 20 кВ убедительными и обоснованными, нельзя не высказать сомнения в том, что примеры для проверки выгодности напряжения 20 кВ для кабельных сетей, питающихся от местных станций, выбраны ими удачно. Следовало бы проверить целесообразность применения этого напряжения для промышленных предприятий большей мощности и для реальных городов, где тэц одновременно питают мощные промышленные установки и коммунальных потребителей.

До производства дополнительного исследования вопрос об отказе от применения напряжения 20 кВ не следует считать решенным.

## Кандидат техн. наук К. А. СМЕРНОВ

Министерство электростанций

Выводы в статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского о целесообразности введения в ГОСТ напряжений 154 кВ и нецелесообразности введения в ГОСТ напряжения 22 кВ не вызывают сомнений. Выводы же этой статьи, касающиеся напряжения 66 кВ, кажутся нам справедливыми.

В статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского сравнение напряжений 66 и 110 кВ произведено для района площадью 10 000 км<sup>2</sup>. При этом установлено, что напряжение 66 кВ становится выгодным лишь при малой плотности нагрузки. При плотности нагрузки 2,5 квтч на км<sup>2</sup> эксплуатационные расходы при напряжении 66 кВ на 7–9% ниже, чем при 110 кВ. Эти исследования для оценки целесообразности применения напряжения 66 кВ кажутся нам совершенно недостаточными. Представим себе меньший район с площадью, например, 50×50 км и с нагрузкой 25 000 квтч, т. е. 10 квтч на 1 км<sup>2</sup>. Напряжение 110 кВ станет менее выгодным в связи с меньшей дальностью передачи энергии и выгодность напряжения 66 кВ превысит упомянутые 7–9%. Таким образом, выгодность напряжения 66 кВ попадает в зону значительно больших плотностей нагрузки.

При дальнейшем уменьшении электрифицируемого района, питающегося от одной электростанции, напряжение 66 кВ будет выгодным до тех пор, пока расстояния передачи энергии станут настолько малыми, что более выгодным станет уже напряжение 35 кВ. Мы получим, таким образом, целую область выгодности напряжения 66 кВ по сравнению с соседними напряжениями 110 и 35 кВ, причем эта область будет весьма значительной. Плотности нагрузки в ней будут соответствовать не только сельскохозяйственным районам, но и промышленным и городским районам.

Отметим еще, что утверждение А. А. Глазунова и С. А. Геликонского о том, что электрификацию сельского хозяйства нельзя базировать на крупных электростанциях, нам кажется недостаточно основательным. Сооружение большого числа мелких электростанций вместо одной крупной обойдется значительно дороже, потребует значительно большего количества квалифицированного персонала и не позволит достигнуть высокой экономичности. Кроме того, если сооружение мелких станций не будет диктоваться соображениями использования местных энергетических ресурсов или не будет стоять вопрос об использовании городских теплофикационных станций или промышленных станций, то энергоснабжение сельскохозяйственных районов будет целесообразно осуществлять на базе питания от существующих электрических систем Советского Союза или на базе создания новых энергетических систем, охватывающих данный район и имеющих, как правило, крупные электростанции. В этих случаях напряжение 66 кВ будет существенно выгоднее, чем напряжение 110 кВ, как это непосредственно следует из материалов статьи А. А. Глазунова и С. А. Геликонского.

При выборе напряжения для электрификации заданного района следует в первую очередь исходить из учета с наивысшим напряжением сетей, которые имеются в этом районе или намечаются для него в дальнейшем. Если данный район будет питаться от сети 220 кВ или сеть 220 кВ будет основной для намечаемой к созданию в этом районе энергосистемы, то предстоит выбирать промежуточные напряжения между напряжениями 220 и 110 кВ.

Как известно, в подобном случае целесообразно иметь лишь одно промежуточное напряжение, в данном случае 35, 66 или 110 кВ, причем применение промежуточного напряжения близко к высшему или низшему нецелесообразно. В наиболее благоприятном положении оказывается напряжение 66 кВ, для которого отношение напряжений  $\frac{220}{66} = 3,3$ ;  $\frac{66}{10} = 6,6$ . Поэтому можем считать, что в данном случае наивыгоднейшим напряжением будет напряжение 66 кВ.

Таким образом, мы приходим к выводу, что в целом ряде типичных случаев напряжение 66 кВ, несомненно,

выгоднее, чем напряжение 110 или 35 кВ. К таким случаям относятся: питание сельскохозяйственных районов от относительно крупных электростанций, питание промышленных и городских районов в энергосистемах, в которых плотность нагрузки еще недостаточна для эффективного применения напряжения 110 кВ, и, наконец, электрификация районов в системах, где основной сетью является сеть 220 кВ.

Необходимо отметить, что в ряде энергосистем Союза напряжение 66 кВ уже имеется. Поэтому изготовление оборудования и аппаратуры 66 кВ на наших заводах все равно должно быть освоено.

Приведенные соображения показывают, что следует рекомендовать ввести напряжение 66 кВ в шкалу стандартных напряжений.

## Кандидат техн. наук М. И. ЦЕЙТЛИН

Академия коммунального хозяйства им. Памфилова

К выбору напряжения городских сетей нельзя подходить, как к функции одной какой-либо переменной величины. Попытки обосновать выбор напряжения городской сети на основе только технико-экономических соображений оказываются в конкретных условиях города абсолютно непригодными.

Анализируя отвлеченный теоретический город с определенной нагрузкой, как это сделано авторами, можно найти для заданного типа города определенное оптимальное напряжение, наиболее соответствующее заданным условиям. В этом смысле возможно даже теоретически построить кривую оптимальных напряжений, как функцию, например, плотности электропотребления, как это и делается в ряде исследований. Однако, каков практический смысл этих исследований? Возможно ли, например, серьезно говорить о напряжении сети, как функции плотности нагрузок?

В действительности, напряжение выбирается один раз; при первоначальном сооружении сети или при восстановлении разрушенной. Во всех остальных случаях приходится иметь дело с существующей сетью, которую нужно систематически расширять и приспособлять к растущим потребностям города.

В условиях СССР, развитие городов, их территории, рост их благоустройства и, в соответствии с этим, электропотребления — являются процессами непрерывными. Оно совершенно отлично от положения в городах капиталистических стран. Может ли при таких условиях напряжение сети являться функцией плотности электропотребления? Это значило бы, что каждые 5—10 лет, а может быть и чаще напряжение сети пришлось бы менять, но отсюда не вытекает, что этот вопрос может быть совершенно снят с обсуждения. В пределах существующей шкалы напряжений для городской сети в качестве распределительного напряжения получили широкое применение напряжения 6 и 10 кВ. Анализ, проведенный нами, показал, что для средних городов в 100—200 тыс. жителей для нагрузок в пределах 10—20 тыс. кВА эти напряжения обеспечивают вполне удовлетворительные условия распределения электроэнергии в технико-экономическом отношении. В этом смысле эти выводы в известной мере совпадают с выводами обсуждаемой статьи.

В пределах упомянутых нагрузок развитие сети при существующем напряжении может происходить путем систематического приспособления ее схемы к растущим потребностям города. Существенным моментом в данном случае является количество фидерных пунктов, которое должно возрастать с ростом нагрузок и территории города. При дальнейшем возрастании нагрузок города за пределами названных цифр и при росте самого города и его населения до 300 тыс. жителей и выше существующее напряжение распределительной сети 6 или 10 кВ оказывается уже явно недостаточным. Можно ли в таком случае ставить вопрос о переходе на другое напряжение 15 или 20 кВ, как это иногда предлагается? Вряд ли придется доказывать как нецелесообразность, так и просто же неосуществимость такого предложения.

Дальнейшее развитие сети в таких случаях должно идти за счет внедрения третьего звена сети — линии высо-

кого напряжения 35 кВ и подстанций 35/6 или 35/10 кВ, как распределительных пунктов для сети 6 или 10 кВ, которые в этом случае претерпевают минимальные изменения. Таким образом, система двух напряжений преобразовывается в систему трех напряжений, систему наиболее соответствующую условиям городов СССР. При этой системе рост нагрузок обеспечивается развитием 35-кВ сети с сооружением новых 35-кВ подстанций при сохранении существующей распределительной сети 6 или 10 кВ. Отсюда следует, что вопрос о введении промежуточного напряжения 15—20 кВ для городских электрических сетей не вызывается необходимостью.

## Инж. А. Б. КРИКУНЧИК

Теплоэлектропроект Министерства электростанций

При исследовании вопроса о шкале напряжений авторы допустили следующие методологические ошибки, которые не могли не сказаться на правильности результатов:

а) В изученных условных схемах сети проведено жесткое разделение на основные сети и распределительные сети, и для каждой из этих категорий сетей определялось наименьшее напряжение. Между тем, при различных напряжениях основной сети не может быть целесообразной одна и та же ее схема и различной будет грань между основной и распределительной сетью.

б) Минимальная мощность трансформаторов будет различной для каждого из рассматриваемых напряжений: чем меньше рассматриваемое напряжение, тем меньше будет минимальная мощность трансформаторов, а это дает возможность во многих случаях иметь две ступени напряжений вместо трех.

в) При рассмотрении вопроса о городских сетях рассматривается условно город на 200 тыс. жителей. При этом питание электроэнергией промышленных объектов не учитывается, что нельзя считать правильным, так как питание промышленных объектов в свою очередь будет влиять на рациональное решение вопросов городской сети.

г) Еще большую ошибку авторы допускают, распространяя выводы, полученные при изучении нагрузок условного города, на более крупные города, указывая, что от этого не должно получиться принципиально иного решения. Авторы упускают из виду, что количественное изменение в данном случае неизбежно должно привести к качественно иным решениям и по-разному будет решаться вопрос о выборе напряжения сети для городов с населением 200 тыс. жителей, 600—700 тыс. жителей и 3—4 млн. жителей.

д) Авторы указывают, что в результате их исследований наиболее выгодным является для городских сетей применение напряжения 10 кВ. Между тем, развитие сетей таких городов, как Харьков, Киев, Свердловск, не говоря уже об опыте более крупных городов (Москва и Ленинград) показывает, что для рационального построения сети совершенно неизбежно появление системы более высокого напряжения.

е) В работе не рассмотрен вопрос о выборе напряжения для городских и заводских сетей, имеющих исторически сложившуюся сеть с напряжением 6 кВ, для которых рост нагрузок ставит вопрос о следующей, более высокой ступени напряжения.

В дальнейшем отдельно по каждому напряжению мы постараемся показать, в чем правильны и в чем неправильны выводы авторов статьи.

Опыт проектирования сетей показал, что там, где имеются развитые сети 110 кВ, внедрение напряжения 150 кВ не является целесообразным. Попытки применить на отдельных участках напряжение 150 кВ в развитых сетях Донбасса и Урала показали невыгодность этого мероприятия. Расчеты показали, что для обоих рассматриваемых случаев выгодным оказалось при дальнейшем росте нагрузок вводить напряжение 220 кВ.

Напряжение 150 кВ помимо развития существующей системы (Днепроэнерго) может найти применение в новых районах в случае сооружения в относительно корот-

кий срок электрических станций большой мощности и распределения значительных мощностей (учитывая минимальное сечение линии 150 кв по условию потерь на корону 120 мм<sup>2</sup>) на относительно небольшие расстояния. В отдельных частных случаях напряжение 150 кв может найти применение и при передаче на большие расстояния относительно небольших мощностей, для условий, когда применение напряжения 220 кв не может быть оправдано ввиду чрезмерно больших затрат, а напряжение 110 кв не проходит по условиям регулирования напряжения и потерь энергии в линии.

Выводы авторов о целесообразности введения в стандарт напряжения 62 кв нельзя признать обоснованными, хотя бы потому, что сами авторы указывают, что при малых плотностях нагрузок—2—3 квт/км<sup>2</sup>—напряжение 62 кв оказалось выгоднее для основной сети, чем 110 кв.

Если учесть то, что при напряжении 62 кв можно применять меньшие мощности трансформаторов, чем при 110 кв, т. е. с напряжением 62 кв можно ближе подойти к потребителю, чем при напряжении 110 кв, то следует считать плотность нагрузок, при которой напряжение 62 кв будет выгоднее, значительно более высокой. Такие небольшие нагрузки могут иметь место не только в сельскохозяйственных районах, но и при питании от районной станции городов с малоразвитой промышленностью, когда по каждому радиальному направлению передается мощность порядка 6—7 тыс. квт на расстояние 60—90 км.

Такое положение имеет место в одной южной системе, в которой электрические станции, расположенные в одном узле, питают несколько городов с малоразвитой промышленностью. Для этой системы напряжение 62 кв оказалось выгоднее, чем 110 кв, напряжение же 35 кв не подходит по условиям потерь напряжения и потерь энергии.

Так как на линиях 110 кв сечение провода по условиям потерь на корону не может быть принято менее 70 мм<sup>2</sup>, то переход на напряжение 62 кв в некоторых случаях не только не увеличит сечение провода, но позволит их даже уменьшить. При этом получаются более дешевые линии передачи и более дешевые подстанции.

Напряжение 62 кв очень целесообразно как напряжение, сопутствующее напряжению 150 кв в системах с основным напряжением 150 кв. Напряжение 110 кв в этом случае нецелесообразно применять, так как оно очень близко к основному напряжению. Применение же следующего за напряжением 150 кв напряжения 35 кв приводит часто к очень тяжелым решениям и в результате к большому числу подстанций 150 кв. В некоторых случаях приходится сооружать линию 150 кв там, где можно было бы обойтись линиями 62 кв, а сеть линии 35 кв утяжеляется, причем во многих случаях испытываются серьезные затруднения с регулированием напряжения в сетях 35 кв.

