

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

7
1946
июль

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

СОДЕРЖАНИЕ

Н. А. Сазонов и И. А. Будзко—Основные научно-технические задачи развития сельской электрификации СССР	3
С. В. Щуров—Итоги и перспективы электрификации сельского хозяйства СССР	11
А. Г. Зихарин—Энергетическая классификация сельскохозяйственных районов по условиям электроснабжения	15
Л. Я. Цивьян—Рационализация электропривода в сельском хозяйстве	21
П. Н. Листов—Некоторые вопросы теории электрограктора	26
Н. Белопитов—К применению в электросетях трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой	31
А. А. Глазунов и С. А. Геликонский—Наивыгоднейшее число промежуточных напряжений в электрических системах	35
Е. Г. Шрамков—Магнитные эталоны	42
Л. А. Цейтлин—Общие основания расчета коэффициентов самоиндукции криволинейных проводов	52
А. С. Кантер—К вопросу относительной стоимости конструкции с постоянными магнитами	59
Г. В. Ключин и В. А. Иванов—Обеспечение равномерного прогрева изделий при индукционной закалке	62
В. Г. Стеценко—Новая конструкция электрического трактора	65
В. Г. Холмский—О рациональном распределении проводникового металла и потерь энергии в звеньях электрической системы	67
Б. Б. Штейн—Определение нестационарных явлений в сложной системе с помощью частотных характеристик	69
Стандарты	71
У. М. Литваков—О проекте стандарта „Машины электрические. Терминология“	71
Хроника	80
Библиография	91
Рефераты	

ВОЛОГОДСКАЯ
ОБЛАСТНАЯ
УНИВЕРСАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

100000, Вологда, ЦСП,
ул. М. И. Ульяновой, дом 1
Вологодская областная
библиотека им. Н. В. Гоголя

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Академик Б. Е. Веденеев (отв. редактор), член-корр. АН СССР
А. В. Берг, доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Бутневич**, доктор техн. наук,
проф. **А. А. Глазунов**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик
В. Ф. Митневич, академик **Н. Д. Папалекси**, доктор техн. наук, проф.
Г. Н. Петров, канд. техн. наук **И. А. Сыромятников**, инж. **А. И. Товсто-**
палов, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**

Ответственный секретарь инж. **Я. А. Климовицкий**

Адрес редакции: Москва, Б. Черкасский пер., д. № 2/10, тел. К 4-24-80
Адрес для корреспонденции: Москва. Главный почтамт, почтовый ящик № 648

Основные научно-технические задачи развития сельской электрификации СССР

Кандидат с.-х. наук Н. А. САЗОНОВ

и кандидат с.-х. наук И. А. БУДЗКО

Всесоюзный институт механизации и электрификации сельского хозяйства

Электрификация сельского хозяйства СССР вступила в настоящее время в новый период своего развития — период широкого строительства мелких электростанций, главным образом, мелких гидроэлектростанций. На базе этих станций и крупных районных электростанций будет предприня-

та широкая электрификация машинно-тракторных станций, совхозов и колхозов.

Центральный комитет ВКП(б) в своем обращении ко всем избирателям от 2 февраля с. г. в качестве одной из основных задач четвертой сталинской пятилетки в области восстановления и развития сельского хозяйства поставил задачу развития электрификации колхозной деревни.

Закон о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг., принятый Верховным советом, предусматривает ввод в действие малых гидроэлектростанций на общую мощность в 1 млн. kW и массовое строительство в сельских местностях небольших тепловых электростанций с локомобильными и газогенераторными двигателями и ветроэлектростанций, что обеспечит переход к более широкой электрификации сельского хозяйства.

Чтобы представить себе весь огромный масштаб предстоящей работы по сельской электрификации, заключенный в названных выше цифрах, достаточно напомнить, что к 1941 г. вся мощность действующих мелких гидроэлектростанций в сельском хозяйстве составляла 35 тыс. kW, а ввод новых мощностей по всем сельскохозяйственным станциям (включая и тепловые станции) не превышал примерно 10 тыс. kW в год.

Под намеченный новым пятилетним планом большой объем работ по сооружению мелких электростанций в сельском хозяйстве подводится и материальная база в виде конкретных заданий по выпуску гидротурбин малой мощности, электрических генераторов и электродвигателей.

Дан общий очерк развития электрификации сельского хозяйства СССР. Рассмотрены основные виды потребления электроэнергии в сельском хозяйстве. Подчеркнуто значение комплексной электрификации сельского хозяйства. Отмечены особенности развития энергоснабжения сельского хозяйства СССР, связанные с необходимостью широкого использования местных энергоресурсов (главным образом, энергии малых рек) наряду с использованием возможностей крупных районных энергосистем. Освещены важнейшие вопросы распределения электроэнергии, перспективы сельской электрификации и охарактеризованы научно-исследовательские задачи в этой области.

Очерк развития сельской электрификации СССР. Об электрификации сельского хозяйства в России до 1917 г. говорить не приходится, — электрификации, в нашем понимании, не было. Известно небольшое число мелких электростанций в крупных помещичьих хозяйствах, установленных

исключительно для целей освещения помещичьих усадеб.

Электричество пришло в деревню вместе с советской властью. Недаром большую популярность в колхозной деревне приобрело выражение «лампочка Ильича».

В первые же годы существования советского государства в ряде мест по инициативе самих крестьян началось строительство небольших электростанций. В. И. Ленин горячо поддерживал эту инициативу. Известны, например, его поездка в с. Кашино на открытие одной из таких сельских электростанций в 1920 г., непосредственная помощь, оказанная им в сооружении Ярополецкой сельской гидроэлектростанции в 1921 г., и др. Владимир Ильич также внимательно следил за всеми новинками в области электрификации сельского хозяйства. Например, он лично присутствовал на испытаниях электрических плугов на Бутырском хуторе, под Москвой, в 1920 г.

Исторический план ГОЭЛРО Ленин и Сталин всегда рассматривали как великий план преобразования на базе электрификации всего нашего народного хозяйства, в том числе и сельского хозяйства.

Первые сталинские пятилетки — пятилетки индустриализации и коллективизации сельского хозяйства — заложили прочную материальную основу для осуществления в широких масштабах электрификации всей страны. Во втором пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР была поставлена и осуществлена задача о постепенном внедрении электроэнергии в про-

изводственные процессы сельского хозяйства. Третий пятилетний план поставил уже задачу о широком развертывании строительства мелких колхозных гидроэлектростанций, ветросиловых и газогенераторных установок на местном топливе.

К этому времени общая мощность электроснабжающих установок в сельском хозяйстве достигла 246 тыс. kW. Половина установок приходилась на долю сельских электростанций, остальные — на трансформаторные подстанции от крупных районных и промышленных электростанций.

Общее потребление электроэнергии сельским хозяйством выросло к этому времени до 370 млн. kWh в год. Однако, несмотря на эти абсолютные цифры, общий охват электрификацией сельского хозяйства, учитывая его огромные масштабы, был весьма небольшим. Лишь около 30% всех машинно-тракторных станций, 20% совхозов и около 9 000 колхозов пользовались тогда электричеством.

Весь этот этап развития сельской электрификации можно охарактеризовать как период опытной электрификации, когда проверялась в хозяйственных условиях эффективность внедрения электрической энергии в отдельные производственные процессы сельского хозяйства, когда проверялись способы и методы электроснабжения, передачи и распределения электроэнергии в условиях сельских районов, различных по климатическим и производственным признакам.

Работами Всесоюзного научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ) и практикой первых районов широкой электрификации (Запорожский район УССР, Подольский и Раменский районы Московской области, Боровичевский район Ленинградской области) был доказан огромный эффект, связанный с внедрением электричества в сельскохозяйственное производство. Одновременно были испытаны и проверены в условиях хозяйственной эксплуатации многие образцы электрифицированных машин и установок, в частности электрический трактор оригинальной советской конструкции.

Война и немецко-фашистская оккупация некоторых районов нашей страны нанесли большой ущерб делу электрификации сельского хозяйства. Оккупации и разрушению подверглись как раз районы с наиболее широко развитой сельской электрификацией (УССР, Северный Кавказ, Крым, Ленинградская область и др.). Ряд крупных сельскохозяйственных электростанций, которые были гордостью сельской электрификации (например, Корсунь-Шевченковская ГЭС в Киевской области и др.), были немцами при отступлении взорваны, опоры линий электропередач спилены, электрооборудование из колхозов, иногда включая и внутреннюю электропроводку, вывезено.

В этих районах сельскую электрификацию приходится сейчас восстанавливать заново. Но война не приостановила дальнейшего развития электрификации сельского хозяйства, и в годы 1941—1945 в целом ряде областей нашего Союза

продолжалась успешная работа по строительству сельскохозяйственных электростанций и электрификации колхозов.

Как передовую в деле развития сельской электрификации в годы войны следует отметить Свердловскую область. По инициативе Свердловского обкома ВКП(б) и при широкой поддержке многочисленных промышленных предприятий области началось массовое движение за сельскую электрификацию на базе использования богатых местных энергетических ресурсов. Свердловская область достигла больших успехов и является сейчас первой областью широкой электрификации сельского хозяйства, в которой 50% всех колхозов пользуются электрической энергией, а в трех районах области — Манчажском, Егоршинском и Верх-Пышлинском — электрификацией охвачены все 100% колхозов.

Массовое движение за широкую электрификацию сельского хозяйства развернулось и в ряде других областей и республик Союза (Молотовская, Ярославская, Горьковская, Челябинская, Московская области, Узбекская, Грузинская и Армянская республики и др.).

Важное значение в деле развития сельской электрификации сыграло постановление правительства от 8 февраля 1945 г., подписанное товарищем Сталиным, о широком строительстве мелких сельскохозяйственных электростанций и электрификации колхозов. Постановление предусматривало строительство в 1945 г. 430 малых гидроэлектростанций на общую мощность 8 600 kW и подготовку к строительству 2 565 малых ГЭС на общую мощность 51 300 kW.

К делу помощи сельской электрификации этим постановлением привлекались многие промышленные предприятия. С целью усиления руководства электрификацией Всесоюзная хозяйственная контора по строительству и монтажу сельских электроустановок была преобразована в Главное управление по сельской электрификации.

В результате успешного завершения плана, намеченного постановлением, общая мощность всех электроснабжающих установок в сельском хозяйстве к началу 1946 г. возросла до 269,7 тыс. kW. Потребление электроэнергии в сельском хозяйстве увеличилось до 375 млн. kWh в год.

Анализ количественных и качественных показателей развития сельской электрификации показывает, что в деле электроснабжения сельского хозяйства все большее значение приобретают мелкие гидроэлектростанции. Удельный вес их в общем числе всех сельскохозяйственных источников электроснабжения с 10,5% в 1937 г. поднялся к настоящему времени до 21,5%.

Меняется также характер нагрузки. В сельское хозяйство шире внедряются электрические двигатели. Общее число электрических двигателей, работающих в сельском хозяйстве, достигло 30 тыс. при общей мощности их в 150 тыс. kW. В балансе потребления электроэнергии силовая (моторная) нагрузка из года в год повышает свой удельный вес. С 10% в 1928 г. она выросла

к настоящему времени до 40%. Электроэнергия успешно внедряется во многие области сельского хозяйства.

Основные потребители электрической энергии.

Преимущества электрической энергии открывают широкие перспективы для ее использования в сельском хозяйстве. В настоящее время известно свыше 320 электрифицированных машин и аппаратов, которые могут применяться в сельскохозяйственных районах. Непрерывно предлагаются новые, более совершенные способы использования электроэнергии. Задачей является выбрать наиболее совершенные и эффективные машины и аппараты для первоочередного применения их в хозяйствах нашей страны.

Первоочередными потребителями электроэнергии в сельском хозяйстве являются ремонтные предприятия МТС и совхозы. Современная мастерская по ремонту тракторов и сельскохозяйственных машин не может нормально работать без электропривода, электросварки, электрического освещения и т. д. В настоящее время полностью электрифицировано лишь несколько сот МТС и совхозов. В остальных привод станков осуществляется от нефтяных двигателей, число которых часто приходится доводить до 4—5 на одно предприятие (например, Безенчукская МТС), что создает значительные затруднения в работе и отвлекает большое количество квалифицированного персонала.

Особенно эффективно применение электроэнергии в животноводстве. В связи с необходимостью резкого подъема этой отрасли сельского хозяйства в ближайшие годы нужно особое внимание уделить ее электромеханизации.

В первую очередь подлежат электрификации наиболее трудоемкие процессы животноводства — водоснабжение и кормоприготовление. Уже существующие и изготавливающиеся в нашей стране водяные насосы, силосорезки, корнерезки, жмыходробилки, корнеклубнemoйки при электрическом приводе их дают большой экономический эффект и значительно повышают производительность труда.

Механическая дойка с электроприводом, осуществляемая разработанной в Советском Союзе и изготовлявшейся до войны трехтактной доильной машиной, повышает производительность труда доярки на 100%, избавляет доярку от тяжелого труда и значительно повышает гигиенические качества молока. В животноводческих хозяйствах с числом дойных коров более 50 голов применение механической дойки экономически выгодно. Значительно облегчает труд электропривод машин по первичной переработке молока — сепараторов, маслобоек, холодильников и др.

В целом применение всего комплекса электромеханизации молочного животноводства примерно в два раза повышает производительность труда.

В несколько раз повышает производительность труда электромеханическая стрижка овец. Использование агрегатов для стрижки удается

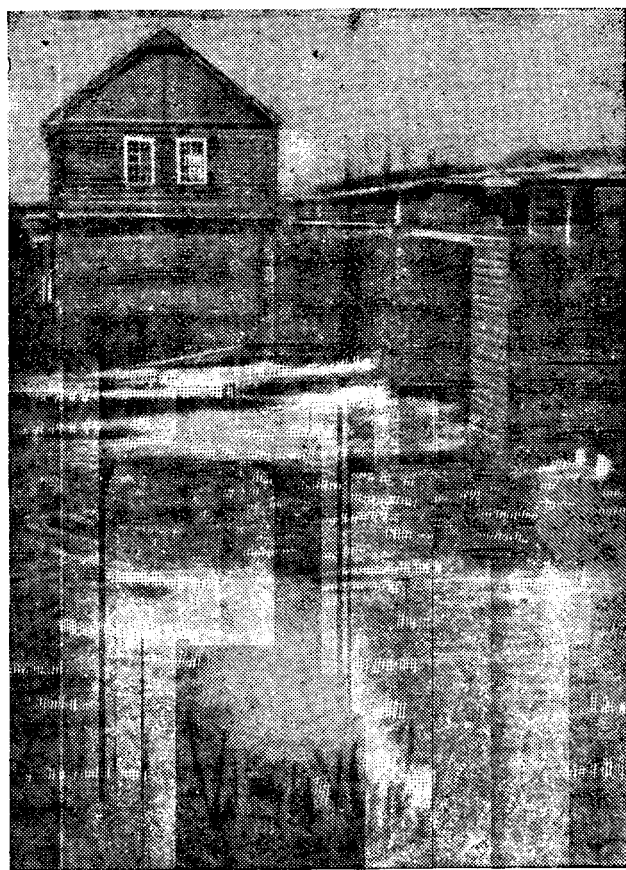


Рис. 1. Гидроэлектростанция колхоза „Гигант“ мощностью 25 kW (село Юрты Тогучинского района Новосибирской области).

значительно сократить сроки этой важнейшей кампании, увеличить производительность труда и улучшить качество шерсти.

Птицеводство как отрасль сельского хозяйства не принадлежит к числу крупных потребителей электроэнергии, однако значение ее электрификации весьма велико. В птицеводстве сравнительно простые технические мероприятия дают большой эффект.

Весьма просто осуществляется добавочное освещение в птичниках с целью повышения яйценоскости кур в зимнее время. Использование обычных ламп накаливания, создающих освещение того же порядка, что и в жилых помещениях, может удлинить рабочий день курицы и повысить выход яиц зимой на 45%. В США свыше 10% электрифицированных ферм с успехом применяют добавочное освещение в птичниках. Общеизвестны преимущества электрических инкубаторов перед керосиновыми или угольными. В них поддерживается высокое постоянство температуры и влажности, отсутствует углекислота, благодаря чему повышается выход цыплят с 60 до 85%. Не меньшее значение имеет применение электробрудеров (искусственных наседок с электрообогревом). Число таких установок в США непрерывно возрастает. Подавляющее количество их изготавливается на фермах по чертежам и описаниям, которые в изобилии издаются колледжами, университетами и другими организациями.

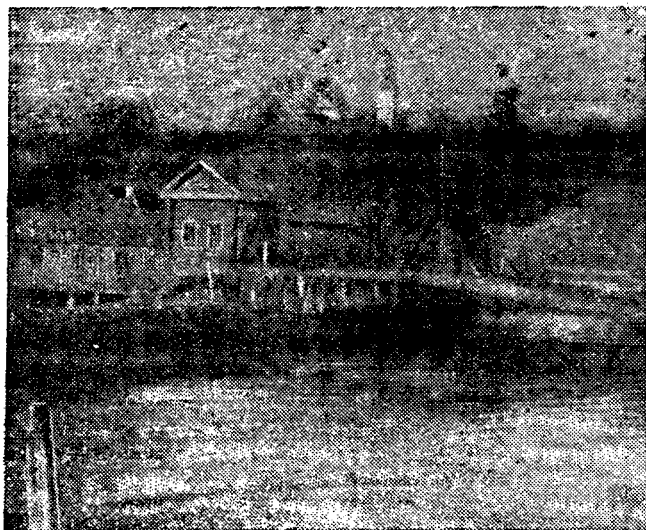


Рис. 2. Каменская с.-х. гидроэлектростанция на реке Укор мощностью 50 kW.

Можно указать еще на некоторые мелкие электрифицированные процессы птицеводства — кормоприготовительные машины, подогрев воды для питья и т. д. Все такие установки позволяют значительно поднять эффективность птицеводческих хозяйств.

До войны электрификация молотбы в Советском Союзе достигала значительных размеров. Всего по Союзу перед войной работало до 5 000 электромолотильных пунктов. Наибольшая эффективность электрификации достигается с применением на молотильном току простейшей механизации подачи хлебной массы и зерна и удаления отходов. При этом условии для молотилки МК-1100 получают следующие показатели:

Сравнительная эффективность электро- и тракторной молотбы

Показатели	Электро-молотбы	Тракторная молотбы
Количество обслуживающего персонала	16—17	31—35
Число лошадей, работающих на току	Не требуется	6
Потери зерна, %	1,4	2,9
Расход жидкого топлива, kg.t зерна	нет	5—6

Кроме того, применение электрического освещения позволяет вести ночную работу молотилок без снижения их производительности, чем в 1,3—1,5 раза ускоряется обмолот хлеба.

В электрифицированных районах электромолотбы должна найти широкое применение наряду с электроприводом зерноочистительных и сортировочных машин.

Орошение огородных культур является одним из крупнейших потребителей электроэнергии. В США почти треть всей электроэнергии, потребляемой в сельском хозяйстве, идет на

нужды орошения, в основном она расходуется только в одном штате — Калифорния. В Сталинградской и Запорожской областях, где электроорошение начало развиваться до войны, оно потребляло 50—60% расходуемой в сельскохозяйственных районах электроэнергии.

Для привода насосов могут быть использованы те же электродвигатели, которые позже, при уборке, будут работать на молотбе. Например, в Саратовской области одни и те же двигатели с мая по конец июля работали на оросительных установках, а с конца июля по сентябрь они использовались на молотбе. Все эти обстоятельства позволяют считать орошение одним из первоочередных потребителей электроэнергии в сельском хозяйстве.

Экономическое значение электрического освещения в производстве и быту не поддается непосредственному учету и часто недооценивается. Помимо бесспорной положительной роли освещения в повышении производительности труда в МТС, на колхозных фермах и т. п., и бытовое освещение также косвенно способствует повышению производительности, удлиняя пригодное для работы время в домашнем хозяйстве колхозника. Культурно-политическое значение электрического освещения в деревне настолько велико, что его трудно переоценить.

Еслед за электрическим освещением широкое распространение должны получить бытовые электрические приборы.

Опыт США показал, что применение бытовых электроприборов значительно повышает производительность труда домашней хозяйки, позволяя ей уделять больше времени непосредственно сельскохозяйственному производству. При полном наборе бытовых приборов по американским данным экономится до 26 рабочих дней в году на каждого члена фермерской семьи.

Первоочередное применение в быту колхозников должны найти стиральные машины и электрические утюги (в США 66% электрифицированных ферм имеют стиральные машины, 85% — утюги). Эти приборы дают наибольшую эффективность. Необходимо также внедрить в местах, имеющих дешевую электроэнергию, плиты для приготовления пищи и водоподогреватели. Большие задачи стоят в области строительства радиоузлов в районных центрах и отдельных поселениях.

В условиях колхозного быта следует также ориентироваться на крупные бытовые предприятия общеколхозного значения — электрифицированные хлебопекарни, бани, прачечные и т. д.

Можно не сомневаться в том, что при наличии дешевой электроэнергии и соответствующих приборов бытовая нагрузка в сельских районах будет расти необычайно быстрыми темпами.

В сельских районах имеется большое количество потребителей электроэнергии, не имеющих прямого отношения к сельскохозяйственному производству. Но в то же время по своему значению они часто подлежат электрификации в первую очередь. Сюда можно отнести нагрузку

по освещению и коммунальным нуждам районных центров, железнодорожных станций и т. д. К этому же разделу относятся различные предприятия по первичной переработке сельскохозяйственных продуктов, предприятия местной и кустарной промышленности, складские помещения заготовительных организаций и многие другие (элеваторы, мельницы, кирпичные заводы, лубяные заводы, различные предприятия по обработке дерева и металла и т. д.).

Исключительное значение проблемы электрификации обработки почвы и уборки урожая общеизвестно. Только тогда, когда электроэнергия начнет применяться и в такой важнейшей отрасли сельского хозяйства, какой является полеводство, можно будет говорить о полной электрификации сельскохозяйственного производства.

Необходимо подчеркнуть, что мы не так далеки от решения этой задачи. Многолетние опыты, производимые ВИМЭ, приводят к весьма убедительным результатам. Окончательно доказаны нецелесообразность применения электропыхотных агрегатов канатно-лебедочного типа и значительные преимущества перед ними электрических тракторов с кабельным способом питания. В таких тракторах используются ходовая часть обычных тепловых тракторов (ЧТЗ и СТЗ-НАТИ), но двигатель внутреннего сгорания заменяется электрическим с дополнительной установкой барабана для наматывания кабеля. Кабель длиной 750 м присоединяется к линии высокого напряжения с помощью передвижной понизительной станции. Таким образом, на 1 га обрабатываемой площади требуется только 7 м высоковольтной линии.

Электротракторы конструкции ВИМЭ свыше 7 лет эксплуатируются в Энгельской МТС Саратовской области и хорошо зарекомендовали себя в трудных военных условиях. Достаточно упомянуть, что на каждый трактор на базе СТЗ-НАТИ экономится в год до 20 т жидкого топлива и на 70% сокращается расход смазки; высвобождаются два человека и три лошади, обычно необходимые для подвозки горючего и воды для каждой пары тепловых тракторов. В четыре раза сокращаются расходы на запчасти и ремонт, ибо исключается тепловой двигатель, требующий наибольших ремонтных работ. Наконец, во много раз упрощается и облегчается управление электротрактором. Это позволяет использовать в качестве водителей электротракторов работников невысокой квалификации и физически менее сильных.

Помимо перечисленных преимуществ электротрактор может широко использоваться в зимнее время на приводе мельниц, крупорушек, молотилок и многих других машин. При этом все преимущества электрического привода сохраняются полностью.

Несколько десятков электротракторов ВИМЭ успешно работают в торфообрабатывающей промышленности на вывозке торфа и других работах.

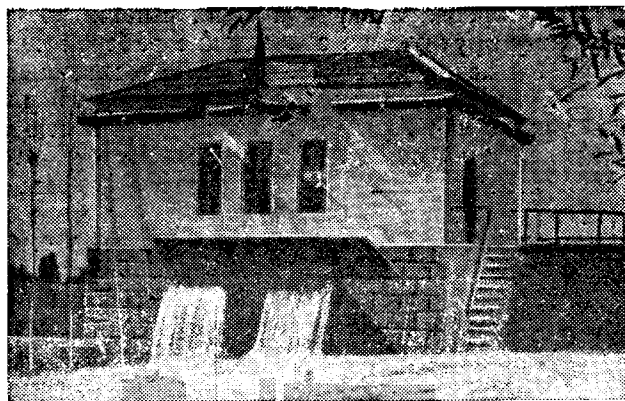


Рис. 3. Гидроэлектростанция колхоза „Полярная звезда“ Ташкентской области, Узбекская ССР.

Проблема электротракторов в настоящее время выходит из опытной стадии. Необходимо сделать первые шаги к их хозяйственному применению, выпустив первые партии этих машин и сосредоточив их в отдельных электрифицированных МТС. Областные организации Свердловска приступили к производству электротракторов на местных заводах.

Что касается электрических сетей для питания электротракторов, то подсчеты показывают, что от существующих сельских электросетей (около 12 000 км), проходящих по полям, могут работать свыше трех тысяч электротракторов, обрабатывая ежегодно до одного миллиона (в натуральном выражении) гектар. Подробное обследование сетей Подмосквовного района показало, что только в трех районах Московской области могут работать 150 тракторов, обрабатывая 25—27 тыс. га.

Таким образом, выпуск первых партий электротракторов является задачей сегодняшнего дня. Само собой разумеется, что на ближайшее время не ставится вопрос о массовой замене тепловых тракторов электрическими.