Для городской сети с применением генераторов, питающих непосредственно кабельную сеть высокого напряжения без повышающих трансформаторов, может оказаться более оправданным напряжение 20 кв, чем 35 кв. При напряжении 20 кв у генераторов могут быть обмотки обычного типа, между тем изготовление генераторов на напряжение 35 кв требует специальной конструкции обмоток и особой технологии.

Следует также учитывать то, что у нас имеются довольно мощные системы, работающие на напряжении 20 кв (Баку, Грозный, Куйбышев, Рига). Из-за того, что напряжение 20 кв не рекомендовалось стандартом, считалось, что это напряжение является временным и сети подлежат переустройству на напряжение 35 кв. Все оборудование, которое вновь устанавливается в этих сетях, выбирается на напряжение 35 кв. Практически же переход на напряжение 35 кв связан с такими большими затратами, большим объемом работы и огромными трудностями в эксплуатации, что сети с напряжением 20 кв будут эксплуатироваться еще многие годы. Так как многие виды оборудования производятся на напряжение 20 кв (кабели, выключатели, измерительные трансформаторы напряжения, изоляторы, разъединители), то установка во всех случаях в сетях 20 кв оборудования на напряжение 35 кв приводит лишь к неоправданным затратам.

Экономическая выгодность того или иного напряже-

ния для определенных условий передачи и распределения электроэнергии зависит от техники сооружения подстанций и линий электропередач. Такие факторы, как улучшение оборудования подстанций путем замены выключателей плавкими предохранителями большой разрывной мощности или разъединителями при магистральных feedерах, или применение специальных проводов малого сечения при относительно большом диаметре, имеющих высокую механическую прочность (сталь—обмедненные провода, полые медные провода малого сечения, сталеалюминиевые провода специальных марок), позволяющие строить относительно дешевые линии электропередачи высоких напряжений, могут сделать экономически выгодным применение более высокого напряжения для условий, для которых в настоящее время это не является выгодным.

Если ограничение видов оборудования по шкале напряжений и имело оправдание в прежние годы, то в настоящее время, с ростом нашей электропромышленности, следует считать возможным в ближайшее время обеспечить выпуск всех видов оборудования на напряжения 15 и 62 кв.

Напряжение 15 кв следует исключить из всех действующих стандартов: ОСТ 721-41 на номинальные напряжения, ГОСТ 689-41 на разъединители высоковольтные, ГОСТ 1983-43 на трансформаторы и напряжения, ОСТ Эл4-40 на трансформаторы тока и ГОСТ 687-41 на выключатели высоковольтные.

Напряжение 15 кв было введено в стандарт для турбинных генераторов 100 тыс. квт. Между тем, это не могло служить основанием для введения в стандарт нового напряжения. Не вводят же в стандарт номинальное напряжение 13,8 кв, хотя число работающих генераторов с таким напряжением у нас значительно больше, чем генераторов на напряжение 15 кв. Генераторы, работающие в блоке с трансформаторами, могут и не иметь стандартные напряжения, так как для них рациональнее выбирать наивыгоднейшие по конструктивным соображениям напряжения. Генераторы, имеющие напряжение выше 10 кв, могут быть обеспечены (равно как и немногие сети на напряжение 15 кв, не имеющие будущего) аппаратурой на номинальное напряжение 20 кв. Измерительные трансформаторы напряжения и трансформаторы собственных нужд для этих генераторов будут выполняться с изоляцией класса 20 кв с нестандартным изготовлением обмоток.

Таким образом, экономически целесообразная шкала стандартных напряжений в диапазоне 10—220 кв должна быть следующей: 10, 20, 35, 62, 110, 150 и 220 кв.

**Доктор техн. наук, проф.**

**М. Д. КАМЕНСКИЙ**

*Ленинградский политехнический институт им. Калинина*

В статье А. А. Глазунова и С. А. Геликонского, напечатанной в 1946 г. (Электричество, № 7), авторы высказали предположение о том, что применение напряжения 20 кв окажется экономически целесообразным. Ориентальный вывод, к которому они теперь пришли в вопросе о применении напряжения 20 кв, а также 166 кв, становится тем самым особенно убедительным. С этим выводом можно полностью согласиться; расчеты конкретных сетевых установок, проводившиеся за последние годы в Ленинграде, показали те же результаты, а и расчеты авторов, несмотря на то, что схемы электроснабжения, принятые ими для анализа, были, несомненно, несколько условного вида.

Выводы авторов о необходимости введения в стандарт напряжения 154 кв вполне правильны и подтверждались уже неоднократно расчетами реальных линий передач и высоковольтных сетей энергосистем. То обстоятельство, что напряжение 154 кв до сих пор не является стандартным, часто вынуждало строить почти одновременно линии и сети и на 110 кв и на 220 кв, в результате чего значительно увеличивались первоначальные затраты и ухудшались, часто значительно, экономические показатели этих линий и сетей при их эксплуатации. Следует особенно подчеркнуть, что отмечается и автор

ин, что при 154 кВ как питательные, так и распределительные сети оказываются сетями одного напряжения. Согласно выводам авторов, напряжение 20 кВ неприемлемо и для снабжения городов; напряжение 10 кВ по указанию авторов является более целесообразным для вновь сооружаемых городских сетей. С этим выводом также можно согласиться; необходимо, однако, обратить внимание на то, что и введение 10 кВ может оказаться также верациональным в тех частях больших городов, где имеются разветвленные большие сети 6 кВ, питающие крупные промышленные предприятия. Данный вопрос подробно рассматривался в мае 1948 г. на Всесоюзной научно-технической сессии ВНИТОЭ по городским электрическим сетям (см. Труды сессии).

Из других вопросов, затронутых в статье, следует остановиться на величинах удельных показателей нагрузок для ряда районов рассматриваемого в статье города, имеющего 200 тыс. жителей. Нагрузки на одного жителя следует признать вполне приемлемыми для города, в котором отсутствует снабжение газом. Правильно, что авторы дают все показатели именно для момента максимальной нагрузки. Эти показатели, отнесенные к максимуму нагрузки, могут быть установлены опытным путем в действующих системах, что позволяет сравнивать их между собой.

Очень жаль, что авторы не указывают числа трансформаторных пунктов в каждом из районов города. Эти данные желательно знать для того, чтобы иметь возможность добавочной проверки существующих сейчас методов определения наивыгоднейшего числа питательных пунктов при сильно изменившихся удельных нагрузках и изменении конфигурации городских сетей в городах нового типа.

### Доктор техн. наук, проф. А. А. ГЛАЗУНОВ и инж. С. А. ГЕЛИКОНСКИЙ

Дискуссия, развернувшаяся по нашей статье, показывает, что вопрос о шкале стандартных напряжений имеет исключительно большое значение и интересует инженерную общественность Советского Союза. Приходится пожалеть, что по данному вопросу почти не имеется работ, серьезно обосновывающих необходимость введения новых стандартных напряжений. Авторы надеются, что их статья послужит поводом к дальнейшей разработке этого крайне сложного и важного вопроса.

Обращаясь к материалам дискуссии, авторы считают необходимым отметить следующее:

1. Ряд инженеров указывает, что принятая для исследования условная схема расположения нагрузок не охватывает возможные действительные условия, соответствующие реальным электрическим системам. Выбор квадрата с равномерно распределенной нагрузкой определялся желанием взять наименее благоприятные условия для сетей более высоких напряжений. Расположение нагрузок в прямоугольнике, кольце и т. п., а не в квадрате (или круге) увеличивает среднюю длину передачи энергии, что приведет к улучшению показателей сетей более высоких напряжений, т. е. преимущество сетей 35 и 110 кВ будет в этих случаях еще большими по сравнению с сетями 20 и 66 кВ.

Установление шкалы стандартных напряжений на основе расчетов конкретных примеров авторы считают нецелесообразным, поскольку этот метод даст только частное, но не общее решение вопроса.

2. А. Б. Крикунчик указывает, что нами допущен ряд методологических ошибок. Эти замечания основаны, по видимому, на недоразумении, вызванном кратким изложением работы в журнале. Первой ошибкой он считает независимое рассмотрение основной и распределительной сетей при определении наивыгоднейшего напряжения. В действительности для каждого напряжения основной и распределительной сетей устанавливалось экономически целесообразное число подстанций и тем самым протяженность каждой из сетей. Кроме того, при одном напряжении основной сети вторичные сети рассматривались в разных вариантах по напряжениям и схемам. Подвергался изучению также вариант глубокого ввода основной сети к потребителям.

Ошибкой он считает и распространение выводов, полученных для города с числом жителей 200 тыс. на город с 600 тыс.—4 млн. жителей. Авторы не имели в виду делать такое распространение. Для городов с числом жителей порядка 1 млн. и выше вопрос о напряжении придется решать отдельно для каждого города. Полученные выводы мы считаем возможным распространить на города с числом населения до 300—350 тыс. чел.

3. Ряд инженеров высказывается за целесообразность введения в шкалу напряжения 66 кВ, мотивируя, что при меньших плотностях нагрузки или в горных местностях это напряжение окажется экономически выгодным. К сожалению, они не дают никаких цифровых показателей, оперируя только общими соображениями. В первую очередь напомним, что длительное время у нас разрешалось строить установки с напряжением 66 кВ, причем получение оборудования на это напряжение не встречало препятствий. Однако, многократные проектные проверки не подтвердили целесообразность его применения, и у нас нет ни одной установки, построенной на напряжение 66 кВ за последние 30 лет. Наоборот, имевшуюся передачу 66 кВ перестроили на напряжение 110 кВ.

Некоторые считают, что напряжение 66 кВ будет выгодно из-за того, что при нем по условиям короны могут быть взяты провода меньших сечений, чем при 110 кВ. С этим доводом согласиться нельзя, так как задача эта может быть решена выпуском специальных типов проводов, что практически не усложнит работу кабельной промышленности. Вопрос о расширении номенклатуры выпускаемых проводов для воздушных линий давно уже назрел.

Указания, что при меньших плотностях нагрузок напряжение 66 кВ окажется выгодным, не может считаться убедительным, поскольку это напряжение становится экономичным только при плотностях нагрузок 2—3 кВт/км<sup>2</sup>, соответствующих электрификации сельскохозяйственных районов. Специалисты в этой области не высказываются за это напряжение.

Очевидно, что всегда можно найти условия, когда выгодно применить нестандартное напряжение. Однако, вопрос о стандартных напряжениях не может решаться на основании отдельных частных случаев, а должен решаться, ориентируясь на наиболее часто встречающиеся условия.

Соображения, что напряжение 66 кВ является наиболее подходящим для распределительной сети при первичной сети 154 кВ, хотя и имеет под собой некоторые основания, но по нашему мнению на современном этапе развития электрификации страны введение этого напряжения нецелесообразно. К широкому развитию вторичных сетей при напряжении первичной сети 154 кВ можно будет обратиться после широкого внедрения напряжения 154 кВ. Введение в стандарт напряжения 66 кВ отразится на производственных возможностях электропромышленности, которой придется осваивать одновременно выпуск изделий на два новых напряжения 66 и 154 кВ. Кроме того, представляется, что упрощение схем подстанций и систем, разработка и внедрение новых типов аппаратов даст значительное снижение стоимости подстанций с первичным напряжением 154 кВ по сравнению со стоимостью, принимаемой в настоящее время.

Установка трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой и широкое внедрение в наши сети устройств, улучшающих коэффициент мощности, резко повысят пропускную способность и дальность передачи сетей 35 кВ. Необходимо подчеркнуть, что широкое внедрение регулируемых трансформаторов и устройств для повышения коэффициента мощности системы диктуется народнохозяйственными интересами, не связанными со шкалой стандартных напряжений. Указанные мероприятия по мнению авторов приведут к тому, что сеть 154/35 кВ будет экономически равноценной или даже более целесообразной, чем сеть 154/66 кВ. Отметим, что глубокие вводы напряжения 66 кВ потребуют значительно больше затрат, чем напряжения 35 кВ, что приведет во многих случаях к дополнительной трансформации.

4. Наибольшее количество возражений встретило предложение отказаться от введения в шкалу стандартных напряжений напряжения 20 кВ. В статье было показано, что при мощностях заводов порядка до 15 тыс. кат при



питании от собственной тэц выгодно применение напряжения 10 кв. На более крупных заводах нам представляется целесообразным переходить на напряжение 35 кв, а не 20 кв. При современном положении напряжение 35 кв при питании от собственной тэц очень часто оказывается невыгодным из-за больших потерь энергии в повысительных трансформаторах. Эти потери энергии связаны с относительно низким к. п. д. трансформаторов; так, например, трансформатор с первичным напряжением 38,5 кв мощностью 10 тыс. квт имеет суммарные потери мощности 1,21%. Повышение к. п. д. трансформаторов за счет применения лучшей стали и увеличения сечения меди резко снизит потери энергии в них. Улучшение к. п. д. трансформаторов даст большие преимущества не только для рассматриваемого случая электроснабжения, но и для всего народного хозяйства. Нельзя строить шкалу стандартных напряжений на основе существующих трансформаторов, при которых экономически целесообразнее устанавливать трансформаторы большей мощности, чем требуется по нагрузке. Эти соображения заставляют нас считать, что правильное решение электроснабжения крупных заводов заключается не в введении напряжения 20 кв, а в повышении к. п. д. трансформаторов.

Замечания относительно целесообразности введения напряжения 20 кв для электрификации сельскохозяйственных районов представляются нам недостаточно убедительными. Одним из основных расходов при электрификации сельского хозяйства являются расходы на соору-

жение сети. Высоковольтная сеть 35 кв при достаточной протяженности ее, если она будет выполнена со штыревыми изоляторами, должна стоить меньше, чем сеть 20 кв. При малой относительно протяженности целесообразнее применить напряжение 10 кв. Современная тенденция характерна укрупнением мощности электростанций сельскохозяйственного назначения: не так давно сооружались станции мощностью, не превышающей несколько десятков киловатт; теперь же предполагается сооружение станций мощностью 200—1 000 квт. Но экономичность сооружения таких станций, а не большей мощности, не доказана; укрупнение станций даст более правильное решение; при укрупнении станций напряжение 35 кв явится более экономичным чем 20 кв.

А. П. Златковский указывает, что трансформаторы 10 и 20 кв мало отличаются друг от друга по выполнению и габаритам. Поэтому, казалось бы, что и при напряжении 35 кв может быть использована смешанная система распределения энергии с применением однофазных трансформаторов 20 кв. Целесообразность дробления мощности трансформаторов до величин, намечаемых для проведения электрификации селений, вызывает сомнение. Сочетание с усовершенствованными типами проводов, например обмедненными, должно привести к установке более крупных трансформаторов и к более экономичному решению. Применение усовершенствованных типов проводов позволит значительно повысить и радиус действия сетей с напряжением 10 кв.

#### ОТ РЕДАКЦИИ

Дискуссия показала актуальность рассмотренных в статье вопросов. Ряд опубликованных замечаний заслуживает внимания. К их числу относится, например, предложение о введении в шкалу номинальных напряжений 20 и 60 кв. Так, при проведении электрификации сельского хозяйства не исключена целесообразность применения для многих установок напряжения 20 кв. В ряде случаев, когда высшим напряжением сетей является 154 или 220 кв, напряжение 60 кв может оказаться более выгодным, чем напряжение 35 или 110 кв.

Желательно проведение дополнительных исследований, результаты которых, вместе с необходимыми обоснованиями, следует направлять Министерству электростанций для использования в проводимой им работе по составлению проекта Общесоюзного стандарта шкалы номинальных напряжений.



## К заметке Ю. Л. Мукосеева „Устаревший стандарт тормозит развитие электрохозяйства страны“

(Электричество, № 6, 1948)

Ю. Л. Мукосеев предлагает изготавливать трехфазные короткозамкнутые электродвигатели на напряжение 660/380 в с тем, чтобы эти двигатели работали в треугольнике и питались от трансформаторов с напряжением вторичной обмотки, также соединенной в треугольник, 400 в (в дальнейшем предусматривается возможность пересоединения вторичных обмоток этих трансформаторов и соответственно статорных обмоток электродвигателей в звезду). Свое предложение он мотивирует, главным образом, невозможностью пуска короткозамкнутых электродвигателей 380/220 в помощью переключения со звезды на треугольник, в распространенной теперь системе 380/220 в.

Предложение автора заметки представляется нам нецелесообразным по следующим причинам:

1. В начале второго этапа пуска короткозамкнутого двигателя переключением со звезды на треугольник (когда двигатель включается на треугольник) амплитуда тока в зависимости от взаимоположения соответствующих полюсов статора и ротора может оказаться значительно большей, чем при непосредственном пуске. Таким образом, нет оснований считать, что при пуске двигателя переключением со звезды на треугольник динамическая устойчивость как пускаемого электродвигателя, так и питающего трансформатора окажется большей, чем при непосредственном пуске.

2. Даже при небольшом статическом моменте продолжительность пуска короткозамкнутого двигателя, пускаемого помощью переключателя со звезды на треугольник, столь возрастает по сравнению с непосредственным пуском, что количество тепла, выделяемого при пуске в двигателе, сети или питающем трансформаторе, также возрастает. Например, если статический момент (постоянный)

составляет 25% от эффективного пускового момента двигателя, то продолжительность пуска увеличивается в  $\frac{1-0,250}{0,333-0,250} = 9,1$  раза. Таким образом, и термическая устойчивость системы большей частью окажется значительно меньшей, чем при непосредственном пуске.

Преимущества пуска короткозамкнутого двигателя помощью переключателя со звезды на треугольник перед непосредственным пуском могут иметь место при круто падающей внешней характеристике питающего генератора (например, мелкие генераторы сельскохозяйственных электростанций), однако и в этом случае более целесообразна форсировка возбуждения генератора во время пуска двигателя (например, путем применения трансформатора стабилизатора в схеме питания возбуждения генератора через селеновый выпрямитель).

3. Предлагаемый автором заметки трансформатор с вторичным напряжением 400 в (или в дальнейшем 690/400 в) не позволит осуществить совместное питание ламп и электродвигателей, что существенно усложнит коммутацию подстанций (особенно разукрупненных).

4. Применение (в дальнейшем) столь высокого напряжения, как 690/400 в, для двигателей, имеющих массовое распространение в цехах, по соображениям безопасности эксплуатации вряд ли целесообразно.

Таким образом, предложение Ю. Л. Мукосеева представляется нам неприемлемым. Замечание же его о целесообразности прекращения выпуска электродвигателей на 220/127 в возражений не вызывает.

Кандидат техн. наук, доц. Л. И. СТОЛОВ  
Казань



## О пусковом органе фильтровой высокочастотной защиты

По просьбе Технического отдела Министерства электростанций СССР редакция журнала считает необходимым опубликовать следующее.

Управление по изобретениям и открытиям Государственного комитета по внедрению передовой техники в народное хозяйство произвело уточнение текста авторского свидетельства, выданного Г. И. Атабекову и Я. М. Смородинскому на изобретение по заявке № 40817 от 23 января 1941 г., ограничив отличительные особенности приспособления, описанного в данной заявке, использованием ее авторами в системе трех реле—реле, реагирующего на скорость изменения электрических величин. Таким образом, ссылка на эту заявку в статье Г. И. Атабекова и Я. М. Смородинского (Электричество, № 1, 1946, стр. 58,

сноска 2) не действительна в части, касающейся использования реле, реагирующего на симметричные составляющие тока или напряжения отрицательной последовательности. Эта ссылка сохраняет свою силу только в отношении реле, реагирующего на скорость изменения электрических величин.

Реле, реагирующее на отрицательные составляющие тока или напряжения, использованное в пусковом органе фильтровой высокочастотной защиты применительно к схемам блокировки защиты от качаний, впервые было предложено инж. А. Б. Барзеном, который получил авторское свидетельство в 1938 г. за № 61423.





## О приборе для проверки конденсаторов, предложенном В. М. Лукашом

(Электричество, № 10, 1948)

В автореферате В. М. Лукаша описана оригинальная схема сравнения емкостей на высокой частоте. Устройство состоит из генератора, настраивающегося в резонанс с собственной частотой колебаний пьезокварцевой пластинки (100 кгц) при помощи образцового переменного конденсатора и электронного индикатора настройки. Прибор В. М. Лукаша предназначен для измерения емкости при одном фиксированном значении частоты. Сейчас назрел вопрос о выпуске аппаратуры для измерения емкости в диапазоне частот. Известно, что емкость конденсатора с твердым диэлектриком зависит от частоты. Конденсаторы с воздушной изоляцией, хотя и в меньшей степени, также подвержены этому влиянию, которым не представляется возможным пренебречь при частотах, превышающих примерно 2—5 мгц. Для воздушного конденсатора емкостью 150 мкмкф при 50 мгц погрешность имеет порядок 50%. Следовательно, измерение емкости должно производиться на той частоте, на которой данный конденсатор будет применяться.

Измерение емкости при звуковой частоте (800—1 000 гц) выполняется более просто и требует меньших предосторожностей, чем измерение при радиочастоте. При

этом, вопреки содержащемуся в автореферате В. М. Лукаша утверждению, мостовые схемы дают хорошую чувствительность, значительно превышающую указываемую в обсуждаемой работе величину —  $\pm 0,1$  мкмкф.

Отметим еще, что нестабильность нулевого положения шкалы, свойственная прибору В. М. Лукаша, затрудняет пользование им. Лучшие результаты дает *настройка на возникновение колебаний в пьезокварцевом генераторе*. При этом способе достигается чувствительность порядка  $\pm 0,01$  мкмкф.

Для измерения емкости в широком диапазоне радиочастот подходят резонансные методы с замещением неизвестной величины образцовой.

Для подобного прибора следует разработать образцовый переменный конденсатор специальной конструкции с минимальной частотной зависимостью.

Из изложенного выше следует, что схема, предложенная В. М. Лукашом, имеет весьма ограниченную область применения.

Инж. А. И. ФЮРСТЕНБЕРГ



### КОНФЕРЕНЦИЯ ЧИТАТЕЛЕЙ ЖУРНАЛА „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

*В Ленинграде состоится во вторник, 21 июня 1949 г., в 19 час. в клубе Ленэнерго (Марсово поле, д. № 1).*

*Редакция журнала и Правление ВНИТОЭ приглашают читателей журнала „Электричество“ г. Ленинграда и Ленинградской области принять активное участие в работе читательской конференции.*

## День радио — 7 мая

По славной традиции День радио—7 мая широко отмечался в 1949 г. по всей стране торжественными заседаниями советской общественности, работой научных сессий, посвященных актуальным вопросам радиотехники, состязаниями радиолюбителей—мастеров дальней связи и т. д. Всесоюзное научно-техническое общество радиотехники и электросвязи им. А. С. Попова, Министерство связи, Министерство промышленности средств связи и Комитет по радиофикации и радиовещанию при Совете Министров СССР организовали в Москве с 5 по 9 мая с. г. Всесоюзную научную сессию, посвященную празднованию Дня радио.

Особое внимание сессия уделила важнейшему вопросу—радиофикации села. Как известно, инициатива мероприятий по осуществлению сплошной радиофикации колхозов принадлежит московским организациям. Этот вопрос обсуждался на объединенном пленуме МК и МГК ВКП(б).

На пленарных заседаниях научной сессии 5 и 9 мая были заслушаны доклады: А. А. Северова (Центральное управление радиофикации) «Основные задачи радиофикации села на ближайшие годы»; В. Н. Можжевельова (МПСС) «Радио промышленности и сельская радиофикация»; доктора техн. наук И. Е. Горона «О работе секции радиовещания по вопросу радиофикации села»; и доктора техн. наук В. Л. Крейцера «Новое телевизионное оборудование Московского телевизионного центра».

На сессии работа проводилась в девяти секциях: радиовещания, радионизмерений, радиометодов, радиопередающих устройств, радиоприемных устройств, телевидения, электроакустики и звукозаписи, электромагнитных колебаний, проводной связи.

В секции телевидения были обсуждены доклады: И. С. Азарха «Многопрограммное вещание несущими частотами по проводам»; В. Н. Догадина «Технико-экономический анализ основных методов радиофикации села»; и др.

В секции радиовещания были обсуждены доклады: В. Казанского «Вопросы измерения характеристики импульсных напряжений»; М. А. Быкова «Измерение малых емкостей и индуктивностей и постоянных времени активных сопротивлений»; Г. Д. Бурдуна «Измерение диэлектрических проницаемостей и диэлектрических потерь твердых диэлектриков на сантиметровых волнах» и др.

В секции радиометодов Б. П. Терентьев, С. И.

Фридлянд, А. Н. Мазин, А. В. Краснов представили доклады, посвященные сушке древесины и керамических изделий токами высокой частоты.

В секции радиопередающих устройств А. Ф. Гикис выступил с сообщением «К вопросу расчета цепей, питающих многофазные выпрямители»; М. Г. Марголин представил «Анализ лампового генератора как идеального генератора тока».

В секции радиоприемных устройств были заслушаны доклады: П. А. Фоменко «Защитные дроссели»; В. А. Плотнокова и Ф. Д. Плотноковой «Варисторы на основе карборунда и возможности их применения в технике проводной и радиосвязи» и др.

В секции телевидения были обсуждены доклады: В. К. Кенигсона «Пути упрощения телевизионного приемника»; М. И. Кривошеева «Методы электрических испытаний иконоскопов» и др.

В секции электроакустики и звукозаписи были заслушаны сообщения: А. С. Шейна «Пьезо-электрический генератор тока звуковой частоты»; А. Ф. Векленко «Ближайшие перспективы повышения качества звукопроизведения в кинематографии» и др.

В секции электромагнитных колебаний Г. В. Кисунько выступил с сообщением «О волноводных уравнениях»; Г. Н. Рапопорт сделал доклад на тему «Устойчивость синхронизации двух генераторов при электромагнитной волновой связи». В секции проводной связи В. М. Штейн и Л. Я. Баннет представили доклад о приборе для скоростного симметрирования кабеля; О. П. Галкина—«О графоаналитическом методе последовательного приближения расчета двухполосников, содержащих активное сопротивление».

В Москве День радио был отмечен советской общественностью на торжественном заседании в Колонном зале Дома союзов, в котором участвовали ученые, изобретатели, работники радиопромышленности, радиовещания, связи, представители Советской Армии, радиолюбители и др.

С докладом о Дне радио выступил министр связи СССР Н. Д. Псурцев.

После доклада состоялось торжественное вручение диплома лауреата золотой медали имени А. С. Попова академику Б. А. Введенскому.

С огромным подъемом участники торжественного заседания послали приветственное письмо товарищу И. В. Сталину.

## Академик Б. А. Введенский

### К присуждению золотой медали имени А. С. Попова

5 мая 1949 г. Президиум Академии наук СССР по представлению Всесоюзного совета по радиофизике и радиотехнике присудил золотую медаль имени А. С. Попова академику Борису Алексеевичу Введенскому—одному из выдающихся советских радиофизиков.