Наряду с электротракторами, для полеводства большие перспективы имеет применение электротракторов меньшей мощности для овощеводческих хозяйств пригородных районов, обычно насыщенных электроэнергией. В настоящее время проводится испытание опытных образцов огородных тракторов.

Комплексная электрификация. Широкие опытные работы по осуществлению электрификации колхозов со всей очевидностью показали, что наибольший эффект от использования электроэнергии в смысле высвобождения рабочей силы получается только в том случае, когда электро-механизация охватывает все основные, последовательно связанные звенья того или иного производственного процесса.

Например, при электрификации молотбы, если перевести на электрический привод только лишь молотилку, высвободив трактор или нефтяной двигатель, а такие производственные процессы на молотильном пункте, как подача хлеба в молотилку, транспорт соломы и половы, очист-

ка и сортирование зерна и т. п., выполнять по-прежнему вручную, то сокращение рабочей силы получится незначительное. Но раз к молотильному пункту подводится электроэнергия, то уже имеются налицо все необходимые условия и возможности осуществить электромеханизацию всех основных производственных процессов молотбы. Комплексная электрификация процессов позволит в два раза сократить потребную рабочую силу; кроме трактора высвободятся еще 6 лошадей.

Точно такая же картина имеет место и при электрификации животноводческой фермы.

Более широкий охват электрификацией производственных процессов, т. е. внедрение большего числа электродвигателей, водоподогревательных устройств и т. п., дает не только огромный производственный эффект, но и ведет к значительному улучшению режима работы сельскохозяйственной электростанции, уплотняя суточный график ее работы и повышая использование электрических сетей и всего электрооборудования.

Энергоснабжение. Широкое применение электроэнергии в сельскохозяйственное производство предъявляет специфические требования к энергетической базе. Чтобы электрифицировать производство, нужно иметь дешевую и высококачественную электроэнергию. Под высоким качеством энергии мы понимаем как постоянство ее параметров — напряжения и частоты, так и бесперебойность ее подачи.

В самом деле, остановка насоса водоснабжения фермы только на одни сутки может привести к большим осложнениям. У таких же потребителей, как электроинкубаторы, брудергаузы, теплицы и парники с электронагревом либо с искусственной циркуляцией теплоносителей это приведет к потере всей продукции. Понятно, почему производственные потребители при наличии в районе плохо работающей электростанции отсоединяются от ее сетей и ставят у себя нефтяные двигатели. Число таких карликовых установок в отдельных пунктах исчисляется десятками.

Наилучшей формой электроснабжения сельского хозяйства, так же как и промышленности, является присоединение сельских районов к сетям крупных энергосистем. Присоединение производственных нагрузок сельского хозяйства (сиропение, отчасти электромолотбы, а в перспективе электротракторы) весьма выгодно для самих же энергосистем. Все эти потребители имеют максимум нагрузки летом, как раз в тот период, когда энергосистемы располагают, даже учитывая ремонт агрегатов, некоторой свободной мощностью. Таким образом, развитие комплексной электрификации является не только совершенно необходимым для самого сельского хозяйства, но и выгодным с точки зрения экономики крупных энергосистем.

Однако, в условиях Советского Союза базировать энергоснабжение сельского хозяйства только на крупных энергосистемах, как это делают многие зарубежные страны, нельзя.

В зарубежных странах со сравнительно не-

большой территорией распространена практика присоединения всех сельскохозяйственных потребителей к мощным энергосистемам (Голландия, Бельгия, отчасти Англия). Такая крупная страна, как США, имеет возможность присоединить свыше 50% своих ферм к сетям сельскохозяйственных электростанций. В Советском Союзе этот процент значительно ниже и не превышает в настоящее время 15—25%.

Развивая электрификацию сельских местностей, расположенных в зоне действия сетей крупных энергосистем, следует широко развертывать строительство специальных сельскохозяйственных электростанций, использующих местные энергоресурсы, в первую очередь гидроэнергию. В этом заключается особенность электрификации сельского хозяйства в нашей стране.

Особо следует остановиться на задаче использования энергии ветра для нужд сельской электрификации. Энергия ветра должна в первую очередь широко использоваться для механического привода таких машин, как мельницы, насосы для водоснабжения и орошения, кормоприготовительные машины и т. д. В то же время нужно провести ускоренными темпами работы по созданию ветроэлектростанций, предназначенных для параллельной эксплуатации со станциями гидравлическими и тепловыми. Только при условии параллельной работы фактор непостоянства ветра будет сглаживаться энергией воды или топлива и использование ветроэлектростанций станет вполне экономичным. К сожалению, опытные работы в этой области до настоящего времени не проводятся, что тормозит развитие использования ветровой энергии как источника для привода электрических установок.

Распределение электроэнергии. Сельскохозяйственная нагрузка характеризуется большой разбросанностью при относительно малой мощности потребителей. В связи с этим распределение электрической энергии требует большой затраты средств и металла. В существующих установках приходится вкладывать до 200 кг металла (в основном железа) в виде проводов на каждый установленный киловатт нагрузки. Вопросу рационализации распределения электроэнергии следует поэтому уделять большое внимание. Весьма показателен, например, тот факт, что резкому увеличению числа электрифицированных ферм США предшествовала большая работа по созданию облегченных сельских электросетей.

Существующие в СССР способы распределения электроэнергии в сельском хозяйстве с относительно мощными трехфазными понижающими подстанциями и тяжелыми сетями низкого напряжения, механически перенесены из коммунальной и промышленной практики. Этим объясняется высокий расход металла на сельские электрические сети.

В настоящее время ВИМЭ разработаны мероприятия, позволяющие значительно облегчить и удешевить электрические сельскохозяйственные сети. К наиболее простым и доступным

к немедленному осуществлению мероприятиям относится использование земли в качестве силового провода, так называемая система «Два провода—земля» (ДПЗ). До войны свыше 1 500 км сельскохозяйственных высоковольтных сетей успешно работали на этой системе, давая экономии, равную $\frac{1}{3}$ металла проводов и изоляторов. В Грузии в настоящее время линии высокого напряжения сельскохозяйственного назначения в подавляющем большинстве выполнены по системе ДПЗ и бесперебойно работают в продолжение многих лет.

Все вопросы, связанные с расчетом, строительством и эксплуатацией сетей ДПЗ, разработаны и проверены массовым опытом настолько, что позволяют выдвигать эту систему, как основную при строительстве сельскохозяйственных электросетей.

Еще более эффективно применение разработанной ВИМЭ так называемой смешанной однофазно-трехфазной системы распределения электроэнергии на высоком напряжении. Применение этой системы дает общее сокращение расхода металла проводов сетей высокого и низкого напряжения на 50%, снижение стоимости их на 15—25%.

Однако, применение смешанной системы требует постановки массового производства однофазных трансформаторов 3—10 kVA, однофазных электродвигателей мощностью до 8 л. с. и облегченной аппаратуры высокого напряжения. Соответствующее оборудование разработано; требуется обеспечение выпуска его в количествах, удовлетворяющих потребностям сельскохозяйственных электростанций, и тогда смешанная система распределения электроэнергии сможет занять преобладающее место в сельском хозяйстве. При этой системе использование земли в качестве силового провода осуществляется с тем же успехом, и магистральные линии получаются двухпроводными, а однофазные ответвления к потребителям — однопроводными.

Перспективы сельской электрификации. План развития электрификации сельского хозяйства на ближайшее пятилетие определен решением Верховного Совета. Введение в действие всех электроснабжающих установок в сельском хозяйстве, предусмотренных планом, позволит осуществить электрификацию всех МТС и совхозов и примерно около $\frac{1}{3}$ всех колхозов. Последующие пятилетки дадут еще более высокие темпы нарастания мощностей источников электроэнергии и охвата электрификацией колхозов.

Какие грандиозные перспективы открываются перед сельской электрификацией в самом недалеком будущем, показывают хотя бы те ориентировочные цифры о мощностях электрических установок и о потреблении электроэнергии в сельском хозяйстве, которые могут быть получены расчетом.

Опыт работы большого числа колхозов с достаточно электрифицированным хозяйством дает основание считать, что при осуществлении в ши-

роком смысле слова принципа комплексной электрификации, охватывающей основные процессы сельскохозяйственного производства, потребление электроэнергии в среднем на один колхоз (на 80 колхозных дворов) составит примерно 80 тыс. kWh в год.

Охват электрификацией 100% всех МТС и совхозов и до 90% всех колхозов, а также всех предприятий по первичной обработке сельскохозяйственных продуктов и других потребителей, находящихся в сельскохозяйственных районах, определяет суммарное годовое потребление электрической энергии в сельском хозяйстве примерно в 25 млрд. kWh. Среднее годовое число часов использования всех электроснабжающих установок в сельском хозяйстве в 1940 г. составляло 1 550. Мелкие электростанции, как об этом свидетельствуют материалы обследований, имеют среднее годовое число часов использования от 1 000 до 1 200 и подстанции, питающие сельское хозяйство от крупных электрических станций, до 2 000.

Если учесть постепенное укрупнение сельскохозяйственных электростанций, объединение их в системы, — сначала автономные, а затем связанные с крупными электрическими системами, — а также иметь в виду мероприятия по рационализации работы мелких электростанций, в частности по максимально возможной автоматизации мелких гидроэлектростанций, то можно с достаточным для данного случая основанием считать, что годовое число часов использования в среднем для всех электроснабжающих установок в сельском хозяйстве поднимется до 2 500. Тогда установленная мощность сельскохозяйственных электростанций и подстанций районных электросистем должна будет составить примерно 10 млн. kW.

Научно-исследовательские проблемы сельской электрификации. Учитывая предстоящий огромный размах нового строительства в области сельской электрификации, основными задачами научно-исследовательской работы на предстоящее пятилетие следует считать:

1. Повышение качества электрического оборудования сельскохозяйственных электрических станций, подстанций, электрических сетей и электрических приемников энергии.

2. Удешевление строительства, монтажа и эксплуатации сельскохозяйственных электростанций.

3. Внедрение современной технической культуры в обслуживание сельскохозяйственных электрических установок.

Эти важнейшие задачи находят себе конкретное выражение в следующих основных научных проблемах, выдвигаемых в пятилетнем плане:

1. Создание новых рациональных типов и образцов электрического оборудования применительно к условиям сельского хозяйства.

2. Разработка теоретических и технических вопросов, связанных с созданием и работой электросистем малой мощности в сельскохозяйственных районах.

3. Установление эффективности электрификации сельского хозяйства в отношении — отдельных производственных процессов, типов хозяйств и различных сельскохозяйственных районов.

Учитывая большое разнообразие научной тематики, а также имея в виду сложившийся к настоящему времени профиль инженеров и научных работников по сельской электрификации, всю тематику необходимо разбить по разделам: I. Производство электрической энергии. II. Передача и распределение электрической энергии. III. Использование электрической энергии.

В самостоятельный раздел выделяются все вопросы технико-экономического характера.

К числу научных задач в области *производства электрической энергии* относятся примерно следующие темы:

1. Создание электрического генератора переменного тока для мелких сельскохозяйственных электростанций.

2. Создание электромеханического авторегулятора напряжения и числа оборотов применительно к гидроэлектростанциям малой мощности.

3. Разработка схем автоматизации и полуавтоматизации малых сельскохозяйственных гидроэлектростанций.

4. Разработка защитной и контрольной электрической аппаратуры для сельскохозяйственных электростанций малой мощности.

5. Исследование технических принципов объединения сельскохозяйственных электростанций в общую энергоэлектрическую систему района.

6. Разработка теории параллельной работы синхронного и асинхронного генераторов соизмеримой мощности.

7. Изучение опыта передовых сельскохозяйственных электростанций и распространение этого опыта среди всех электростанций.

8. Составление правил рациональной технической эксплуатации сельскохозяйственных электростанций.

По разделу *передачи и распределения электрической энергии* поставлены следующие задачи:

1. Создание новых образцов выключающей и защитной аппаратуры для сельскохозяйственных электролиний и сетей.

2. Создание для безлесных районов нового типа опоры для линий электропередачи и электрических сетей сельскохозяйственного назначения.

3. Разработка автоматического ограничителя тока простейшего типа применительно к сельскохозяйственным электроустановкам.

4. Изучение опыта длительной эксплуатации в ряде сельскохозяйственных районов Союза экономичной системы передачи электрической энергии с использованием земли в качестве провода с целью широкого внедрения этой системы в сельских районах.

5. Осуществление в 2—3 районах смешанной системы распределения электрической энергии и хозяйственное испытание ее как новой экономической системы для сельскохозяйственных районов.

6. Изучение работы электрических линий сетей и трансформаторных подстанций, обслуживающих вновь построенные мелкие гидроэлектростанции (на ряде объектов), с целью разработки мероприятий по улучшению их проектирования строительства и эксплуатации.

Из числа вопросов, касающихся *использования электрической энергии*, можно назвать следующие темы:

1. Создание новых образцов электрического трактора (полевого, огородного и электрофрезы).

2. Разработка новых образцов электронагревательных аппаратов для производственных и бытовых нужд.