Золотая медаль имени А. С. Попова учреждена правительством СССР 2 мая 1945 г. в связи с 50-летием со дня изобретения радио и в целях увековечения памяти изобретателя радио Александра Степановича Попова. По конкурсу 1948 г. первая медаль была присуждена В. П. Вологдину (Электричество, № 7, 1948).

Кандидатура Б. А. Введенского была выдвинута для участия в конкурсе 1949 г. на соискание золотой медали имени А. С. Попова многими научными учреждениями, министерствами, высшими учебными заведениями и научно-исследовательскими институтами, которые в своих обращениях в Президиум Академии наук дали высокую оценку деятельности Б. А. Введенского в области радиофизики и радиотехники и охарактеризовали его научные работы как имеющие крупнейшее значение для развития советской теоретической и практической радиотехники.

Б. А. Введенский родился в Москве 20 апреля 1893 г. В 1915 г. он окончил Московский университет по специальности «физика». Еще в университете Б. А. Введенский начал работать в физической лаборатории, и затем в течение более 30 лет его научная, педагогическая, исследовательская и изобретательская деятельность была посвящена физике и радиотехнике. Ему принадлежит ряд виднейших работ в области теоретической и практической радиотехники, в частности приоритет освоения ультракоротких радиоволн и приоритет установления законов распространения ультракоротких радиоволн на близких расстояниях. Формулы, выведенные Б. А. Введенским и известные под названием «отражательных», являются классическими.

В 1933—1935 гг. Б. А. Введенский предложил решение вопроса о дифракционном распространении радиоволн вокруг земного шара. Этой работой Б. А. Введенский на много опередил зарубежных ученых.

Научная и общественная деятельность Б. А. Введенского сыграла важнейшую роль в развитии советской радиофизики. Его работы имели не только теоретическое и практическое значение; они содействовали внедрению новых научных идей в технику и способствовали увеличению обороноспособности Советского государства.

Б. А. Введенскому принадлежит свыше 100 печатных трудов по вопросам радиофизики и радиотехники.

В 1934 г. Борису Алексеевичу была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук, и он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. В 1943 г. Б. А. Введенский был утвержден действительным членом Академии наук СССР.

Борис Алексеевич Введенский—член Президиума Академии наук СССР и академик-секретарь отделения технических наук АН СССР. Б. А. Введенский является редактором научного журнала «Известия Академии наук СССР, отделение технических наук».

В 1945 г. Б. А. Введенский за многолетнюю научную работу в области радиотехники, за крупные достижения в изучении ультракоротких радиоволн и за успешное руководство секцией электросвязи Академии наук СССР награжден орденом Ленина.

Присуждение академику Б. А. Введенскому золотой медали имени А. С. Попова с горячим сочувствием встретила вся радиотехническая и электротехническая общность страны.

Д. Р.



## Конференция по вопросам эксплуатации трамвайных вагонов нового типа

В марте 1949 г. в Москве закончилась конференция по вопросам эксплуатации двухосных трамвайных вагонов нового типа серий КТМ-1 и КТМ-1, выпускаемых Усть-Катавским заводом им. Кирова. Конференция была организована Министерством коммунального хозяйства РСФСР. В работе конференции участвовали главные инженеры трамвайных предприятий ряда городов.

Открывая конференцию, инж. К. К. Клопотов (Главтрамвай Министерства коммунального хозяйства РСФСР) указал, что организация производства трамвайных вагонов нового типа основана на совершенно новых конструктивных принципах. Задачей конференции является подведение первых итогов опытной эксплуатации вагонов нового типа, обладающих рядом бесспорных положительных сторонами также рядом конструктивных и технологических недостатков. Тщательное наблюдение за эксплуатацией новых вагонов в ряде городов позволило выявить эти недостатки, которые должны быть изучены для выработки конструктивных изменений, а также изменений в технологии производства. В результате работы конференции вопрос о серийном выпуске промышленностью стандартного двухосного трамвайного вагона должен быть окончательно решен.

Инж. Г. А. Лучай (Технический отдел Главтрамвая) и инж. С. М. Крамер (Усть-Катавский завод) отметили, что временно вагоны нового типа оборудуются кулачковыми восьмипозиционными контроллерами типа МТ-1-А, а в ближайшее время намечается переход на предусмотренные проектом двенадцатипозиционные контроллеры ти-

па МТ-11-А. На опытном вагоне, эксплуатируемом в Москве, установлен быстроходный тяговый двигатель типа ДК-253-Б; на всех последующих вагонах устанавливаются тяговые двигатели типа ДК-254-А, отличительной особенностью которых является выполнение остова двигателя из цельнотянутой трубки, тогда как остов тягового двигателя ДК-253-Б был выполнен из стального литья.

В прениях приняли участие С. И. Григорьев (Алма-Ата), М. Е. Ягудин (Куйбышев), А. Г. Давлетян (Ереван), Б. Е. Ханин (Ростов-на-Дону), В. И. Коробков (Москва), А. А. Лопырев (Горький), Г. Р. Тепфер (Молотов), В. И. Вильман (Саратов), Г. А. Карнацев (Витебск), Г. И. Васильев (Академия коммунального хозяйства) и др.

Кандидат техн. наук В. А. Изъюров (Академия коммунального хозяйства) отметил низкую энерговооруженность вагона нового типа (5 квт/т вместо желательных 12 квт/т), указал на значительный вес вагона (12,5 т) и рекомендовал введение рельсовых электромагнитных тормозов при серийном изготовлении вагонов этого типа.

Инж. Г. П. Луидин (Госплан СССР) признал целесообразность созыва аналогичного совещания при Госплане.

На основе прений были выработаны конкретные предложения, направленные к улучшению производства вагонов нового типа, а также ряд предложений, содержащих требования к промышленности.

Инж. А. Г. Файн



# Всесоюзный электротехнический институт им. Ленина

## ДИССЕРТАЦИИ

В Ученом совете ВЭИ защищены следующие диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук за период с марта по октябрь 1948 г.:

**Р. С. Кузнецов** защитил 23 марта 1948 г. диссертацию на тему «Разработка методов расчета защитных характеристик плавких предохранителей». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Я. Буйлов, кандидат техн. наук А. М. Мелькумов.

Упрощены существующие и даны новые методы расчета защитных характеристик предохранителей с плавкими вставками постоянного сечения, а также разработана методика расчета для случая, когда плавкие вставки имеют непостоянное сечение. Рассмотрены предохранители с плавкой вставкой постоянного сечения в воздушной среде с патроном и без него, предохранители с плавкой вставкой непостоянного сечения из листового материала в воздушной среде с патроном и без него и предохранители с плавкой вставкой в виде проволоки круглого сечения в твердой среде.

**С. И. Дженчельская** защитила 23 марта 1948 г. диссертацию на тему «Высокополимерные соединения как газогенерирующие материалы». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. С. Петров, доктор техн. наук, проф. И. П. Лосев, кандидат техн. наук А. А. Берлин.

Установлена зависимость между химическим составом и строением высокополимерных соединений и их дугогасящими свойствами, разработана методика и установлен качественный и количественный составы газов, выделяющихся при действии дуги на дугогасящие материалы. Путем исследования образцов различных высокополимерных соединений на газогенерирующую способность выбраны материалы, обладающие лучшими дугогасящими свойствами. Исследованы физико-механические, диэлектрические и дугогасящие свойства смол, рекомендованных в качестве газогенерирующих материалов для изготовления дугогасительных камер разъединителей мощности и выключателей.

**Н. М. Чернышев** защитил 25 мая 1948 г. диссертацию на тему «Эквивалентная схема для испытания мощных высоковольтных аппаратов на отключающую способность». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. И. Сиротинский, доктор техн. наук, проф. Д. А. Городский.

Дан краткий обзор существующих методов испытания выключающей аппаратуры на отключающую способность. Рассмотрены эквивалентные схемы, в которых отключаемый ток получается от одного источника питания, а восстанавливающееся напряжение — от другого (так называемые синтетические испытания). Особое внимание уделено вопросу синхронизации работы цепей тока и восстанавливающегося напряжения. Предложено новое синхронизирующее устройство, работа которого основана на предположении, что в достаточно малом интервале времени кривая, выражающая закон изменения тока во времени, с достаточной точностью может быть заменена прямой. Построена эквивалентная схема, в которой в качестве источника восстанавливающегося напряжения используется ударный контур.

**И. А. Полетаев** защитил 25 мая 1948 г. диссертацию на тему «Исследование самопроизвольного потухания газового разряда». Официальные оппоненты: доктор физ.-матем. наук, проф. В. Л. Грановский, доктор физ.-матем. наук, проф. Г. В. Сливак, доктор техн. наук, проф. И. Л. Каганов.

Исследованы причины самопроизвольного потухания разряда при понижении давления или увеличении тока нагрузки. Дан расчет параметров плазмы с учетом истинной формы в функции ионизации. Получен вывод о невозможности существования плазмы при давлениях ниже

некоторого предела. Для ряда газов вычислено предельное давление. Исследовано опытным путем распределение потенциала в области сужения сечения плазмы в ртутном разряде с помощью подвижного зонда. Экспериментально исследовано распределение плотности газа в объеме плазмы ртутного разряда низкого давления. Измерена величина продольного градиента давления в зависимости от тока дуги и давления газа. Приведено описание рациональной конструкции манжеты металлического ртутного выпрямителя, основанной на результатах работы.

**А. А. Сакович** защитил 22 июня 1948 г. диссертацию на тему «Исследование анодных материалов для ртутных вентилялей». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. И. Л. Каганов, кандидат техн. наук Р. А. Нилендер.

Изложены методы разносторонних исследований анодных материалов, обобщены результаты экспериментальных исследований и описаны разработанные и примененные для этой цели электрические схемы, аппаратура и приборы. Приведена методика и результаты испытаний по основному критерию — вероятности обратного зажигания для образцов с различными физико-химическими показателями. Изложена методика и даны результаты исследований распределения графита.

Описаны методы исследования электропной и ионной эмиссии, электронно-оптических исследований и разработанного на основе этих исследований метода предварительного отжига и обезгаживания графитовых анодных головок в производстве выпрямителей. Изложены результаты исследований стелей, применяемых в качестве анодного материала. Описана разработанная методика исследования анодных материалов в условиях реального вентиля и методика исследования состава газоотделения анодных и других материалов.

**С. А. Яманов** защитил 22 июня 1948 г. диссертацию на тему «Зависимость диэлектрических потерь от химического состава высокомолекулярных органических соединений». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. С. Петров, доктор физ.-матем. наук, проф. Г. И. Скандави, доктор техн. наук, проф. Н. Г. Дроздов.

Дан анализ работ по химическому составу, основным звеньям цепей и свойствам высокомолекулярных соединений, анализ работ по электрическим свойствам молекул органических веществ, их поляризации и дипольных моментов. Предложен метод графического расчета дипольных моментов органических высокополимерных веществ. Описана современная теория диэлектрических потерь, методы их измерения и аппаратура. Исследованы диэлектрические свойства 12 основных типов высокополимерных соединений гомологического ряда в зависимости от частоты, от температуры и влажности. Исследован ряд сополимеров, комплексных органических высокополимерных соединений, некоторых органических низкомолекулярных веществ и выведены частные и общие закономерности зависимости диэлектрических потерь от химического состава и структуры высокополимерных соединений.

**К. И. Забырина** защитила 12 октября 1948 г. диссертацию на тему «Эмалевая изоляция на поливинилацетатных смолах». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. И. П. Лосев, кандидат техн. наук, проф. В. А. Привезенцев, кандидат техн. наук В. И. Калитвянский.

Изложены результаты разработки нового вида проводниковой изоляции, отличающейся наряду с высокими электроизоляционными свойствами большой термической стабильностью, а также весьма высокой механической прочностью, позволяющей применить эти провода для обмоток статоров и роторов электрических машин без дополнительной обмотки шелковой или хлопчатобумажной пряжей.

Кандидат техн. наук **И. С. КУНЦ**



## Академик Г. О. Графтио

30 апреля 1949 г. скончался крупнейший инженер, ученый-энергетик и строитель ряда советских гидроэлектростанций академик Генрих Осипович Графтио.

Родился Генрих Осипович в г. Двинске 27 декабря 1869 г. в семье железнодорожного мастера-изобретателя, выставившего когда-то свои изобретения на Всемирной Парижской выставке.

Окончив физико-математический факультет Одесского университета, а затем Петербургский институт инженеров путей сообщения, Генрих Осипович не пожелал воспользоваться открывшейся для него возможностью относительно спокойной деятельности в качестве инженера-путейца. Его влекли иные, более широкие горизонты: он видел, что родина, несмотря на ее богатейшие естественные ресурсы, далеко отстала в культурном и экономическом отношении. Одной из главных причин этого отставания, как он хорошо представлял, было совершенно ничтожное производство и применение в прежней России электрической энергии. И Генрих Осипович стал работать как электротехник, изучая возможности использования энергии рек и применения ее для целей электрификации железных дорог и других отраслей народного хозяйства.

В 1907 г. Г. О. Графтио становится преподавателем Петербургского электротехнического института, где читает курсы использования гидроэнергии и электрификации железных дорог, одновременно ведя большую изыскательскую, проектную и строительную работу, к которой он широко привлекает своих товарищей и учеников по Электротехническому институту. В этот период Генрих Осипович строит несколько крупных по тому времени паротурбинных электрических станций (в Ярославле, Орехово-Зуеве, Петербурге) и Петербургский трамвай.