3. Разработка образцов электроустановочной аппаратуры применительно к условиям производства их на месте.

4. Разработка теории и опытных образцов однофазных электрических двигателей малой мощности применительно к смешанной системе распределения электрической энергии.

5. Разработка теории и методов расчета электропривода к сельскохозяйственным машинам с учетом работы его от электростанций и подстанций малой мощности.

6. Изучение передового опыта комплексной электрификации колхозов и районов и разработка мероприятий по улучшению проектирования монтажа и эксплуатации установок по использованию электроэнергии в сельских хозяйствах.

7. Теоретическая и экспериментальная разработка вопроса о специальных видах применения электричества в сельском хозяйстве (ультравысокая частота, инфракрасные лучи, ультрафиолетовое облучение, воздействие лучистой энергии и т. п.).

В области *технико-экономического исследования* необходимо разрешение следующих задач:

1. Изучение эффективности электрификации отдельных производственных процессов, различных типов электрифицированных хозяйств и районов.

2. Разработка принципов рациональной организации и управления сельскохозяйственными электроустановками (персонал, планирование, отчетность, ремонт, снабжение).

3. Установление различных методов учета и тарификации электроэнергии в сельскохозяйственных электроустановках.

5. Установление рациональных параметров сельскохозяйственных распределительных электрических сетей.

Решение всего комплекса научных и технических проблем, стоящих перед сельской электрификацией СССР возможно лишь при обязательном условии, что в разработке их примут участие представители всех областей советской электротехники. Работники электрических станций, сетей, электропромышленности должны оказать существенную помощь развитию самой молодой отрасли электрификации нашей страны — сельской электрификации.



Итоги и перспективы электрификации сельского хозяйства СССР

С. В. ЩУРОВ

Главсэлектро, Министерство земледелия СССР

К началу войны в СССР насчитывалось свыше 10 тыс. сельских электроустановок на общую мощность 275 тыс. kW. Сельское хозяйство потребляло в год 425 млн. kWh электроэнергии. Было электрифицировано 10 тыс. колхозов и 2,5 тыс. машинно-тракторных станций.

Таблица 1

Основные показатели развития сельской электрификации СССР в предвоенный период (на конец года)

Наименование показателей	1916 г.	1924 г.	1928 г.	1932 г.	1937 г.	1940 г.
Число сельских электроустановок	80	450	694	1 135	7 500	10 825
Мощность сельских электроустановок, тыс. kW	2,0	16,6	29,6	65,9	230,0	275,0
Потребление электроэнергии сельским хозяйством, млн. kWh	1,2	13,2	33,8	95,0	330,0	425,0
Число электрифицированных колхозов	—	—	—	3700	8 000	10000
Число электрифицированных МТС	—	—	—	150	1 750	2 500

Довоенное развитие сельской электрификации в СССР характеризовалось не только количественными, но и значительными качественными сдвигами.

Крайне важным моментом в динамике довоенного электроснабжения сельского хозяйства является возрастание роли подстанций от крупных несельскохозяйственных электростанций, т. е. районных, промышленных и городских. В начале первой пятилетки (1928—1930 гг.) ежегодный прирост мощности подстанций от несельских электростанций составлял около 10% общего ежегодного прироста мощности. В 1932 г. он достиг 40%. В отдельные годы второй пятилетки около 75% прироста мощности сельских электроустановок падало на подстанции от районных, промышленных и прочих крупных станций. К началу войны почти 50% мощности сельских электроустановок относилось на долю подстанций от несельских электростанций.

Наряду с максимально возможным использованием для целей электрификации сельского хозяйства крупных электростанций общего пользо-

вания, важнейшей задачей в области электроснабжения сельского хозяйства являлось (и является сейчас) строительство сельских электростанций, использующих местные энергетические ресурсы, в первую очередь малых сельских гидроэлектростанций. С этой точки зрения структура электроснабжения сельского хозяйства до войны оставалась еще не вполне удовлетворительной (табл. 2).

Таблица 2

Виды электроснабжения сельского хозяйства (на конец года в тыс. kW)

Типы установок	1916 г.	1924 г.	1928 г.	1932 г.	1937 г.	1940 г.
Подстанции от несельскохозяйственных электростанций	—	0,04	0,06	12,9	114,8	137,0
Сельские электростанции						
а) гидростанции	0,7	3,9	7,1	8,8	25,2	35,0
б) локомобильные	0,4	3,2	6,5	8,2	11,5	13,5
в) дизельные	0,5	5,0	8,9	24,5	30,7	34,0
г) с нефтяным двигателем быстрого сгорания	0,2	3,9	5,6	7,3	39,0	44,7
д) тракторные	—	0,01	0,03	3,1	7,0	8,0
е) газогенераторные	0,2	0,6	0,9	1,1	1,8	2,8
Мощность сельских электростанций	2,0	16,6	29,0	53,0	115,2	138,0
Мощность сельских электроустановок	2,0	16,6	29,6	65,9	230,0	275,0

Мощность сельских гидроэлектростанций в 1940 г. составляла 26% от мощности сельских электростанций и 13% от мощности всех сельских электроустановок. Прирост электростанций, использующих местное топливо (локомобильных и газогенераторных), был невелик, их удельный вес падал и в тепловых сельских электроустановках доминировали станции на привозном жидком топливе. В известной мере это объяснялось тем, что тепловые электростанции в значительной своей части строились для электрификации МТС, располагавших обычно дизелем или нефтяным двигателем и хорошо обеспеченных жидким топливом.

Таблица 3

Распределение потребляемой сельским хозяйством электроэнергии по отраслям и процессам сельскохозяйственного производства

Отрасли и процессы	1916 г. млн. kWh		1924 г. млн. kWh		1928 г. млн. kWh		1932 г. млн. kWh		1937 г. млн. kWh		1940 г. млн. kWh	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Животноводство	—	—	—	—	—	—	3,6	3,8	38,0	11,5	43,9	11,5
Птицеводство	—	—	—	—	—	—	2,0	2,1	5,3	1,6	6,8	1,6
Хлопковое и овощное хозяйство	—	—	—	—	—	—	2,0	2,1	4,9	1,5	6,8	1,6
Ремонтные мастерские	—	—	—	—	—	—	23,6	24,9	60,0	18,2	79,9	18,8
Молотьба	—	—	—	—	0,3	0,9	2,5	2,5	30,0	9,1	30,0	7,1
Орошение	—	—	—	—	—	—	1,2	1,3	5,3	1,6	8,1	1,9
Бытовая нагрузка	1,16	97,0	11,2	85,0	21,0	62,1	39,4	41,5	136,5	41,3	181,5	42,7
Прочие потребители	0,04	3,0	2,0	15,0	12,5	37,0	20,7	21,7	50,0	15,2	63,0	14,8
Итого . . .	1,2	100,0	13,2	100,0	33,8	100,0	95,0	100,0	330,0	100,0	425,0	100,0

Остановимся на технических характеристиках сельских электроустановок и на тех изменениях, которые происходили в этой области.

Прежде всего отметим непрерывное возрастание средней мощности сельских электростанций. Сельские электростанции периода постройки 1919—1924 гг. имели среднюю мощность 35 kW, в 1925—1927 гг. 50, в 1928 г. — 70, достигнув уровня 50—70 kW к началу войны. Дальнейшему укрупнению мощности препятствовал дефицит двигателей и генераторов мощностью свыше 100 kW.

Резкие изменения произошли в выборе рода тока и напряжения. В 1924 г. 70% (по мощности) сельских электроустановок были постоянного тока. В 1928 г. мощность установок переменного тока составляла 49,4%, в 1932 г. — 72,6%, в 1940 г. уже свыше 90% сельских электроустановок (по мощности) являлись установками переменного тока.

С ростом электроустановок переменного тока росло и число их, использующих высокое напряжение.

В 1924 г. только 12% (по мощности) сельских электроустановок были высокого напряжения, в 1928 г. — 33,8%, в 1932 г. — 53%, в 1940 г. — свыше 80%. Вновь строившиеся перед войной электростанции, как правило, трансформировали напряжение, за исключением тепловых электростанций, обслуживающих МТС, где сосредоточенная нагрузка позволяла строить станции в непосредственной близости от потребителя.

Крупные изменения произошли в системе распределения электроэнергии. Сельское потребление характеризуется малой плотностью нагрузки и тем самым требует большого строительства электрических сетей. По размерам сетевого строительства сельское хозяйство перед войной шло в первом ряду по сравнению с другими отраслями народного хозяйства. В предвоенные годы ежегодно сооружалось около 2 500—3 000 км высоковольтных линий электропередач и 2 000—3 000 км низковольтных сетей специально сельскохозяйственного назначения. Столь большое линейное строительство при необходимости

экономии проводникового материала, заставило обратить особое внимание на повышение напряжения в сельских сетях.

В высоковольтных сетях сельских электроустановок периода до 1926 г., как правило, применялось напряжение 3 kV, в низковольтных — 110 и 220 V. С 1927 г. начинается строительство 6-kV линий с использованием (с 1930 г.) в низковольтных сетях напряжения 380/220 V, которое в настоящее время является наиболее распространенным в сельском хозяйстве. С 1934 г. значительное количество высоковольтных сельских линий строится уже на напряжение 10 kV, отдельные магистральные линии строятся даже на напряжение 35 kV. Протяженность их до войны составляла несколько сот километров. В сельском электростроительстве впервые в СССР стали широко применять систему «два провода — земля» и использовать в качестве основного проводникового материала для воздушных сетей железо (однопроволочный и многожильный кабель).

Табл. 3 рельефно показывает связь между характером потребления электроэнергии в сельском хозяйстве и коллективизацией сельскохозяйственного производства. До 1930 г. сельская электрификация в основном обслуживала бытовые нужды — освещение. Производственная нагрузка невелика, потребителями ее являются мелкие промышленные предприятия, расположенные в сельской местности.

Коллективизация резко изменила характер электрификации сельского хозяйства. В качестве потребителей выдвигаются на первый план ремонтные мастерские МТС и совхозы, а также колхозы.

В 1932 г. электроэнергия стала применяться в таких отраслях и процессах производства, как: животноводство, птицеводство, хлопковое и овощное хозяйство, орошение. На долю этих новых потребителей пришлось в 1932 г. около 60% всей электроэнергии, используемой сельским хозяйством.

С 1933 г. электричество начинает усиленно применяться на молотьбе (табл. 4).

Таблица 4

Динамика роста числа электромолотильных пунктов

	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1940 г.
Общее количество в уборочную кампанию . .	168	268	551	1 445	2 323	3 851	4 100	5 000

Начиная с 1936 г., рост числа электромолотильных пунктов несколько замедлился вследствие распространения комбайнов.

Значительное распространение перед войной получила электрострижка овец, главным образом в совхозах юга.

Естественен огромный спрос на электроустановки со стороны животноводства для механизации процессов кормоприготовления, водоснабжения, дойки коров, стрижки овец и т. д. Перед войной мы имели несколько тысяч колхозных товарных ферм, в той или иной степени использующих электроэнергию для ряда производственных процессов. Был создан специализированный (Сумский) завод для производства электродоильных агрегатов.

В последние годы перед войной большие успехи сделало применение электричества для орошения.

Большое распространение имело электричество в птицеводческом хозяйстве, главным образом для целей вентиляции инкубаторов. Осуществлялись широкие опыты в производственных условиях по применению электричества для обогрева теплиц.

В целом диапазон использования электроэнергии перед войной с каждым годом расширялся.

Война нанесла значительный ущерб сельской электрификации и СССР. Свыше $\frac{2}{3}$ сельских электростанций на временно оккупированной врагом территории были разрушены.

Для сельского электростроительства в 1941—1944 г. характерно развитие работ в целях обслуживания нужд, актуальных в условиях военного времени.

Военные условия прежде всего заставили обратить основное внимание на электрификацию ремонтных предприятий в сельском хозяйстве (МТС, МТМ, ремонтные заводы). В 1941—1944 гг. было электрифицировано 584 подобных предприятия, что превысило довоенный темп их электрификации.

Стремление высвободить тракторы от стационарных работ повлекло за собой усиление внимания к электромолотбе. За годы войны было реставрировано и вновь организовано в 1941 г. — 500, 1942 г. — 669, 1943 г. — 735, 1944 г. — 865 пунктов электромолотбы.

Не было прекращено и строительство малых гидроэлектростанций с целью удовлетворения актуальных по условиям военного времени нужд.

В 1941—1944 гг. было введено в эксплуатацию 173 сельских гидроэлектростанций.

В 1943—1944 гг. были проведены большие работы по восстановлению сельского электрохозяйства на освобожденной территории.

Переломным годом в развитии сельской электрификации явился 1945 г., когда правительство приняло специальное постановление «О развитии сельской электрификации». Постановление указывало на важное хозяйственное значение сельской электрификации, утверждало плановые задания по сельской электрификации на 1945 г. в размерах, обеспечивающих резкий сдвиг сельского электростроительства, и предусматривало ряд существенных мероприятий, подводивших материальную и организационную базу, соответствующую новым масштабам работ по сельской электрификации.