Но особой смелостью и широтой инженерных решений обращают на себя внимание его проекты того времени: гидростанций на реках Вуоксе, Волхове, на кавказских реках, электрификации железных дорог на различных участках (Карской линии Закавказских железных дорог и др.), метро в Петербурге и высоковольтных линий электропередачи. В проектах находят применение тогда еще только намечавшиеся и не утратившие по сей день своей актуальности тенденции в развитии электротехники. Однако в условиях царской России широкие проекты Г. О. Графтио не могли найти практического осуществления.

После Великой Октябрьской социалистической революции положение коренным образом изменилось: Графтио получает, по указанию самого В. И. Ленина, возможность приступить к реальному осуществлению своих замыслов. С 1918 г. он становится начальником и главным инженером Волховстроя. Когда по инициативе В. И. Ленина в феврале 1920 г. была создана Государственная комиссия по электрификации России, Г. О. Графтио вошел в состав ее первых основных и руководящих работников.

Советский народ, оценив патриота-ученого, избирает его в ЦИК СССР, членом которого он оставался в течение нескольких созывов.

В своей инженерной деятельности Генрих Осипович проявлял упорство и не страшился трудностей. После



Волховской он успешно заканчивает Нижне-Свирскую гЭС несмотря на чрезвычайно неблагоприятные геологические условия и отрицательные заключения многих иностранных специалистов, доказав тем самым широкие возможности практического использования многих равнинных рек со слабыми грунтами, и в первую очередь р. Волги.

Одновременно с постройкой гидростанций Генрих Осипович осуществляет свои смелые проекты строительства высоковольтных линий электропередачи и успешно строит первую в Советском Союзе высоковольтную линию электропередачи 220 кв. Свирь—Ленинград. Он предлагает много усилий для быстрого развития отечественной промышленности, изготовляющей доброкачественное, превосходящее иностранное, электроэнергетическое оборудование. При его участии создаются первые гидрогенераторы на заводе «Электросила» им. Кирова, гидротурбины на Ленинградском металлургическом заводе им. Сталина;

развиваются заводы «Электроаппарат», «Электропульт» и др.

Огромная организаторская и административная работа по строительству электростанций сочеталась у Г. О. Графтио с работой ученого, непосредственно связанного с практической жизнью. Когда Генриха Осиповича однажды спросили, почему у него мало печатных трудов, он ответил: «Я писал и много писал железом и бетоном». Отличное качество—характерная черта его работы. Этим качеством обладают образцово изданные по его инициативе и при его ближайшем участии и редакция «Материалы по сооружению Свирских гидроэлектрических станций», которые могут служить превосходным руководством по гидроэлектроэнергетике.

В последние годы, являясь главным инспектором гЭС Министерства электростанций, он все свои силы и знания отдавал оказанию непосредственной помощи восстановлению разрушенных фашистскими ордями электростанций и сооружений новых.

В 1932 г. Г. О. Графтио избирается действительным членом Академии наук СССР.

42 года работы связывают Генриха Осиповича Графтио с Ленинградским электротехническим институтом им. Ульянова (Ленина), где он был директором и работал до дня смерти, заведывая в последние годы кафедрой электростанций и руководя Комитетом содействия строительству института.

Правительство высоко оценило работу академика Г. О. Графтио, наградив его за постройку Волховской гЭС орденом Трудового Красного Знамени и за постройку Н.-Свирской гЭС орденом Ленина.

Особым правительственным постановлением Н.-Свирской гЭС присвоено имя академика Г. О. Графтио, а на Волховской гЭС устанавливается его бюст.

Советский народ сохранит светлую память о своем талантливом сыне, патриоте отечественной техники, крупнейшем инженере, ученом-энергетике и строителе первых советских гидроэлектростанций—академике Генрихе Осиповиче Графтио. Его ученикам и вновь начинающим молодым инженерам образ Генриха Осиповича послужит примером беззаветного служения нашей дорогой Советской Родине.

*Заслуженный деятель науки и техники,  
доктор техн.-наук, проф. С. А. РИНКЕВИЧ.*



А. Т. ГОЛОВАН. ЭЛЕКТРОПРИВОД. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ. 419 стр. ц. 19 р. 50 к. Госэнергоиздат, 1948

Изданный в качестве учебного пособия для студентов электротехнических специальностей труд проф. А. Т. Голована появляется через 12 лет после литографированного издания в МЭИ конспекта лекций того же автора под заглавием «Дополнительные главы по теории электропривода» (МЭИ, 1936 г.).

Появление каждого солидного печатного труда в этой еще недостаточно изученной области промышленного использования электроэнергии, которая в качестве самостоятельной научной дисциплины насчитывает не более четверти века, не может быть встречено иначе, как с чувством удовлетворения от завершения еще нового этапа в развитии отечественной науки.

Труд автора, профессора одной из ведущих кафедр электропривода, представляет интерес вдвойне, так как помимо личной творческой научной и методической работы автора в его труде неизбежно должна найтись отражение и коллективная работа кафедры. Действительно, имена сотрудников кафедры часто встречаются не только в списке использованной литературы, но и в ссылках в тексте. С этой точки зрения — отражения в книге творческого труда автора — естественно и начать рассмотрение ее.

Прежде всего хочется отметить особенно ценное качество — оригинальность построения книги в целом и содержания многих разделов ее, составляющую тем большую заслугу автора, что московская школа электропривода выступает с печатным учебным пособием четвертой по счету (после ЛЭТИ, ЛПИ и ХЭТИ). Заслуга эта в основном заключается в дальнейшем углублении теории электропривода путем математизации, в виде установления ряда новых или модификации прежних формул и методов расчета электропривода и далее — в попытках обобщения анализа многообразных вопросов электропривода, в особенности переходных процессов. В частности, особенно развит автором и даже выделен в отдельную (третью) главу анализ работы электропривода с пельтовыми двигателями, что надо признать вполне обоснованным и своевременным. Несмотря на наличие многочисленных работ по динамическому торможению асинхронных двигателей, автор дает свою методику построения механических характеристик. Много труда затрачено автором на модификацию и развитие анализа энергетики переходных процессов (в частности, в § 48). Все это составляет положительную сторону рассматриваемой книги и вполне оправдывает ее издание.

Переходя к оценке труда А. Т. Голована как учебного пособия, следует учесть современные требования к учебным пособиям, начиная с основного, общего для советской науки, научных дисциплин и учебников по ним, и именно содержания, отражающего современное состояние науки, и теснейшей неразрывной связи теории с практикой, и в конце прочими, многократно формулированными требованиями: «следует шире практиковать введение исторического очерка, уделяя особое внимание русской науке», основное внимание автора должно быть сосредоточено на методике изложения материала, «перед изложением математического решения важно описать физическую сущность явления», «особое значение имеет точность терминологии»... К сожалению, приходится признать, что в полной мере ни одно из этих требований автором не выполнено.

Труд А. Т. Голована отражает современное состояние науки об электроприводе не полностью, используя в основном труды научных работников Москвы и, главным образом, кафедры МЭИ. Даже чисто внешнего представ-

ления хотя бы по фотографии об электроприводе читатели из книги вынести не могут, несмотря на щедрую иллюстративную часть ее, так как из 309 рисунков 304 представляют схемы и характеристики электрических машин и нагрузки, а из остальных пяти рисунков (1 и 109—112) только последний дает схематическое изображение конвейера, но в таком своеобразном виде, что даже опытный человек не сумеет отличить направляющего ролика от двигателя.

Отрыв теории от ее практического применения опасен и в другом отношении: автор сам чувствует «сухость» учебника в задуманной им структуре, но ошибочно относит ее в предисловии за счет лаконичности изложения; в действительности же лаконичен он только при единичных, к сожалению, попытках физического объяснения результатов математического вывода, но никак не в теоретических рассуждениях.

Примером теоретизации и отрыва от практики является глава четвертая — о регулировании скорости, где после пяти страниц рассуждений о ее направлении и диапазоне и практически ненужной формулы (28.3) автор из всех многообразных способов регулирования останавливает свой выбор только на двух схемах. Такой важный вопрос, как соотношение мощности и момента при регулировании, автор в сущности обходит, так как ограничивается лишь указанием возможных соотношений, не объясняя их причины, т. е. не входя в физическую сущность вопроса. Правда, о регулировании автор говорит еще в трех местах книги, что является также недостатком методического характера, а именно, кроме главы четвертой, еще в главах второй и восьмой автор приводит две схемы (рис. 71,а и 71,б); почему первая схема называется «с постоянной мощностью», а вторая — «с постоянным моментом» остается неизвестным, так как в примечании автор сам признается, что обоснования таких «возможностей» можно найти в книге М. П. Костенко, «Электрические машины».

Рассматривая пуск шунтового двигателя на стр. 187 и взяв за основу вывод уравнения скорости со стр. 68 книги рецензента «Теория электропривода» (1938 г.), автор пренебрегает стоящим рядом уравнением моментов при пуске и занимается анализом только во времени, что имеет меньшую связь с электроприводом. Мало того, углубляя теоретизацию, автор разделяет постоянный ток на две нереальные составляющие и путем длиннейших рассуждений приходит к выводу «время разбега не зависит от нагрузки (момента  $M_c$ , а не тока)». Автор не считает нужным оговорить, что этот вывод никак не может распространяться на большую группу подъемных и транспортных механизмов, насосов, строгальных станков и т. п., где нагрузка сопряжена с изменением момента инерции привода. Излагая этот случай безреостатного пуска, автор, однако, не увязывает своего вывода с безреостатным пуском других двигателей (серийного, асинхронного и т. д.). Не менее теоретичен и окончательный вывод этого раздела на стр. 192 «Однако, соотношения между  $T_m$  и  $T_{эл}$  позволяют допустить этот (т. е. безреостатный) пуск лишь для машин малой мощности», а каковы эти соотношения и каковы эти малые мощности автор, очевидно, собирается сказать в обещанной третьей части книги.

В несомненную заслугу автору следует поставить попытку оригинальной обобщенной трактовки переходных процессов на базе только уравнений механических харак-

теристик, безотносительно к двигателям и механизмам. К сожалению, эта попытка не доведена автором до конца: ограничившись характеристикой двигателя первой степени  $M=A-B\omega$  в § 32—35, автор в дальнейшем отказался от такой системы и перешел на систему своих предшественников—анализа по роду двигателей. Не достигнув, таким образом, цели, автор нанес ущерб стройности системы и, кроме того, разбросал материал по разным местам книги: нагрузочные графики оказались и в § 37 главы пятой и в § 52—55 главы седьмой. Разброс имеется и между главами второй и пятой: в обеих говорится о схемах и способах пуска и торможения. Однако, посвятив три параграфа (§ 18, 19 и 20) схемам торможения, автор не коснулся основного способа—торможения «противотоком»—и перенес его в § 44, а целый § 19 посвятил работе асинхронного генератора с самовозбуждением. Из длинных (на шести страницах) выводов все же нельзя понять цели их: если речь идет не о работе генератора, как следует из заголовка, а о торможении, то ни одного уравнения, поясняющего последний рис. 93, нет. Если же речь идет действительно об использовании асинхронной машины в качестве генератора, то какое это имеет отношение к учебнику? Наоборот, § 20, касающийся торможения, не содержит никаких выводов и они заменены часто встречающейся в книге фразой «легко показать», однако без показа и без ссылки на книги по электроприводу.

Итак, перестройку курса методически нельзя оправдать вследствие не только отказа автора от прикладной части, но и сугубой теоретизации содержания оставшихся пяти глав, превращенных автором в семь, за счет перенасыщения некоторых разделов материалом личных работ, что естественно в монографии, но недопустимо в учебнике.

Основной же методический недостаток заключается в отсутствии не только «теснейшей», но и вообще какой-либо связи теории с практикой.

В книге обнаруживается явное пристрастие к математике и нелюбовь к «описанию физической сущности явлений». В качестве примеров можно привести несколько положений, легко физически объяснимых, но даваемых в виде постулатов, которые студент, очевидно, должен заучить наизусть.

Стр. 79—«Двигатель с к. з. ротором ... обычно имеет меньшее скольжение ... При увеличении мощности номинального скольжение падает». (Почему?).

Стр. 80 — «Меньшие значения  $\lambda$  относятся к тихоходным двигателям». Далее то же в отношении  $\frac{M_n}{M_k}$ . (Почему?)

«Для двигателей с к. з. ротором отношение  $\frac{M_{k2}}{M_{k0}}$  больше».

«Действительная характеристика ... имеет провал, как это видно из рис. 63» (но из рис. 63 не видна причина этого провала).

Стр. 144 — «Недостаток этой системы заключается в ее склонности к колебаниям». (Почему?)

Стр. 147—«Однако вследствие того, что с увеличением диапазона регулирования габариты и стоимость двигателя растут, диапазон не превышает 3—4». Очень существенный фактор для электропривода оставлен в виде загадки, так же, как и следующая фраза. «Однако, на практике диапазон ограничивается получением устойчивой работы привода».

Стр. 150 — «Путем надлежащего регулирования  $L$  или  $C$  механическая характеристика приобретает вид, показанный на рис. 146,б». (Опять только вид!)

Стр. 154 — «За счет соответственных (?) схем переключения полюсов ... можно получить регулирование скорости при постоянной мощности». Но ведь дело не в схеме, а в соотношении  $p$  и  $\omega$ —числа последовательно соединенных витков обмотки статора; физическое объяснение было дано на стр. 306 первого тома труда рецензента (2-е издание, 1932 г.) всего в нескольких строках.

Весь § 45 — о синхронном двигателе свидетельствует о том, что автора этот двигатель не интересовал. В таком случае можно было бы также отослать читателя к курсу электрических машин к солидным журнальным статьям, но нельзя без ссылок ограничиваться видом кри-

вых (рис. 243 и 244) и такими фразами, как, например, на стр. 265: «в непрерывном колебательном процессе вследствие отсутствия успокоительного момента» или на стр. 206: «путем надлежащих (?) преобразований» получается неравенство, из которого видно (по словам автора), как протекает «вхождение в синхронизм».

Стр. 274—изображая на рис. 250 и 251 (без масштаба) зависимости к. п. д. от скорости мощности и нагрузки, автор пишет: «Исключением являются асинхронные двигатели на 3 000 об/мин, у которых эту стую (?), номинальный к. п. д. ... меньше». Студенту предлагается догадываться о причине этого исключения.

Стр. 288—293—говоря о широко известных «критических показателях» и ревниво оговаривая в сноске стр. 291 «понятие о к. п. д. регулировочного цикла» дано автором», автор посвящает пять страниц громкому, хотя и элементарному, выводу формулы для этого коэффициента и в качестве примера его использования для асинхронного двигателя говорит на стр. 293: «Еще высшие скорости используются больше, то к. п. д. цикл будет выше, чем в рассмотренном случае единственного использования скорости». Какова же практическая ценность вывода, если он основан на этом невозможном в практике условии и еще более нереальном (рис. 24) для асинхронного двигателя допущении: «разница скоростей для любых соседних скоростей постоянна» (стр. 293). Нереален и диапазон регулирования  $D=10$  (рис. 25) тем более, что здесь, как и всюду в книге, отсутствуют практически указания о влиянии вентиляции при малых скоростях.

Стр. 307—312—непонятна практическая цель громкого (на шести страницах) вывода потерь в двигателе Бушера в зависимости от размеров паза. Размеры паза в каталогах не даются, выбирать их электрификацию тоже не придется, так как заводской расчет их основан в целом ряде предпосылок и может быть менее всего энергетическим, так как основная задача этого рода двигателя—пусковой режим.

Стр. 326—характерная для книги форма—устоявшиеся факта: «обычно (?) разбег происходит при повышении тока» без объяснения причины (сдвига фаз). Поэтому автор избегает помещения в книге таблиц с практическими данными о кратности пусковых токов и может быть — непонятно, так как места они занимают мало.

Стр. 344—363. Глава седьмая в части нагрева электрических машин едва ли будет доступна учащимся: непонятно происхождение сложнейшей формулы (52,3), так непонятны без выводов результаты решения уравнения на стр. 353. Характерно для книги отсутствие практических указаний к пользованию формулами эквивалентного тока (годны ли они для режима работы с остановками? нет сравнения их с формулами эквивалентного момента, которые почему-то даются в книге значительно раньше (стр. 279); происхождение поправочных коэффициентов  $\beta$  и  $\gamma$  в знаменателе на стр. 356 не увязано с формулой нагрева).

Стр. 363—396 — весь § 55 (объемом 33 страницы представляющий результат многолетней работы автора) страдает тем же недостатком — теоретичностью. Прежде всего в основу положены нереальные условия: «решение представляется в виде неограниченного ряда парных значений искомых величин  $M_n$  и  $J$  (стр. 366) и далее стр. 378: «по найденному  $M_n$  и известной заранее (?) асинхронной скорости ... при этом одновременно (?) устанавливаются значения  $\lambda$  и  $S_n$ ». Однако известно, что последняя величина  $S_n$  (связанная с к. п. д. электропривода) что не отрицает и автор на стр. 369) является такой же искомой, как и величина  $J$  (55,21) и рассчитывается одновременно по формуле  $J \cdot S_n = \frac{T \cdot M_n}{\omega_0}$  путем экономич-

ского подсчета вариантов (см. численный пример в журнале «Вестник металлопромышленности», № 10, стр. 30 100, 1929). Далее, теоретичность метода заключается в разграничении области применения маховика на рис. 294, 297 и 299, причем граница определяется значениями  $a=0,938$  и  $\lambda$  с коэффициентом 0,984, т. е. с точностью до тысячных долей (стр. 375), тогда как в действительности эта область определяется десятками факторов и



конструктивного, так и технико-экономического характера, о чем автор сам говорит на стр. 370. Решающее влияние оказывает соотношение мощности станций и сети и ее cos  $\varphi$ , мощность и скорость вращения двигателя, конструкции машин — орудий и т. п. Пытаясь охватить все это формулами, автор и здесь, к сожалению, пренебрегает графо-аналитическими методами, особо ценными в разрешении задачи раздела „г“ § 55. Изложение такого метода, разработанного Т. С. Савиновым (ВЭП, № 10, 1934 и № 2, 1935) в советском учебнике было бы необходимо.

В § 56 излагается метод, который автор дал еще в 1934 г. (ЦНИИМАШ, № 1, стр. 6), используя статью из германского журнала ZVDI, № 46, 1932. Нельзя не высказать сожаления, что автор так крепко держится примитивного, плохо обоснованного и неточного метода 16-летней давности и не считает своей обязанностью ознакомить студентов с результатами большой творческой работы советских авторов, в частности, с остроумным предложением Л. Б. Гейлера (Электричество, № 8, 1937) и Г. М. Каялова (ВЭП, № 7, 1937), заменить уравнением параболы сложное уравнение Клосса для устойчивости механической характеристики асинхронного двигателя. Учет кривизны последней дает возможность более точного подсчета работы маховика вблизи опрокидывания, чем спрямленная характеристика Грюнбаума и, следовательно, выбора меньшего на 15—20% веса маховика.

Автор даже не отметил основного отличия механических характеристик машин-орудий (по преимуществу увеличение момента с увеличением скорости) от обратного явления в электродвигателях — свойство весьма характерное, обеспечивающее статическую устойчивость работы большинства электроприводов.

Следующим методическим недостатком учебника является бессистемность изложения. Несколько примеров ее уже было дано выше. Разбрасывание одно и того же материала по разным главам книги встречается и в других местах: о регулировании — в главах второй и седьмой, не считая специальной главы четвертой; о нагрузках в главах пятой и седьмой; об электромагнитном усилителе — на стр. 47 и 151, оба раза без указания сущности быстроты и величины усиления; о пуске т.з. двигателей в двух местах — сначала нормального типа, а затем типа Бушера (почему-то в разделе многоступенчатого пуска). Несмотря на то, что о двигателе Бушера автор говорит еще в нескольких местах книги, все же конкретного представления об отличии его механических свойств от нормального двигателя студент не получает.

Бессистемность, однако, не ограничивается разбрасыванием, но особенно сказывается в неоднократной перемене методики изложения материала.

Посвятив 16 страниц основным определениям сил и моментов и их знакам, автор все же не достиг ясности. Обычную оговорку о том, что знаки сил и моментов могут меняться, например, в случае «активного сопротивления» (спуск груза), когда двигатель может быть использован как тормоз, автор заменяет рассуждениями на десяти страницах (стр. 14—25) о знаках и все же оставляет читателя в недоумении, чем физически объяснить, что момент сопротивления  $M_c$  получает отрицательный знак при подъеме груза и положительный при спуске, тем более, что на рис. 4 и тот и другой расположены в виде прямых I во II и III квадратах, т. е. по оси отрицательных моментов. Хуже всего то, что в дальнейшем автор только один раз — на рис. 152 — поместил характеристику вентилятора в квадрате отрицательных моментов, а на рис. 114, 116, 119, 176, 190, 207, 215, 227 и т. п. момент  $M_c$  отложен по оси положительных моментов. Кроме того, автор не освободил себя от оговорок о знаках в дальнейшем тексте, что крайне затрудняет читателя.

Неоднократный переход от общепринятого расположения координат механических характеристик (вертикальная ось — скорость, что облегчает представление о

подъеме и спуске, а горизонтальная — моменты) к обратному расположению (на рис. 60, 63, 64, 74, 85, 93, 219—222, 224, 226, 233, 243, 245, 307, 308 и 309) создает впечатление, что автор поставил задачу испытать сообразительность студентов, 18 раз меняя направление осей координат.

Четкость терминологии и условных обозначений также недостаточно выдержана автором. Имеется ряд нежелательных нововведений, как, например, «эффективный» момент (как синоним среднего, что в особенности неприемлемо в электротехническом учебнике) или «полная» характеристика. Наблюдается разнобой: «искусственные и регулировочные» характеристики (стр. 37) далее называются «реостатными»; «одиночный» привод (стр. 12) называется на стр. 13 «однодвигательным» и здесь же упоминается «индивидуальный» привод (хотя речь идет о многодвигательном приводе). Имеются чисто технические неправильности: «сопротивление потребляет ток» (стр. 38); «ток, потребляемый схемой» (стр. 65); «зависимость в функции» (стр. 211); «направление скорости», которое в книге заменяет «направление движения».

Еще неблагоприятнее обстоит дело с условными обозначениями и индексами: Буква  $\beta$  означает три разных понятия: жесткость, отношение постоянных нагревания  $T$  и  $T_0$  и величину, обратную электромеханической постоянной. Буква  $m$  означает пять разных понятий. Передаточное число обозначается то буквой  $j$ , то  $i$ . Буквой  $F$  обозначается то сила, то частота; буквой  $\Omega$  — то угловая частота механических колебаний, то отношение угловых скоростей и т. д. Разнобой имеется и в индексации.

В заключение — несколько слов о стиле книги. Изложение тяжелое, вследствие привычки автора к выходящим из употребления формам вроде «могущих быть применимыми» (стр. 266) вместо «применяемых». От замены трех слов «могущих иметь место» одним словом «возможных» удобопонятней стала бы фраза на стр. 159—160: «Однако, вследствие всегда могущих иметь место изменений тормозного пути за счет изменчивости (?) в условиях реальной эксплуатации факторов (?), его определяющих, остановка при необходимой жесткой фиксации места начала торможения будет происходить в местах, находящихся в большей или меньшей близости от назначенного». Читатель еще не успевает перевести дух от такой фразы и разобраться во всех этих «местах, имеющих место», как в следующем абзаце длинная фраза опять кончается «могущим иметь место в условиях эксплуатации путем торможения, наиболее отличающимся от расчетного». Наконец, ниже на той же стр. 160 третий раз «имевших место». На стр. 24—25 говорится: «с ростом полезного момента необходимая для обеспечения движения величина движущего момента двигателя уменьшается».

Оформлена книга хорошо. Совершенно избежать ошибок и недосмотров, к сожалению, не удалось: имеются промахи не только автора и издательства, но даже опечатки в печатках. Повидимому, нумерация фигур менялась, так как ссылки на них в тексте в ряде мест неверны. Наблюдается небрежность в редактировании в виде незаконченных фраз, например, «Уравнения движения» (стр. 196) или «Кривая момента выражается формулой» (стр. 240).

Все вышеуказанные дефекты, конечно, не делают книгу неприемлемой в качестве учебного пособия. Следует лишь пожелать автору в будущем, учтя доброжелательно высказанные выше замечания, более внимательно относиться к предъявляемым к учебникам требованиям.

*Заслуженный деятель науки и техники,  
доктор техн. наук, проф. С. А. РИНКЕВИЧ.  
Ленинградский электротехнический институт  
им. Ульянова (Ленина).*



Л. Я. ВОЛЧОК. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.  
150 стр., ц. 8 руб. Машгиз, 1948.

Электрические методы измерения неэлектрических величин (усилий, деформаций, температур, вибраций и т. д.) получили за последние годы широкое развитие и применение. Между тем, в этой области вышла лишь недавно одна книга (Ф. Е. Темников и Р. Р. Харченко. Электрические методы измерения неэлектрических величин, Госэнергоиздат, 1948); многочисленные работы, выполненные в СССР, опубликованы в различных периодических изданиях и обобщение этих работ крайне необходимо.

Поэтому следует приветствовать издание рецензируемой книги, где кратко изложены основные методы неэлектрических измерений, с которыми приходится иметь дело не только при работе с двигателями внутреннего сгорания, но и в других областях машиностроения.

Первые семь глав книги посвящены различным методам измерений. Это по существу описание различных типов датчиков, некоторые из которых (измерители вибраций, крутящих моментов и угловых скоростей) описываются в десятой главе. Было бы целесообразно для систематичности изложения описание всех датчиков и методов измерений с ними выделить в отдельный раздел; описание измерительных усилителей, стабилизаторов и источников питания составило бы второй раздел книги; так как эти устройства являются общими для всех типов датчиков, то этот раздел следовало бы несколько расширить, включив новейшие достижения электроники.

В первой главе автор дает краткое и четкое описание пьезоэлектрического метода измерения с помощью кварцевых пластин. В изложении материала чувствуется глубокая осведомленность автора во всех деталях техники измерений и большой опыт в области применения этого метода. К сожалению, не приведены данные о точности метода и отсутствует описание способов динамической градуировки датчиков, которые необходимы во избежание ошибок от стекания заряда.

Во второй главе автор уделит мало внимания описанию имеющих широкое применение измерительных схем с проволочными датчиками. Не приведено ни одной конкретной и достаточно подробной схемы измерительного устройства. На рис. 30 дана потенциометрическая схема измерения с проволочным датчиком, питаемым от постоянного тока. Эта схема обладает целым рядом недостатков, один из которых отмечен самим автором; вместо нее следовало бы дать компенсационную и мостиковую схему, питаемую от постоянного тока с двухтактным усилителем постоянного тока. Применение такого усилителя (в особенности двухтактной схемы усиления в первом каскаде) позволяет устранить смещение нуля, уменьшить влияние колебания питающего усилителя напряжения и производить запись как медленных, так и быстро протекающих процессов.