Результаты работы 1945 г. в области сельской электрификации и сопоставление объема сельского электростроительства за этот год с предшествующими приведены в табл. 5.

Таблица 5

Сельское электростроительство в 1945 г.

Показатели	Состояние на 1 января 1945 г.	Прирост за:		Прирост за 1945 г.
		1940 г.	1944 г.	
Общая мощность сельских электростанций, тыс. kW	200,0	12,0	10,1	69,7
Количество сельских гидроэлектростанций	768	92	56	601
Количество сельских тепловых электростанций	5 755	60	145	901
Число электрифицированных колхозов	9 000	700	123	2 422

Особенно большой размах получило в 1945 г., в соответствии с постановлением правительства, строительство малых сельских гидроэлектростанций. Была введена в эксплуатацию 601 гидроэлектростанция на общую мощность 18,4 тыс. kW, количество же сельских гидроэлектростанций на 1 января 1945 г. составляло 768 при общей их мощности 39,7 тыс. kW.

1945 г. характеризуется не только количественным ростом сельского электростроительства, но и изменением методов проведения работ.

В ряде областей (Свердловской, Молотовской, Ярославской, Горьковской и др.) работы по сельской электрификации в 1945 г. приняли характер массового народного движения, в которое были вовлечены десятки тысяч колхозников, сотни промышленных предприятий и т. д., помимо специализированных организаций (контор и трестов системы Главсельэлектро Министерства земледелия СССР).

Такой метод работы позволил, например, Свердловской области электрифицировать за 1945 г. 50% колхозов области и поставить на 1946 г. вполне реальную задачу завершения электрификации всех МТС, совхозов и колхозов области.

Рост работ по сельской электрификации в 1945 г. не случаен; он связан с необходимостью всемерного повышения производительности сельскохозяйственного труда, с задачами восстановления и дальнейшего развития народного хозяйства.

По внедрению электроэнергии в производственные процессы сельского хозяйства 1945 г. также дал существенные сдвиги. За 1945 г. установлено в сельском хозяйстве вновь 9 тыс. электродвигателей, общее же число электродвигателей, работавших в сельском хозяйстве к началу войны, оценивается цифрой порядка 30 тыс. штук. В 1945 г. было восстановлено 1 068 и вновь организовано 938 электромолотильных пунктов. Значительное число электродвигателей установлено для привода кормоприготовительных машин, водоснабжения, на зерноочистительных машинах, мельницах и т. д.

Состояние сельской электрификации на 1 января 1946 г. к началу новой пятилетки характеризуется в целом табл. 6.

1945 г. был ступенью к широким работам по сельской электрификации, намеченным на пятилетку 1946—1950 гг.

Закон о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1940—1950 гг., принятый Сессией Верховного Совета СССР, поставил задачу: «Обеспечить массовое строительство в сельских местностях небольших гидроэлектростанций, ветростанций и тепловых электростанций с локомобильными и газогенераторными двигателями». Закон конкретизирует, что строительство тепловых электростанций на местном топливе должно осуществляться в тех районах, где нет гидроресурсов. Тем самым подчеркивается ведущая роль в электроснабжении сельского хозяйства в текущей пятилетке малых сельских гидроэлектростанций. Прирост мощности этих станций за 1946—1950 гг. определен законом в размере 1 млн. kW. На 1 января 1946 г. мощность сельских гидроэлектростанций составляла 58,2 тыс. kW. Сопоставление этих цифр дает представление о масштабе работ и о темпах роста сельской электрификации в текущую пятилетку. Для обеспечения электроэнергией сельских районов, не обладающих гидроресурсами, за период 1946—1950 гг. необходимо соорудить тепловые сельские электростанции на общую мощность 300 тыс. kW. Кроме того, возможно использование для целей электрификации сельского хозяйства энергии крупных несельских станций на мощность (по расчету на сельские подстанции) в размере 500 тыс. kW. В целом прирост сельских электроустановок за 1946—1950 гг. должен составить по мощности 1,8 млн. kW.

Эта мощность позволит обеспечить электро-

Таблица 6

Основные показатели сельской электрификации СССР на 1 января 1946 г. (в сопоставлении с данными на 1 января 1941 и 1915 гг.)

Показатели	На 1 янв. 1911 г.	На 1 янв. 1945 г.	На 1 янв. 1946 г.
Число сельских электроустановок	10 825	8 725	11 227
В том числе:			
гидроэлектростанций . .	700	763	1 369
тепловых электростанций	5 550	5 755	6 656
подстанций от несельских станций	4 575	2 202	3 202
Мощность сельских электроустановок, тыс. kW .	275,0	200,0	269,7
В том числе:			
гидроэлектростанций . .	35,0	39,7	58,2
тепловых электростанций	103,0	107,9	125,3
подстанций от несельских электростанций .	137,0	52,4	86,2
Потребление электроэнергии сельским хозяйством, млн. kWh	425,0	300,0	375,0
Число электрифицированных:			
колхозов	10 000	9 000	11 422
МТС	2 500	2 600	3 282

энергией все совхозы, МТС и ремонтные предприятия в сельском хозяйстве, а также 70 тыс. колхозов. Для распределения этой энергии необходимо соорудить: трансформаторных подстанций на общую мощность порядка 4 млн. kVA, 165 тыс. km высоковольтных линий и 120 тыс. km низковольтных сетей, оборудовать около 20 млн. светоточек и установить 780 тыс. шт. электродвигателей, не считая специальных электрифицированных машин, где электропривод будет встроен в рабочую часть машины.

Программа — грандиозная. Реализация ее требует организационной перестройки существующих органов, ведающих делом сельской электрификации, и изменения методов производства работ. Она выдвигает новые большие задачи перед нашей промышленностью и проектными организациями. Огромные задачи стоят и в части освоения и правильной эксплуатации всей той техники, которая будет внедрена в сельское хозяйство.

Выполнение программы новой пятилетки в области электрификации сельского хозяйства явится крупным шагом на пути реализации известного положения В. И. Ленина: «Коммунизм — есть советская власть плюс электрификация всей страны», — положения, успешно претворяемого в жизнь нашим народом под водительством И. В. Сталина.



Энергетическая классификация сельскохозяйственных районов по условиям электроснабжения

Кандидат сельскохозяйственных наук А. Г. ЗАХАРИН

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

В проблеме развития местной энергетики и электрификации сельских районов Союза одно из центральных мест занимает вопрос об источниках и схемах электроснабжения. При исключительном многообразии природных и экономических условий

в различных районах страны универсальное решение этого вопроса исключено. Задача энергетической классификации сельских районов по условиям электроснабжения является поэтому необходимой предпосылкой к обоснованию направления развития местной энергетики.

При исследовании принципов и методов энергетической классификации сельских районов прежде всего нужно выделить два основных подлежащих разрешению вопроса.

Первый вопрос — о направлении развития энергетической базы, т. е. о типе, мощности и схеме использования силовых установок, имеющих преобладающее значение в пределах определенной зоны, в зависимости от местных условий. Разработка этого вопроса должна дать достаточно четкое представление о типах основного силового оборудования, необходимого для широкой электрификации сельских районов, и о масштабах его производства. Она поможет также сформулировать те новые технические проблемы, которые должны быть поставлены и решены для достижения наиболее экономических и рациональных условий развития электрификации.

Второй вопрос — об основных показателях, определяющих относительную эффективность электроснабжения для отдельных микрорайонов и для конкретных объектов в пределах данной зоны. Разрешение этого вопроса необходимо для определения очередности электрификации отдельных районов и для распределения между ними фондов металла, оборудования и т. п. с целью получить максимальный народнохозяйственный эффект.

Рассмотрены перспективы использования местных энергоресурсов, условия их территориального размещения, особенности распределения плотностей нагрузок и возможности централизованного электроснабжения трех основных (центральной, степной и лесной) зон Европейской части Союза. На базе этого исследования констатируется необходимость энергетической классификации сельскохозяйственных районов в целях выбора направления развития местной энергетики, типа, мощности и оборудования электростанций.

В настоящей статье в первом приближении намечаются пути решения первого из этих вопросов, на основании материала, полученного нами при изучении условий электроснабжения сельских районов трех различных зон: центральной (Московская

область), степной (степные районы Краснодарского края) и лесной зоны (северные районы Молотовской области).

Размещение нагрузки и условия распределения электроэнергии. Основными параметрами, определяющими условия распределения электроэнергии в сельскохозяйственных районах, являются: γ — плотность нагрузки, определяемая по расчетному максимуму на шинах сельскохозяйственной станции или подстанции [kW/km^2]; l — длина распределительной сети на единицу площади [km/km^2] и p — загрузка сети, — мощность, выдаваемая с 1 км сети. [kW/km].

Теоретический анализ конфигурации сельскохозяйственных сетей при большом количестве мелких потребителей, достаточно равномерно распределенных по территории района, позволяет выразить эти параметры в простой аналитической форме:

$$l = \alpha \sqrt{\frac{N}{F}} \text{ [km/km}^2\text{]},$$

$$p = \frac{\gamma}{\alpha} \sqrt{\frac{F}{N}} \text{ [kW/km]},$$

где F — территория, охватываемая сетью в km^2 ; N — количество пунктов потребления на этой территории; α — коэффициент формы сети, который для идеального равномерного распределения нагрузки равен единице.

Для трех изучавшихся зон показатели распределения электроэнергии резко различны и значения их приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зона	Плотность нагрузки γ , кВт/км ² *	Количество населенных пунктов N/F на 1 000 км ²	Средняя мощность, потребляемая одним населенным пунктом, кВт	Коэффициент формы сети, α	Длина сети l , км/км ² *	Загрузка сети P , кВт/км
Центральная . .	1—3	100—180	10—50	0,9—1,0	0,3—0,4	5—10
Степная . .	0,5—2	30—60	до 1 000	0,7—0,9	0,15—0,2	6—12
Лесная . .	0,1—0,5	—	2—20	—	0,3—0,4	< 1

* Без учета потребления мощности на электропахоту и другие нестационарные полевые работы.

В центральной зоне нагрузка распределяется по небольшим селениям (число домов редко выше 200), достаточно равномерно распределенным по территории района. В степной зоне 60—70% населения концентрируется в крупных селах и станицах (1 000—4 000 домов, 5—10 колхозов в селении). Например, в одном из районов Краснодарского края в четырех станицах проживает 25 тыс. чел., на 44 хуторах—15 тыс. чел. (37,5%). В этой зоне все крупные и большинство мелких селений к тому же группируются вдоль рек и водоемов. В лесной зоне освоенные под земледелие участки чередуются с крупными лесными массивами. Селения небольшие—два-три десятка домов; один небольшой колхоз в 50—60 дворов, как правило, разбросан в 3—4 селениях.

Стоимость распределительной сети при малых значениях γ возрастает почти обратно пропорционально плотности нагрузки (рис. 1) и при значениях $\gamma < 0,5$ кВт/км² достигает уже нескольких тысяч рублей на киловатт. Поэтому широкая централизация электроснабжения в северных районах лесной зоны практически исключается. Бесспорность этого утверждения станет ясна, если учесть неосвоенность, а местами непроходимость трассы. В центральных и степных районах централизация электроснабжения при наличии мощных источников питания возможна в очень

широких пределах. Особенно благоприятны условия распределения электроэнергии в степных районах с концентрацией нагрузок в крупных селениях и вдоль речных долин.

Местные энергетические ресурсы. При количественной оценке местных энергетических ресурсов, данной в табл. 2, были учтены только те

Таблица 2

Зона	Плотность нагрузки γ , кВт/км ² *	Местные энергетические ресурсы		
		Гидростанции, кВт/км ²	Тепловые электростанции*, кВт/км ²	вид топлива
Центральная	1—3	0,1—1,5	0,25—1,5	Торф
Степная . .	0,5—2	< 0,1	0,6—1,2	Сельскохозяйственные отходы
Лесная . . .	0,1—0,5	0,1—0,5	> 5	Дрова, торф

* Мощность тепловых станций определена из расчета 2 500—3 000 кВт использования в год.

ресурсы топлива и гидроэнергии, которые могут быть использованы при условии одновременного удовлетворения нормальных потребностей отопления, водоснабжения, орошения, кормления скота, удобрения полей и т. п.

В центральной зоне основными источниками энергии являются гидроэнергия и торф¹, в лесной—гидроэнергия и древесное топливо—энергоресурсы, в достаточной мере технически освоенные. В степных районах при полном отсутствии дров и торфа и при крайне ограниченных ресурсах гидроэнергии в широких масштабах можно использовать лишь сельскохозяйственные отходы, в некоторых районах также камыш. Эти виды топлива до настоящего времени почти совершенно не использовались как энергетическое топливо. Остановимся на их характеристике несколько подробнее.

Солома, ресурсы которой очень значительны, расходуется в первую очередь для нужд животноводства (грубые корма и подстилка) и является одним из основных видов бытового топлива. Баланс соломы в степных районах Краснодарского края при средней урожайности дан в табл. 3.