Автор пишет (стр. 43), что проволочные датчики являются практически безинерционными, а на стр. 117 указано, что они пригодны лишь для частот, меньших 1000 гц. Следовало бы указать конкретно, чем же ограничиваются пределы частот при записи динамических процессов.

В третьей главе на рис. 31 приведена схема измерения емкости датчика с помощью единичного заряда от источника постоянного напряжения. В таком виде эта схема не может иметь практического применения. Однако, многократный заряд и разряд емкости с помощью вибрационного или электронного коммутатора дает простой и точный способ измерения емкости. Такой метод применяется, например, в стрелочных частотомерах, микрофарадметрах и т. д.

Мостиковая схема с емкостными датчиками (рис. 3) описана автором крайне схематично. Не дано ни одной конкретной схемы измерения. Не указано, каким образом необходимо включить датчики, чтобы устранить влияние емкостей соединительных кабелей, которые при больших длинах могут обладать значительной емкостью. Известно, что в таких емкостях соединительных кабелей оказываются включенными параллельно источнику питания нульприбору и не влияют на результат измерений. Не указаны также описания устройств, представляющих практический интерес емкостных датчиков для измерения больших усилий.

В главе «Электрические методы интегрирования и дифференцирования» следовало бы привести схему с емкостью в цепи обратной связи усилителя, которая является одной из лучших схем интегрирования. При использовании этой схемы отпадает необходимость иметь высокую изоляцию сетки относительно катода, т. е. применить специальную электрометрическую лампу, рекомендуемую автором на стр. 83. Следовало бы привести формулы, определяющие величину ошибок интегрирующих и дифференцирующих контуров.

В главе «Фотоэлектрические методы измерения» дифференциальных схем измерений, которые являются более точными. Нет ни слова о широко применяемых в настоящее время для измерения знакопеременных величин схем переменного тока с фазовыми дискриминаторами.

На стр. 116—119 приведена таблица основных характеристик электрических индикаторов. К сожалению, здесь не указаны такие основные характеристики, как температурная стабильность, стабильность, точность. Неверно указано в таблице, что емкостный датчик применяется только для измерения ничтожных усилий; имеются такие датчики для измерения усилий порядка нескольких тонн. Пределы применения по частоте для различных датчиков указаны неверно. Непонятно также, почему проволочные датчики с ничтожно малым температурным коэффициентом расширения считаются очень чувствительными к температуре, а чувствительность индуктивного датчика считается незначительной.

В разделе «Измерение мгновенных температур газов и термонапарам» приводится только схема одноконтурного усилителя постоянного тока с термопарой, в то время как новейшие схемы с двухтактными усилителями постоянного тока позволяют получить более стабильную работу схем. Для этой цели применяются также усилители постоянного тока с инвертерами, позволяющие производить запись напряжений постоянного тока до величины порядка  $10^{-4}$ .

Глава девятая «Вспомогательные устройства», включающая источники питания, их стабилизацию, фазовые метчики и устройство для градуировки датчиков, занимает всего 5 страниц и изложена весьма поверхностно.

Несмотря на отмеченные выше недостатки, книга обладает многими достоинствами. Изложение ясно и четко. Книга знакомит читателя с достижениями отечественной науки и техники в рассматриваемой области и содержит много ценных практических сведений.

Поэтому рецензируемая книга будет полезным пособием для лиц, изучающих электрические измерения неэлектрических величин.

Кандидат техн. наук, доц. Ф. В. МАЙОРОВ  
Московский энергетический институт им. Молотова



# Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

Издание 1948 г.

АЛЬБОМ АРМАТУРЫ ГЛАВАРМАЛИТА. 60 стр., ц. 35 руб. Изд. Теплоэлектропроекта МЭС.  
БАГРАМОВ С. Е., СТАРОДУБЦЕВ С. В. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЗАЖИГАНИЕ В АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ. 400 стр., ц. 30 руб. Изд. Ленинградской военно-воздушной инженерной академии.

БАРАНОВ В. А. РАЦИОНАЛЬНЫЙ ТИП МАЛОЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. (Труды Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации, вып. 64). 28 стр., ц. 1 руб. Госиздат УзССР.

БЕНЕДИКТ О. В., АММОСОВ Н. М. МАТЕРИАЛЫ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ. Ч. 6, гл. 9 Принципы действия и основные вопросы машин постоянного тока. 49 стр. Ч. 7, гл. 10. Машин постоянного тока с независимым возбуждением. 42 стр., бесплатно. Московский институт инженеров транспорта.

БРЕГМАН И. Л. КОНСПЕКТ ПО КУРСУ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ, 84 стр., ц. 2 р. 25 к. Связьиздат.

БРЕНЕВ И. В. ОСНОВЫ РАДИОЛОКАЦИИ, ч. I. 239 стр. - 22 листа чертежей, ц. 27 руб. Военно-морская академия кораблестроения и вооружения им. Крылова.

ГАЛПЕРИН Л. Б. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ. Каталог. 20 стр., ц. 2 р. 50 к. ЦБТИ МЭП.

ГЛОБА В. В., БУЛГАКОВ Н. М., РЫБАКОВ А. Д. и др. ПРАВИЛА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ГОРОДСКОМ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ. (МХ РСФСР. Главное управление трамвая и троллейбусов). 136 стр. (две части), ц. 12 руб. Изд-во МХ РСФСР.

ГОРНОВЕСОВ Г. В., КВАЧЕВ Г. С., ЛОЗНИЦА А. М. и др. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В КОЛХОЗАХ. Практическое пособие. Под общей редакцией Н. А. Сазонова. (Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. Запорожский филиал). 203 стр., ц. 6 р. 25 к. Гостехиздат Украины (на украинском языке).

\* ГРИНБЕРГ Г. А. ИЗБРАННЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ. 727 стр., ц. 48 р. 50 к. Изд-во Академии наук СССР.

\* ДОБРОВОЛЬСКИЙ Г. В. УСТАНОВЛИВАЮЩИЕСЯ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ. (Академия наук СССР. Институт автоматизации и телемеханики). 100 стр., ц. 7 р. 50 к. Изд-во Академии наук СССР.

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ. Под редакцией Н. И. Меншикова. (Московский механический институт. Кафедра электротехники). 133 стр., бесплатно. Изд. ММИ.

\* ЗАЛЕСКИЙ А. М. ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ. Допущено в качестве учебного пособия для вузов. 35 стр., ц. 14 р. 60 к. Госэнергоиздат.

ИНСТРУКЦИЯ ПО МОНТАЖУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ТИПОВ ТПФ и ТПФУ. 12 стр., бесплатно. ЦБТИ МЭП.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИЕМКЕ НОВЫХ АБОНЕНТСКИХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 1-35 кВ И ТЕХНИЧЕСКОМУ НАДЗОРУ ЗА НИМИ (МЭС СССР. Мосэнерго. Энергосбыт). 20 стр., ц. 1 р. 50 к. Госэнергоиздат.

ИОСИФЬЯН А. Г. О ТЕХНИЧЕСКИХ ПУТЯХ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА. (Академия наук Армянской ССР). 162 стр., ц. 12 руб. Изд-во Академии наук Армянской ССР.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ РАДИОВОЛН. Сборник II. Под редакцией Б. А. Введенского. (Академия наук СССР. Всесоюзный научный совет по радиофизике и радиотехнике). 215 стр., ц. 15 руб. Изд-во Академии наук СССР.

КАЗМИРЕНКО, ШЕНФИЛЬД З. Б. ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С НЕФТЕДВИГАТЕЛЕМ МОЩНОСТЬЮ 23 л. с. И ГЕНЕРАТОРОМ 20 квт. Типовой проект. 23 стр. + 11 листов чертежей, бесплатно. Изд. Совхозстройпроекта.

КАЯЛОВ Г. М., ЯВИЧ Г. М., ИВАНОВ Л. Е. РАЦИОНАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ЗАКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 6 ÷ 10 кВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И РАЙОННЫХ ПОДСТАНЦИЙ. К вопросу типизации (ВНИТОЭ. Ростовское областное отделение. Электротехническая секция). 14 стр. + вклейки, бесплатно. Изд. РОНИТОЭ.

КИТАЕВ Е. В., ГРЕВЦЕВ Н. Ф. КУРС ОБЩЕЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. 772 стр., ц. 22 руб. Латгосиздат (на латвийском языке).

КОЛОБКОВ Л. С. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И ОПЕРАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ. Конспект лекций. 99 стр., цена не указана.

\* КОРОЛЬКОВА В. И., РОЗОВСКИЙ Я. К. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ (Учебные таблицы). Разработано Московским институтом охраны труда ВЦСПС. 23 листа, ц. 6 руб. Госэнергоиздат.

\* КУЗНЕЦОВ Н. К., ЗЛАТКОВСКИЙ А. П. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. 316 стр. + 2 листа чертежей, ц. 15 руб. Сельхозгиз.

ЛАУЭР Г., ЛЕСНИК С., МАДСОН Л. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СЕРВОМЕХАНИЗМОВ. Перевод И. Б. Мандельштама под ред. Я. З. Цыпкина. 307 стр., ц. 15 р. 50 к. Госэнергоиздат.

ЛЕБЕДЕВ М. М. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СХЕМ ПЕРВИЧНОЙ КОММУТАЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА. Под редакцией В. П. Хачинского. (Академия

наук Армянской ССР. Лаборатория электротехники). 103 стр., ц. 5 руб. Изд-во Академии наук Армянской ССР.

ЛИСТОВ П. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. 215 стр., ц. 4 р. 40 к. Сельхозгиз.

ЛОГИНОВ Л. И. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, 40 листов текста, ц. 325 руб. Библиографический сектор Государственной научной библиотеки.

\* МАНОЙЛОВ В. ПОД ВЫСОКИМ НАПЯЖЕНИЕМ (Метод производства ремонта высоковольтного оборудования). 48 стр., ц. 2 руб. Госэнергоиздат.

МЕЕРОВИЧ Л. А. ЭЛЕМЕНТЫ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНИКИ. Изд. 2-е. Ч. I. Гармонический анализ импульсов. 114 стр. Ч. II. Простейшие методы формирования. 124 стр., цена не указана.

НЕЙМАН З. Б. КАТАЛОГ НА КРУПНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА СЕРИИ ДА, ДАП и ДБМ. 20 стр., ц. 2 р. 50 к. ЦБТИ МЭП.

\* НЕЙМАН Л. Р. И КАЛАНТАРОВ П. Л. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. Ч. III. Теория электромагнитного поля. Допущено в качестве учебника для энергетических и электротехнических вузов и факультетов. 343 стр., ц. 13 руб. Госэнергоиздат.

ОБРАЗЦОВ В. П. ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В СССР. (Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний). 23 стр., ц. 60 коп. Изд-во «Правда».

О НОВЫХ ТИПАХ АППАРАТУРЫ, ВЫПУСКАЕМОЙ ЗАВОДОМ «ЭЛЕКТРОСИЛА». 37 стр., ц. 20 руб. Изд. Теплоэлектропроекта. О ПЕРИОДИЧНОСТИ ИСПЫТАНИЙ И РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ (МЭС СССР. Главэнерго. Энергосбыт Киевэнерго). 16 стр., цена не указана. Изд-во «Радянська школа».

ПАВЛОВ Н. Г. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛА И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА. Краткий рекомендательный указатель литературы. 67 стр., ц. 75 коп. Изд. Государственной библиотеки СССР им. Ленина.

ПАВЛЕНКО М. А., ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И СВЕТ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕ. 55 стр., ц. 1 р. 25 к. Изд-во Академии наук Украинской ССР (на украинском языке).

ПЕРЕДВИЖНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ «ПЭС-12». Электрическая часть. 18 стр., бесплатно. МВО СССР, Московский лесотехнический институт.

ПИОНТОВСКИЙ Б. А., КОМАРОВ Б. С., КАЗАРИНОВ И. А., ЛЮБСКИЙ Г. С., МЕДОВАР А. И., СУЛЫ П. А., КЛИМУШИН А. С., ЭЛИНСОН М. М. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ (Министерство связи СССР. Инженерно-технический справочник по электросвязи, под общей редакцией Н. А. Басва и К. Я. Сергеевчука, т. VI). 593 стр., ц. 29 р. 45 к. Связьиздат.

ПИСАРЕВ С. Г. ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ. 503 стр., ц. 40 руб. Изд-во МХ РСФСР.

Книга является посмертным изданием труда проф. С. Г. Писарева, скончавшегося в 1945 г. Книга снабжена предисловием министра коммунального хозяйства РСФСР В. И. Говоркова и акад. В. Н. Образцова. Помимо общих сведений о городском транспорте в книге рассматриваются электрооборудование трамвайных вагонов и вагонов метрополитена и троллейбусов, а также тормозное оборудование на электротранспорте; расчеты расхода электроэнергии; методы экономии электроэнергии электротранспортом; род тока, применяемого при электропояте; последовательные стадии прохождения тока до подвижного состава; типы агрегатов тяговых подстанций; компоновка зданий подстанций; количество подстанций и расположение их в городе; методы определения мощности подстанций; эксплуатационное обслуживание подстанций; контактная и кабельная сеть электротранспорта; род тока, применяемого при электропояте; последовательные стадии прохождения тока до подвижного состава; типы агрегатов тяговых подстанций; компоновка зданий подстанций; количество подстанций и расположение их в городе; методы определения мощности подстанций; эксплуатационное обслуживание подстанций; контактная и кабельная сеть электротранспорта.

ПЛИСС Г. С. СТАЦИОНАРНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. Стандартизация основных технических характеристик. 124 стр., ц. 4 р. 65 к. Стандартизгиз.