Таблица 3

Население на 1 км ²	Посевная площадь зерновых на душу населения, га	Баланс соломы, %		
		животноводство	отопление	избыток
15	3	50	30	20
25	2	60	40	—
40	1,2	90	10	—
50	0,7	100	—	—

¹ При исчислении запасов торфа учтены только болота площадью не более 1 000 га по категории высококачественного топливного торфа с зольностью 3—8% (лишь в отдельных случаях до 10—12%).

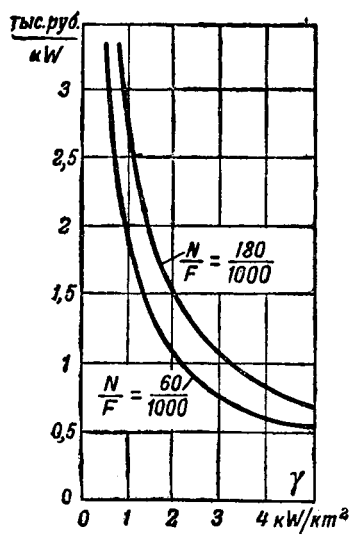


Рис. 1. Капиталовложения в распределительную сеть 35 и 10 кВ в сельскохозяйственных районах в зависимости от плотности нагрузки и количества пунктов потребления на 1 000 км²

$$\left(\frac{N}{F} \right).$$

Можно ожидать устойчивого избытка соломы (табл. 3) в районах с площадью зерновых выше 2 га на душу населения. В обследованной нами зоне таких районов было не более 20%.

В остальных районах серьезного внимания заслуживает возможность использования стеблей подсолнуха и камыша.

Посевы подсолнуха в большинстве степных районов при существующих севооборотах составляют 0,1—0,2 га на душу населения и могли бы обеспечить выработку электроэнергии порядка 250—500 кВт в год на колхозный двор или мощность 125—250 Вт. В отличие от соломы стебли подсолнуха не используются в животноводстве и почти не используются для отопления. Они сжигаются в поле в специальных ямах и зола их поступает на поташные заводы.

Сжигание стеблей в обычных топках и печах при высокой температуре горения снижает почти вдвое содержание поташа в золе, что недопустимо. Регулирование температуры горящего слоя может быть, однако, осуществлено в небольших установках сравнительно простыми средствами и при незначительном снижении к. п. д. топки. Вряд ли приходится сомневаться в том, что схема комплексного использования стеблей подсолнуха может быть осуществлена созданием такого режима, при котором хорошее качество золы будет сочетаться с получением значительного количества энергии и притом без нарушения существующего топливного баланса района.

Значительный, хотя и более узкий, интерес представляют запасы камыша, сосредоточенные в плавнях и лиманах степных рек, где по самым осторожным подсчетам доступные для массового использования запасы могут обеспечить работу станций мощностью порядка 2—2,5 тыс. кВт на район.

Камыш заготавливается зимой по льду, чем он выгодно отличается от торфа. Производительность одного рабочего при самом примитивном ручном способе заготовки составляет 15—30 т за сезон, что примерно соответствует производительности труда при ручной добыче торфа. Простейшая механизация позволит в несколько раз снизить трудовые затраты и стоимость заготовки.

Таким образом, мы приходим к выводу, что первоочередные потребности в электроэнергии при широкой электрификации степных районов могут быть покрыты в значительной степени (даже почти полностью) и без нарушения топливного баланса районов при условии рационального использования сельскохозяйственных отходов.

Размещение местных энергоресурсов на территории и схемы электроснабжения. При выборе схемы электроснабжения сельскохозяйственного района, определении очередности строительства и выборе параметров местных электростанций помимо общей, количественной и качественной, характеристики местных ресурсов решающую роль играют условия территориального размещения источников энергии по отношению к потре-

бителям, а также характер электроэнергетического баланса района [Л. 1].

В центральной зоне, для которой характерны равномерное распределение нагрузки по территории района и обеспеченность (даже со значительным избытком) местными энергоресурсами, размещение ресурсов по отдельным районам и тем более внутри районов отличается крайней неравномерностью.

В качестве иллюстрации на табл. 4 дано размещение энергоресурсов для группы районов западной части Московской области.

Таблица 4

Потребная мощность для рай- онов, kW	Гидроэлектростанции, kW		Тепловые электростанции на торфу, kW				Всего местные станции, kW
	< 100	100—500	100—500	500—1 000	1 000—5 000	> 5 000	
1 500	200	600	400	600	1 800	—	3 600
2 900	300	1 500	700	—	—	—	2 500
1 400	200	—	750	—	—	—	950
2 500	200	—	750	900	—	—	1 850
1 400	100	1 400	700	—	1 800	—	4 000
1 100	100	400	—	800	—	5 200	6 500
2 500	300	—	200	—	—	5 000	5 500
1 800	300	800	1 500	1 000	1 500	—	5 100
1 300	100	—	—	—	1 200	—	1 300
1 100	50	—	—	700	3 600	5 400	9 750
2 200	200	—	—	—	1 600	14 300	16 100
19 700	2 050	4 700	5 000	4 000	11 500	29 900	57 150

Гидроэнергия в среднем может обеспечить 0,6 кВт/км (табл. 4), что с учетом потерь в сетях может покрыть 30% потребностей сельских районов. Однако распределение гидроресурсов между районами крайне неравномерно: полностью обеспечен энергией 1 район, на 60 ÷ 80% — 2, на 40 ÷ 60% — 2, на 10 ÷ 20% — 2 и менее чем на 10% — 4 района.

Для покрытия всех потребностей районов при полном использовании гидроэнергии достаточно использовать лишь 12—15% торфяного фонда. Но наряду с обеспеченными есть районы, даже вблизи них расположенные, которые обеспечены торфом всего на 25—50%.

Для иллюстрации условий размещения местных ресурсов, на карте трех районов (рис. 2) нанесены все электростанции и показаны радиусы действия, соответствующие их мощности, плотности нагрузки, потерям в сети. За счет небольших объектов, питающих ближайших потребителей в пределах радиуса действия 5—10 км, можно обеспечить не более 40% нагрузки. Для дальнейшего развития электрификации районов необходимо: 1) включить в эксплуатацию один из крупных объектов мощностью свыше 1 000 кВт и 2) передавать энергию этой станции в два других района на расстояние порядка 30 км.

Подобное положение, которое можно было бы проследить и для других районов, приводит к заключению, что в условиях центральной зоны, в силу неравномерности размещения ресурсов, мелкие электростанции с небольшими радиусами действия могут обеспечить лишь незначительную часть потребителей на первых этапах электрификации.

Дальнейшее развитие и завершение электри-

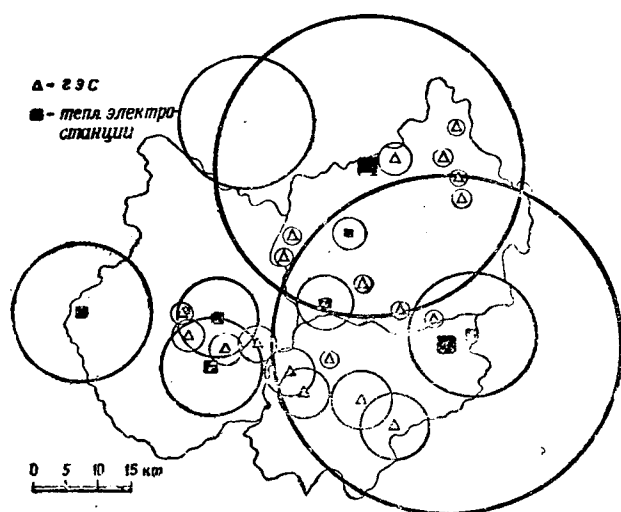


Рис. 2. Размещение местных энергоресурсов в трех административных районах центральной зоны.

фикации районов связано с увеличением мощности отдельных станций до значений 1 000 kW и выше при радиусе их действия до 30—40 km и с организацией межрайонных энергетических связей. Из этого положения следует, что объединение местных электростанций, на определенном этапе развития, в местную энергосистему диктуется не только общеизвестными экономическими выгодами и повышением качества электроснабжения, но прежде всего условиями размещения станций. Разбивка сети на отдельные изолированные участки приводит к своеобразной «череполюснице», совершенно неприемлемой по эксплуатационным соображениям и по расходу металла.

В районах степной зоны условия территориального размещения ресурсов по отношению к потребителям во многих отношениях диаметрально противоположны условиям центральной зоны. Распределение нагрузки значительно менее равномерно и характеризуется наличием крупных потребителей в виде больших сел и станций. В то же время ресурсы местного топлива — солома, стебли подсолнуха — распределены равномерно по территории района с плотностью, например, для обследованных районов порядка 5 t условного топлива на 1 km². В этих условиях, очевидно, средняя дальность перевозок, а с ней и стоимость топлива будут расти при увеличении мощности электростанций. Поэтому специфической особенностью электростанций, использующих сельскохозяйственные отходы, является наличие оптимальной мощности, для которой стоимость энергии на шинах станции имеет наименьшее значение, как это показано на рис. 3. При прочих равных условиях оптимальная мощность определяется плотностью распределения ресурсов топлива (в тоннах условного топлива) и стоимостью перевозок. Для конкретных условий Краснодарского края она составляет при гужевом транспорте 150—800 kW, что примерно соответствует мощности, потребляемой крупным селом или станцией. Стоимость топлива выражается цифрами порядка 20—25 коп. за 1 kWh,

затраты труда на перевозки — 10—15 чел./дней на 1 kW мощности станции в год.

В этих условиях при дефицитном или меньшей мере напряженном топливном балансе максимальное использование гидроэнергии является особо эффективным. Включение малых ГЭС в одну систему с тепловыми электростанциями диктуется в первую очередь возможностью значительного повышения их выработки. К сожалению, ресурсы малых рек степных районов крайне ограничены: из 30 степных районов Краснодарского края в 13 районах объекты для гидроэлектростроительства отсутствуют совершенно, в 12 районах их мощность в среднем ниже 15 W на двор. В силу изложенных обстоятельств при развитии электрификации степных районов необходимо концентрировать внимание на широком использовании энергии ветра в системе тепловых и гидростанций.

Вследствие переменной скорости вращения ветродвигателя использование энергии ветра осложняется, как известно, проблемой регулирования напряжения. Однако, можно ограничить долю мощности ветроагрегатов в системе таким образом, что она всегда будет заметно ниже потребляемой мощности. Тогда применяемый в ветроустановках агрегат с асинхронным генератором будет работать при постоянной частоте и напряжении, задаваемых ведущей станцией, не требуя специального регулирования. Недоиспользование энергии ветра составит при этом не свыше 10—15% годовой выработки. Таким образом, если мы включим в сеть тепловых электростанций ветроагрегаты, расположенные возле хуторов на открытых и возвышенных местах, то они смогут сработать в сеть 85—90% годовой энергии ветра с использованием максимальной мощности около 3 000 h в год (при среднегодовой скорости ветра в степных районах 4,5—5 m/sec).

В случае локомобильной станции 150 kW при установке в ее сети ветроагрегатов на общую мощность 45 kW расход топлива снижается на 35%, объем перевозок, пропорциональный стоимости топлива, — почти вдвое.

Следует отметить еще одну возможность, открывающуюся при использовании энергии ветра в степных районах. Для степных рек характерно обилие прудов и водоемов. Количество их по рекам Ея и Челбас в пределах 15 административных районов достигает 100, с объемом около

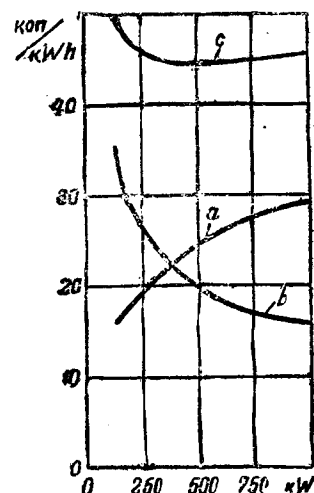


Рис. 3. Стоимость электроэнергии в зависимости от мощности тепловой электростанции при работе на сельскохозяйственных отходах.

а — стоимость топлива; б — прочие эксплуатационные расходы; в — суммарная стоимость.

35 млн. m^3 . Система прудов наполняется во время паводков. В остальное время года пруды почти изолированы от рек и каждый из них обслуживает водное хозяйство своего микрорайона. Использование ветродвигателя для перекачки воды из нижнего пруда в верхний (с перепадом обычно 1,5—2,5 м) может обеспечить работу небольшой гидроустановки, обслуживающей первоочередные потребности небольших хуторов, удаленных от сетей более мощных станций, без капитальных гидротехнических сооружений и без нарушения водного баланса района.

Таким образом, характер электроэнергетического баланса и условия размещения ресурсов местного топлива предопределяют такую схему электроснабжения степных районов, в которой, тепловая электростанция небольшой мощности с радиусом действия сети 5—10 км обслуживает одну крупную станицу или группу хуторов, с максимальным использованием гидро- и ветроэнергии в системе станции.

Для осуществления подобной системы сельскохозяйственная энергетика должна найти практическое решение вопросов комплексного использования отходов и рациональной организации топливного хозяйства на базе этих отходов. Решение должно быть координировано с агротехникой района и, возможно, даже потребует активного вмешательства в некоторые вопросы агротехники. Должен быть разработан вопрос использования ветроэнергии в местной системе по простой схеме на базе асинхронного генератора.

Основным фактором, определяющим условия электроснабжения *районов лесной зоны*, является предельно низкая плотность нагрузки в связи с малой плотностью населения. Эти условия, как мы уже видели, неблагоприятны для развития централизованного электроснабжения. Они же определяют возможность решения задачи электрификации лесной зоны на базе мелких колхозных электростанций.

Ресурсы гидроэнергии в лесных районах изучены недостаточно, однако зарегистрированные створы, расположенные вблизи населенных пунктов, позволяют, как правило, удовлетворить потребности районов за счет гидроэнергии. Затруднения при использовании местных гэс здесь возникают вследствие избытка мощности отдельных объектов, которую невыгодно или даже невозможно в связи с непроходимостью трассы распределить по району.

Еще более благоприятны перспективы лесных районов в части древесного топлива. Так, в одном из типичных лесных районов Молотовской области из общей его территории в 3 400 km^2 лесами покрыто 2 500 km^2 . Естественный годовой прирост древесины в этих районах в несколько десятков раз превышает потребность в ней и открывает широкие возможности строительства тепловых колхозных электростанций на дровах. Эффективность таких станций может быть значительно повышена при условии кооперации местной энергетики с лесной промышленностью.

Следует отметить, что питание потребителей от мелких колхозных станций в условиях лесных районов отнюдь не исключает применения высокого напряжения (6 kV) в схеме сети. Даже мощность в 20—30 kW не может быть распределена на низком напряжении без больших и неэффективных вложений цветного металла¹.

Сочетание централизованного и местного электроснабжения. Изложенное избавляет от необходимости доказывать, что при плотности нагрузки порядка нескольких kW на 1 km^2 и при наличии мощных источников дешевой электроэнергии централизованное электроснабжение может развиваться в очень широких пределах. Это станет еще более явным, если учесть возможности удешевления сети и сокращения затрат металла при применении развитой однофазной системы распределения и использовании земли в качестве рабочего провода. Однако, также очевидно, что при огромной территории нашей страны и быстром росте потребления электроэнергии во всех отраслях народного хозяйства использование местных источников энергии не теряет своего значения даже в таких районах, где основным источником электроснабжения является или должна явиться в ближайшем будущем мощная энергосистема. Задача рационального сочетания централизованного и местного электроснабжения приобретает поэтому значительный интерес, особенно в связи с интенсивным развитием местных гидроэлектростанций.

При решении вопросов использования местных гидроресурсов в районах централизованного электроснабжения необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Во-первых, присоединение к мощной сети, как известно, настолько упрощает технику автоматизации гидроэлектростанций, что даже небольшие гэс (несколько десятков киловатт и выше) могут быть автоматизированы и продолжать свою работу в сети с минимальными эксплуатационными затратами, как это имеет место во многих системах Швеции, Чехословакии, США и других стран.

Во-вторых, размещение подстанций мощной энергосистемы на территории сельскохозяйственных районов в значительной мере определяется расположением городов, крупных промышленных предприятий, электрифицированных участков железных дорог и т. п. Часть сельскохозяйственных потребителей неизбежно попадает при этом в такие неудобные условия электроснабжения, что для их питания окажется необходимым либо строить небольшую лишнюю подстанцию, либо значительно увеличить радиусы действия распределительных сетей. В этих условиях местные электростанции могут явиться большим подспорьем.

Рис. 4 дает конкретную иллюстрацию этому положению. Для электрификации района Московской области, расположенного между суще-

¹ Например, по проекту гидростанции мощностью 25 kW в сеть 400 V необходимо вложить около 1,7 т меди.

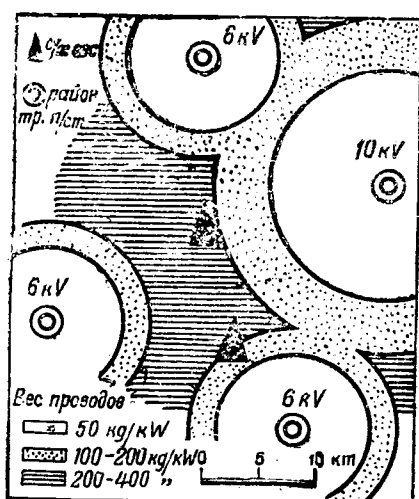


Рис. 4. Пример использования местных гидроэлектростанций в сети мощной энергосистемы.

ствующими и намеченной к строительству подстанциями, необходимо либо построить дополнительно небольшую подстанцию мощностью 300—400 kVA, либо увеличивать радиусы действия до таких пределов, когда расход металла (стали) на каждый вновь присоединенный киловатт достигает 400 kg. Использование двух створов в этом районе для строительства гидроэлектростанций дает экономию 100 t металла (в переводе на сталь). Обе станции при условии их последующей автоматизации могут эффективно работать параллельно системе.

Тепловые электростанции небольшой мощности, в особенности при использовании местного топлива, не могут конкурировать с централизованным электроснабжением, как об этом свидетельствует и советский, и зарубежный опыт. В районах, которые в близком будущем подлежат охвату мощной энергосистемой, мы поэтому сталкиваемся с таким положением, когда необходимо либо искусственно задерживать развитие электрификации, либо строить местные станции, обреченные на консервацию в ближайшие годы.

Единственным радикальным выходом из этого положения является повышение экономической эффективности мелких тепловых электростанций путем комплексного использования топлива. В частности, для торфа по нашему мнению реальные перспективы имеют упрощенные схемы энергохимического использования с применением несложного оборудования. Заслуживает также внимания строительство «временных» тепловых электростанций при условии комплектной поставки всего оборудования, включая распределительное устройство заводского производства, и предельного упрощения здания станции (вплоть до постройки типа сарая в южных районах). Такая станция может эффективно работать в районе в течение нескольких лет, передвигаясь затем по мере развития мощной энергосистемы в более отдаленные районы.

Выводы. Приведенные выше характеристики условий электроснабжения сельскохозяйственных районов подтверждают высказанное в начале положения о непригодности каких-либо универсальных решений и о необходимости индивидуального изучения отдельных зон. Энергетическая классификация является необходимой предпосылкой для обоснования направления развития местной энергетики, выбора типов оборудования и параметров электростанций.

Изучение характера размещения местных энергетических ресурсов, оценка обеспеченности районов и выявление структуры электроэнергетического баланса отдельных зон позволяют, кроме того, сделать ряд выводов общего характера.

Вопрос о мощности сельскохозяйственных электростанций с достаточной ясностью решается изучением структуры электроэнергетического баланса по типу и мощности источников питания. Как видно из приведенных данных, мелкие колхозные электростанции, в частности гидроэлектростанции, являясь основной базой электроснабжения в условиях лесных районов с плотностью нагрузки 0,1—0,3 kW/km², в основных районах центральной зоны могут явиться лишь первым этапом электрификации с охватом 10—20% колхозов. Дальнейшее развитие электрификации связано с процессом роста мощности электростанций и радиусов действия электрической сети.

В силу неравномерного размещения ресурсов рациональная схема их использования может быть построена лишь при условии организации местных энергосистем, осуществляющих внутрирайонные и межрайонные энергетические связи и сочетающих использование различных видов энергии, в том числе таких (ветер), которые не могут быть использованы вне системы. При этом для ряда районов важным вопросом является выбор схемы, обеспечивающей максимальную жизнеспособность местных электростанций и рациональное использование местных ресурсов энергии в условиях перехода к централизованному электроснабжению от мощных энергосистем.

Для решения задач широкой электрификации сельскохозяйственных районов необходима разработка и практическое освоение новых технических схем использования местных ресурсов энергии (в особенности—схем тепловых электростанций с комплексным использованием топлива), а также организация новых типов энергетического хозяйства при тесной увязке энергетики с агротехникой, лесным хозяйством и другими отраслями народного хозяйства.

Литература

1. А. Г. Захарин. Электроснабжение сельскохозяйственных районов в условиях широкой электрификации сельского хозяйства. Электричество, № 4, 1945.
2. А. Г. Захарин, И. А. Будзко. Смешанная система распределения электроэнергии в сельскохозяйственных районах. Электричество, № 1, 1939.



Рационализация электропривода в сельском хозяйстве

Кандидат с.-х. наук, доц. Л. Я. ЦИВЬЯН

Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства им. Молотоза

Электропривод сельскохозяйственных машин обладает специфическими особенностями, резко отличающимися его от привода машин в промышленности. Эти особенности заключаются в следующем: 1) рассредоточенность токоприемников на сравнительно большой территории; 2) сезонность работ и, как следствие этого, низкое число часов использования машин и электродвигателей; 3) маломощность и тихоходность большинства сельскохозяйственных машин.

Эти положения подтверждаются материалами выполненной нами паспортизации применяемых в сельском хозяйстве приводных сельскохозяйственных машин в количестве около 100 типоразмеров (табл. 1, 2).

Излагаются методы повышения использования электродвигателей в сельском хозяйстве и сокращения потребного числа их путем многократного применения одного и того же двигателя на нескольких сельскохозяйственных машинах, работающих в разное время года, и путем внедрения в сельское хозяйство передвижного универсального электропривода. Печатается в порядке обсуждения.

Как видно из табл. 1 и 2, основную массу составляют маломощные тихоходные машины. Машин ручного привода (60 об/мин) насчитывается 24,7%, конного привода и привода от ти-

хоходных тепловых двигателей (до 500 об/мин) — 42,1%. Машин, допускающих непосредственное соединение с электродвигателем, имеется всего 11,8%. Большинство машин — весьма маломощные. Машин мощностью до 2,2 kW насчитывается 57%. Максимальное число часов использова-

Таблица 2

Распределение сельскохозяйственных машин по быстроходности

Тип машин	Количество типоразмеров в процентах к итогу	В том числе со скоростью привода, об/мин						В том числе допускающих непосредственное соединение с двигателем
		60	61—150	151—250	251—500	501—1 000	1 001—1 500	1 501—3 000
Молотилки хлебные	17,2	—	—	—	—	14,0	3,2	—
Молотилки специальные	7,5	—	—	2,1	—	5,4	—	—
Машины по очистке зерна	21,5	9,7	—	2,2	4,3	5,3	—	—
Машины по борьбе с вредителями зерна	6,4	4,2	—	1,1	1,1	—	—	—
Машины по переработке продуктов полеводства (жернова, фермеры, крупорушки, шинковки и др.)	15,2	—	—	9,8	5,4	—	—	—
Машины в животноводческом хозяйстве	32,2	10,8	2,2	6,4	7,5	2,2	2,1	1,0
Всего	100,0	24,7	2,2	21,6	18,3	26,9	5,3	1,0

Таблица 1

Распределение сельскохозяйственных машин по мощности

Типы машин	Количество типоразмеров в процентах к итогу	В том числе мощностью, kW						Максимальное число часов использования в году
		до 0,5	от 0,51 до 2,2	от 2,3 до 4,5	от 4,6 до 13,0	от 13,1 до 23,0	от 23,1 до 30,0	
Молотилки хлебные	17,2	—	7,6	—	8,6	1,0	—	600
Молотилки специальные	7,5	—	3,2	3,2	1,1	—	—	600
Машины по очистке зерна	21,5	10,7	5,4	4,3	1,1	—	—	200—600
Машины по борьбе с вредителями зерна	6,4	4,3	—	2,1	—	—	—	100—150
Машины по переработке продуктов полеводства (жернова, фермеры, крупорушки, шинковки и др.)	15,2	—	—	2,2	6,5	6,5	—	300—1 200
Машины в животноводческом хозяйстве	32,2	14,0	11,8	3,2	1,1	2,1	—	60—600
Всего	100,0	29,0	28,0	15,0	18,4	9,7	—	

ния в году преобладающего числа машин крайне низко и лежит в пределах от 60 до 600 h.

Огромная потребность сельского хозяйства в электродвигателях при крайне малом использовании их в течение года со всей остротой выдвигает проблему сокращения общего количества электродвигателей в хозяйстве путем рационального их использования и повышения годового числа часов работы с той целью, чтобы возможно было обеспечить перевод на электропривод максимального количества сельскохозяйственных машин при минимальном парке электродвигателей. Для решения поставленной задачи можно предложить применение: 1) переносных двигателей и 2) универсального передвижного электропривода.

1. Требуемое в хозяйстве количество электродвигателей одинаковых мощностей, работающих в разное время года, может быть сокращено путем перестановки их с одной машины на другую в соответствии с нормальными календарными сроками производства работ.