ПОГОЖЕВ С. А. РАСЧЕТНАЯ ЗАПИСКА ПО АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЯМ. (Московский энергетический институт им. Молотова. Кафедра электрических машин). 46 стр., бесплатно. Изд. МЭИ.

ПОГОЖЕВ С. А. РАСЧЕТНАЯ ЗАПИСКА ПО МАШИНАМ ПОСТОЯННОГО ТОКА. Под ред. Г. Н. Петрова. Учебное пособие для студентов. (Московский энергетический институт им. Молотова. Кафедра электрических машин). 44 стр. + 1 лист чертежей, бесплатно. Изд. МЭИ.

ПОГОЖЕВ С. А. РАСЧЕТНАЯ ЗАПИСКА ПО НАГРЕВУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН. Московский энергетический институт. Кафедра электрических машин. 21 стр., бесплатно. Изд. МЭИ.

ПРАВИЛА ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ БЛУЖДАЮЩИМИ ТОКАМИ (Центральное телефонное управление). 44 стр., бесплатно. Трансжелдориздат.

ПРАВИЛА ЗАЩИТЫ УСТРОЙСТВ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ОТ МЕШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОСТОЯННОГО ТОКА. (МПС СССР). 47 стр. + 1 лист чертежей, бесплатно. Трансжелдориздат.

ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1000 В

(механическая часть). (Министерство электростанций СССР и Министерство коммунального хозяйства РСФСР). 24 стр., ц. 1 р. 30 к. Госэнергоиздат.

**ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.** Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1000 в (механическая часть). (Министерство электростанций СССР и Министерство строительства предприятий тяжелой индустрии СССР). 76 стр., ц. 4 р. 65 к. Госэнергоиздат.

**ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.** Осветительные установки. Штепсельные соединения, выключатели и ламповые патроны. (Министерство электростанций СССР и Министерство строительства предприятий тяжелой индустрии СССР). 12 стр., ц. 75 коп. Госэнергоиздат.

**ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.** Сельские электроустановки. (Министерство электростанций СССР и Министерство сельского хозяйства СССР). 12 стр., ц. 70 коп. Госэнергоиздат.

**ПРЕЙСКУРАНТ ОПТОВЫХ ЦЕН.** № 1. Электрические машины до 100 квт и выше. 76 стр., ц. 6 руб. № 3. Электроизоляционные изделия. 16 стр., ц. 1 р. 50 к. № 6. Ртутные выпрямители (металлические и стеклянные) и запасные части к ним. 16 стр., ц. 1 р. 30 к. № 8. Электросварочное оборудование и преобразователи высокой частоты для плавки и закалки металлов. 24 стр., ц. 2 руб. № 9. Рентгеновские установки, высоковольтная промышленная и лабораторная аппаратура. 16 стр., ц. 1 р. 50 к. № 10. Электроосветительная арматура. 8 стр., ц. 55 коп. № 11. Конденсаторы статические бумажно-масляные. 12 стр., ц. 1 руб. № 12. Электроизмерительные приборы. 24 стр., ц. 2 руб. № 14. Изделия из электротехнического фарфора. 132 стр., ц. 10 руб. № 15. Силовые и специальные трансформаторы, трансформаторы напряжения, масляные реакторы и запасные части к этим изделиям. 56 стр., ц. 4 р. 55 к. Электропечи, высокочастотные установки и запасные части к ним. 28 стр., ц. 2 руб. (МЭП СССР, ЦБТИ). Изд. ЦБТИ МЭИ.

**ПРЕЙСКУРАНТ ЦЕН НА РЕМОНТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.** (Энергоремгостр). 8 стр., ц. 55 к. ЦБТИ МЭИ.

**ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА ДЛЯ ПРИВОДА ЗАДВИЖЕК.** 31 стр., ц. 25 руб. Изд. Теплоэлектропроекта МЭС.

**ПРОБСТ А. Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ.** 24 стр., ц. 40 коп. Иркутское обл. изд-во.

**ПРОЕКТ-ПРИМЕР ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ КОЛХОЗА.** (Министерство сельского хозяйства СССР. Управление электрификации). 129 стр. + 5 листов чертежей, ц. 30 руб. Изд. МСХ СССР.

**\*ПФЛЕР П. М. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.** Перевод Г. М. Борковского под ред. Л. С. Фрейман. 256 стр., ц. 20 р. 30 к. Машигиз.

**РЕШЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕЩАНИЯ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ, ПОСВЯЩЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ.** (ВНИТОЭ, Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР. Гос инспекция по промышленной энергетике и энергонадзору при МЭС СССР). 10 стр., цена не указана. Госэнергоиздат.

**\*РЫВКИН А. А. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КРАНЫ.** 360 стр. + вклейки, ц. 19 р. 65 к. Госэнергоиздат.

**СКВАРЧЕНКО Р. Р. УДЕЛЬНЫЕ НОРМЫ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПУТИ ИХ СНИЖЕНИЯ НА ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ.** 36 стр., бесплатно. Министерство мясной и молочной промышленности СССР.

**СОКОЛОВ Д. В. ИНСТРУКТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ.** 48 стр., цена не указана. Министерство строительства предприятий тяжелой индустрии СССР.

**СПРАВОЧНИК ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ (СПЭ).** Часть электротехническая. Раздел 15. Релейная защита электростанций. Вып. 1. О. И. Дянова, З. П. Родионова. Рекомендации по выбору принципов релейной защиты, примерные схемы и расчеты. 212 стр., ц. 90 руб. Вып. 2. О. И. Дянова, З. П. Родионова. Примерные записки, спецификации и данные релейного оборудования. 75 стр., ц. 30 руб. Изд. Теплоэлектропроекта МЭС.

**СТАНИСЛАВСКИЙ Б. И. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЧЕТНО-РЕШАЮЩИХ УСТРОЙСТВ.** 173 стр., ц. 10 руб. Оборонгиз.

\* Звездочкой отмечены книги, по которым предполагается опубликование рецензий.

**ТИХОМИРОВ П. М. РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ.** Пособие к курсовому проекту. Под ред. Г. Н. Петрова. (Московский энергетический институт. Кафедра электрических машин). 116 стр., бесплатно. Изд. МЭИ.

**ТРАПЕЗНИКОВ А. К. РЕНТГЕНОДЕФЕКТОСКОПИЯ.** 424 стр., ц. 33 руб. Машигиз.

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ВОЗДУШНОЙ РАДИОНАВИГАЦИИ.** (Всесоюзное научно-техническое общество радиотехники и электросвязи им. Попова). Под ред. А. И. Берга. 183 стр., ц. 13 руб. Изд-во «Советское радио».

**УКАЗАТЕЛЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОБЩЕСОЮЗНЫХ СТАНДАРТОВ.** 1946 г. Дополнение 1948 г. (Всесоюзный комитет стандартов при Совете министров СССР). Издание официальное. 223 стр., ц. 9 руб. Стандартгиз.

**УЛИЩНИЙ Е. Я. АНОДНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ЗАЧИСТКА ИНСТРУМЕНТА С ПЛАСТИКАМИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ.** Справочные данные. (Министерство авиационной промышленности СССР. Научно-исследовательский институт технологии и организации производства). 24 стр., цена не указана. Оборонгиз.

**УЧЕБНАЯ МЕТОДИЧЕСКАЯ И ИДЕЙНО-ВОСПИТАТЕЛЬНАЯ РАБОТА В 1947/48 УЧЕБНОМ ГОДУ** (Московский энергетический институт им. Молотова. Материалы научно-методического кабинета вып. I). 681 стр., бесплатно. Изд. МЭИ.

**ФАЙНШТЕЙН В. Ф. ПРИБОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ.** 28 стр., ц. 3 руб. Углетехиздат.

**ФУРМАНОВ Б. М., БЕЗОБРАЗОВ Б. М. ШАХТНАЯ ТЕЛЕФОННАЯ СВЯЗЬ.** 101 стр., ц. 6 руб. Углетехиздат.

**ХОЛМАНН Р. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА.** Т. II. Теория переменного тока. 472 стр., ц. 10 р. 30 к. Изд-во «Научная литература» (на английском языке).

**ЦИГЛЕР Н. В. ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ.** 113 стр., ц. 7 руб. Гизместпром.

**\*ЧЕФРАНОВ К. А. ЭЛЕКТРООБЕЗВОЖИВАНИЕ И ЭЛЕКТРООБЕСКОЛИВАНИЕ НЕФТЕЙ.** 104 стр., ц. 5 руб. Госгостехиздат.

**ЧИЛИКИН М. Г. ЭЛЕКТРОПРИВОД.** Конспект лекций (Московский энергетический институт им. Молотова. Кафедра электрооборудования промпредприятий). 131 стр., бесплатно. Изд. МЭИ.

**ШЕМБЕЛЬ Б. К. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА.** Под ред. Б. А. Остроумова. (Труды Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии. Вып. 2/62). 57 стр., ц. 4 руб. Изд-во Академии наук СССР.

**ШПАГИН Б. В. ПРАВИЛА ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ СВАРЩИКОВ ПО ГАЗОВОЙ И ДУГОВОЙ СВАРКЕ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ** (Всесоюзный научно-исследовательский институт авиационных материалов). 9 стр., бесплатно. Оборонгиз.

**ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ В ШАХТЕ.** (Министерство строительства топливных предприятий. Унифицированные нормы и расценки). 36 стр., ц. 2 р. 40 к. Стройтопливоиздат.

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.** Сборник статей. Отв. редактор В. А. Шубенко. 163 стр., цена не указана. МВО СССР. Уральский индустриальный институт.

**ЭЛЕКТРОСВЕРЛИЛКА И-38.** Инструкция по уходу и эксплуатации. (Министерство строительного и дорожного машиностроения. Харьковский завод электроинструмента). 7 стр., бесплатно.

**ЮДИЦКИЙ В. А., БЕЛЯКОВ Б. В. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРИВОДЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕРИИ ПС** (Каталог). 40 стр. 2 листа схем, ц. 6 руб. 25 к. ЦБТИ МЭП.

## Издание 1949 г.

**ГЕРТНЕР Г. ПРОЗРАЧНОСТЬ ЗАМУТНЕННОЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ ЛУЧЕЙ.** Перевод под редакцией П. М. Кондрова. 112 стр., ц. 5 руб. 75 к. Госэнергоиздат.

**\*Проф. ГЛАЗУНОВ А. А., асс. А. А. ГЛАЗУНОВ, Н. А. ПОПОВ, Г. М. РОЗАНОВ. ЗАДАЧНИК ПО СЕГМЯМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ.** Под ред. проф. А. А. Глазунова. 132 стр., ц. 6 руб. Госэнергоиздат.

**РАЦИОНАЛИЗАТОРСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ.** Вып. 14. Вопросы эксплуатации и ремонта оборудования электростанций. (Орггос). 42 стр., ц. 3 руб. Госэнергоиздат.

**СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.** Под ред. В. Б. Ушакова. 94 стр., ц. 4 руб. Госэнергоиздат.

**\*УЛЬЯНОВ С. А. КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.** Изд. 3-е, заново переработанное. 320 стр., ц. 12 р. 80 к. Госэнергоиздат.



## ПОПРАВКА

В статье А. Я. Буйлова «Методика расчета электромагнитного постоянного тока» (Электричество, № 3, 1949), стр. 46 левая колонка, 10 строку снизу, следует читать:

$$\Sigma A = A_0 + A_z + A_0 + A_k + A_s$$

МЭС — СССР

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, 10.

ОТКРЫТА ПОДПИСКА

НА ВТОРОЕ ПОЛУГОДИЕ

**ЭЛЕКТРИЧЕСТВО**

Орган Академии наук СССР, МЭС СССР и МЭП СССР

Основан в 1890 г. Русским техническим обществом

12 номеров в год

Подписная цена на 6 мес.

48 руб., на 3 месяца — 24 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА ИНЖЕНЕРОВ, НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ И ПЕДАГОГОВ, ВЕДУЩИХ РАБОТУ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

**1949**

**г о д а**

на  
энергетические  
журналы:

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

Орган МЭС СССР

Год издания 20-й 12 номеров в год

Подписная цена на 6 мес. 48 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ПРОЕКТНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, А ТАКЖЕ НА ЭНЕРГЕТИКОВ ДРУГИХ МИНИСТЕРСТВ

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

Орган Госинспекции по промэнергетике и энергонадзору при МЭС СССР

Год издания 6-й

12 номеров в год

Подписная цена на 6 мес. — 24 руб.

ЖУРНАЛ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ И ТЕХНИКОВ, РАБОТАЮЩИХ В ОТДЕЛАХ ГЛАВНОГО ЭНЕРГЕТИКА, ГЛАВНОГО МЕХАНИКА, В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХАХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЗАВОДСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

**ТОРФЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

Орган МЭС СССР

Год издания 26-й 12 номеров в год

Подписная цена на 6 мес. 24 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПОДПИСКА  
ПРИНИМАЕТСЯ  
ГОРОДСКИМИ И РАЙОН-  
НЫМИ ОТДЕЛЕНИЯМИ  
Союзпечати

**ЗА ЭКОНОМИЮ ТОПЛИВА**

Орган Государственной Инспекции  
Госсгаба СССР

Год издания 6-й 12 номеров в год

Подписная цена на 6 мес. 48 руб.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН НА РУКОВОДЯЩИХ И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ ТОПЛИВОСНАБЖЕНИЕМ, ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ И НАЛАДКОЙ ТЕПЛОСЛОВОГО ХОЗЯЙСТВА ВСЕХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