2. В соответствии с нормальными календарными сроками производства работ имеется возможность заменить некоторое количество электродвигателей неодинаковой мощности, работающих в разное время года, одним двигателем, выбранным по наибольшей мощности приводной машины из группы, обслуживаемой этим двигателем. В группу, обслуживаемую одним передвижным электроприводом могут быть включены машины разной мощности и с большим диапазоном скоростей. Поэтому в двигателе должна быть предусмотрена регулировка скорости и он должен обладать хорошими энергетическими показателями при частичных нагрузках.

Решение вопроса об эффективности применения переносных двигателей и универсального передвижного электропривода и определение основных параметров двигателя для передвижного электропривода может быть получено лишь на основе изучения планов электрификации конкретных колхозов, типичных для отдельных районов Союза. С этой целью нами были разработаны проекты электрификации двух типовых колхозов, каждый проект в двух вариантах. Первый вариант — обычный, второй с применением предлагаемых способов сокращения числа потребных двигателей.

Проекты электрификации разработаны для колхоза им. Крупской, Брюховецкого района Краснодарского края, характерного высокой интенсивностью крупного зернового хозяйства с большим удельным весом пропашных и технических культур и высоко развитым свиноводством и молочным животноводством, и для колхоза им. Горького, Ленинского района Московской области, являющегося типичным пригородным хозяйством интенсивного овощно-молочного направления.

В колхозах предусмотрена электрификация следующих трудоемких производственных процессов и объектов, требующих электрического при-

вода: 1) водоснабжения, 2) кормоприготовления, 3) механического доения коров, 4) передвижной насосной установки, 5) вентиляции животноводческих помещений, 6) молотбы, сортировки и протравливания зерна, 7) орошения огородов, 8) шинкования капусты, 9) огородного электроtractора (только в колхозе им. Горького), 10) мастерских и кузницы.

Для каждого производственного процесса определялось количество подлежащего переработке продукта (или иное производственное задание), выбиралась машина потребной производительности и соответствующей мощности электродвигатель. Определялся сезон работы и рабочее время за сезон для каждой машины. Из общего количества двигателей выделялась группа двигателей, работающих стационарно круглый год. Для остальных двигателей, работающих сезонно, был разработан план перестановки и план обслуживания группы машин от одного передвижного электропривода.

В табл. 3 и 4 приведены результативные данные по эффективности применения переносных двигателей и передвижного электропривода.

Электродвигатели насосов водоснабжения, доильной машины и привода станков мастерской работают стационарно круглый год. Сезоны работы кормоприготовительных машин и машин по очистке, сортировке, протравливанию, а также по транспортировке зерна на молотильном пункте

Таблица 3

Количество потребных электродвигателей по мощности и сокращение потребности в двигателях при многократном их использовании

Тип машин	Мощность двигателя, kW	Количество потребных двигателей			
		Колхоз им. Крупской		Колхоз им. Горького	
		Всего	При многократном использовании	Всего	При многократном использовании
Сепаратор, вентилятор	0,25	1	1	1	1
Кормеюлка, картофелемалка, сортировки, триеры, станки в мастерской	0,55	16	9	6	4
Насосы водоснабжения	0,74	8	8	3	3
Снопподаватель, транспортер зерна, вентилятор	0,95	4	2	—	—
Корморезка, насос откачки жижи, станки в мастерской	1,5	3	2	3	2
Соломосилосорезки	2,2	—	—	1	1
Доильная машина	3,2	1	1	1	1
Соломогаска, половодув, шинковальная машина, циркулярная пила, молотковая дробилка, простая молотилка	4,3	4	2	4	1
Молотилка МК-1100	13,0	1	1	—	—
Насосы орошения, огородный электроtractор	17,0	2	1	5	4
Всего	—	40	27	24	17

Таблица 4

Эффективность применения переносных электро-
двигателей

Показатели	Колхоз им. Крупской	Колхоз им. Горького
Количество потребных двигателей	40	24
Установленная мощность, kW . . .	90,3	117,9
Продолжительность работы в среднем на 1 двигатель, h . . .	550	570
Количество двигателей при при- менении переносных двигате- лей, шт.	27	17
Установленная мощность, kW . . .	57,6	85,4
Продолжительность работы в среднем на 1 двигатель, h . . .	815	800
Уменьшение потребного количе- ства двигателей, %	32,5	29,2
Уменьшение установленной мощ- ности, %	36,2	27,5
Увеличение использования дви- гателей, %	48,0	40,0

не совпадают и могут быть обслужены общими для них двигателями.

Многократное использование двигателей освобождает по названным двум колхозам от 7 до 13 двигателей. Многократное использование двигателей путем их перестановки с одной машины на другие равной мощности, но работающие неодновременно, дает уменьшение количества потребных двигателей на одну треть и повышает коэффициент использования их на 40—48%.

Снижая ограничение, накладываемое требованием соответствия мощности двигателя мощности машины до отношения 4:1, т. е., объединяя в группу, обслуживаемую одним передвижным электроприводом, машины мощностью до $\frac{1}{4}$ мощности привода, можно достичь большого сокращения числа потребных в хозяйстве двигателей.

План обслуживания сельскохозяйственных машин передвижным электроприводом в соответствии с нормальными периодами производства работ и принятым соотношением мощностей машин, составленный по колхозу им. Крупской, приведен в табл. 5.

Таблица 5

План обслуживания сельскохозяйственных машин передвижным электроприводом в колхозе им. Крупской

Наименование машин	Мощность, kW	Скорость, об/мин	Годовое число часов работы
Корнерезка ВИМЭ	1,5	150	1 030
Снополодаватель	0,85	100	240
Вентилятор ЖТФ	0,85	1 450	250
Картофелеялка	0,55	60	410
Итого . . .			1 930
Насос откачки жижи	1,5	1 450	575
Зерновой узел на молотиль- ном току	0,85	220	240
Вентилятор СТФ	0,85	1 450	250
Жерномойка ВИМЭ	0,55	200	1 030
Итого . . .			2,095

Из этой табл. 5 видно, что два передвижных электропривода мощностью 1,5 kW заменяют восемь двигателей. Аналогично, один передвижной электропривод мощностью в 2,2 kW заменяет в колхозе им. Горького семь двигателей. Эффективность применения передвижного электропривода показана в табл. 6.

Таблица 6

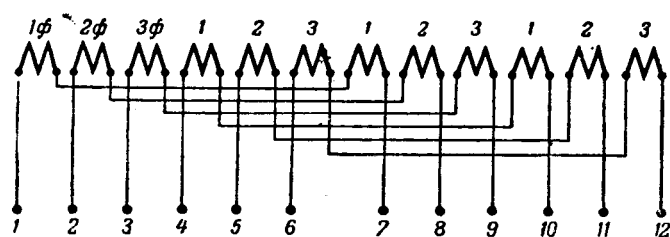
Эффективность применения передвижного электро-
привода

Показатели	Колхоз им. Крупской	Колхоз им. Горького
Количество двигателей при при- менении передвижного электро- привода	21	11
Установленная мощность, kW . . .	51,7	30,2
Продолжительность работы в среднем на один двигатель, h . . .	1 055	1 242
Уменьшение количества двига- телей, %	52,5	46,0
Уменьшение установленной мощ- ности, %	57,5	68,0
Увеличение использования дви- гателей, %	192,0	218,0

Применение передвижного электропривода дает сокращение количества двигателей в среднем на 50% и в среднем двукратное увеличение их использования. Число часов использования собственно передвижного двигателя при этом достигает максимального в условиях сельского хозяйства значения — 2 000 h в год. Как видно из приведенных скоростных характеристик приводных сельскохозяйственных машин, в двигателе передвижного электропривода должна быть предусмотрена регулировка скорости. Считая, что машины с низшей скоростью в 60 об/мин будут приводиться при помощи ременной передачи с передаточным числом 1:5, нижний предел скорости передвижного привода определится в 300, а высший — в 1 500 об/мин.

Возможно осуществить ступенчатое или плавное регулирование скорости. Электрическое ступенчатое регулирование скорости может быть получено посредством изменения числа полюсов асинхронного двигателя переключением последовательно соединенных катушек в фазе на параллельное. Таким путем можно получить две скорости в интересующем нас диапазоне — 750 и 1 500 об/мин. Двухскоростные двигатели имеют несколько худшие характеристики, чем односкоростные, в отношении к. п. д. и $\cos \varphi$. Асинхронный двигатель можно выполнить с надлежащим к. п. д. — и лишь при определенном значении шага обмотки. В двухскоростном двигателе с одной обмоткой в статоре мы вынуждены идти на компромисс, уменьшая несколько шаг обмотки для одной скорости и увеличивая его для другой, в результате чего несколько снижается к. п. д. и ухудшается $\cos \varphi$ при обеих скоростях.

Нижним пределом скорости регулируемого двигателя является 750 об/мин. Вес двигателя будет определяться его низшей скоростью, а это



Развертка схемы секционированной обмотки.

связано с значительным утяжелением его. Регулируемые двигатели — дороже. Двухскоростной двигатель с нижним пределом скорости в 750 об/мин не дает возможности осуществить привод тихоходных машин (50—150 об/мин) посредством одной ступени ременной передачи. Весьма существенным недостатком эксплуатационного порядка является то обстоятельство, что двигатель этот можно подключать только к одному из четырех применяемых напряжений (127, 220, 380 и 500 В). Возможность использования двухскоростного двигателя на двух напряжениях исключена. Из сказанного следует, что электрическое ступенчатое регулирование скорости не может быть признано приемлемым.

Механическое ступенчатое регулирование может быть осуществлено посредством редуктора, снижающего число оборотов двигателя до 300. В данном случае желательно применить легкую четырехполюсную асинхронную машину на 1500 об/мин с двумя выведенными концами вала: на одном конце располагается встроенный редуктор, а второй конец свободен. Наличие этих двух скоростей обеспечивает возможность привода машин с скоростями от 60 до 3000 об/мин одной ступенью ременной передачи.

Однако, более простым и дешевым устройством по регулированию скорости является плавное механическое регулирование посредством *вариаторов*, нашедших широкое распространение в станкостроении. Возможность установить любую наиболее выгодную для данных условий скорость и менять ее на ходу без потерь времени на остановку машины и смену шкивов, является весьма ценной в ряде производственных процессов сельского хозяйства. Устройство для плавного регулирования скорости по типу Флендера или Гейнау является наиболее удачным для условий работы передвижного электропривода. Принципиально вариатор состоит из двух пар конических шкивов, связанных клиновидной ременной передачей. При повороте рукоятки управления одновременно с сближением одной пары конусов происходит расхождение другой пары, в результате чего получается изменение передаточного числа. Это устройство при ограниченном габарите и малом весе дает возможность получить плавное регулирование скорости в требуемом диапазоне. Аналогичные устройства для привода сельскохозяйственных машин получили широкое распространение в военные годы в Англии.

Работа к.-з. двигателя в условиях недогрузки ведет к резкому снижению $\cos \varphi$, в особенности в пределах ниже 60% номинальной мощности. Для заданных условий работы передвижного электропривода требуется двигатель, имеющий высокий и практически не уменьшающийся $\cos \varphi$ при снижении нагрузки до $1/4$ номинальной. Это требование можно удовлетворить, воздействуя на величину магнитного потока.

В частности, известен способ регулирования магнитного потока путем переключения обмотки. Однако, для двигателей со стандартной схемой включения обмоток для напряжения 220/380 В он, очевидно, неприемлем, к тому же переключение его ведет к перегреву обмотки при нагрузках выше 40% номинальной.

Можно регулировать магнитный поток двигателя в довольно широких пределах, осуществив секционирование обмотки статора. При неизменном подведенном напряжении с изменением числа витков обмотки статора ток, мощность и момент будут меняться обратно пропорционально квадрату числа витков. Действующим фактором здесь является величина рабочего напряжения, приходящегося на один виток обмотки статора. Задача регулирования магнитного потока двигателя заключается в таком изменении схемы соединения обмоток статора, при котором бы менялось число витков, приходящееся на фазное напряжение.

Секционирование обмотки статора может быть выполнено следующим образом. В каждый паз статора укладывается два параллельных проводника, каждый половинного сечения. Соединение проводников производится так, что каждая фаза имеет две параллельные секции, концы которых выведены на клеммовый щиток двигателя.

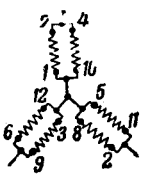
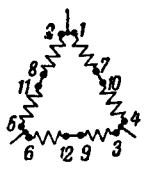
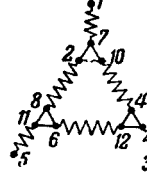
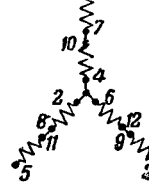
На рисунке показана развертка схемы секционированной обмотки. Обмотка статора, выполненная в две параллельные ветви, дает возможность при различном соединении ветвей получить четыре схемы включения и соответственно четыре различных числа витков обмотки, приходящихся на фазовое напряжение (табл. 7). При включении обмоток двигателя по схеме I его обмоточные и эксплуатационные данные соответствуют номинальным. При включении по остальным трем схемам количество витков, приходящееся на фазовое напряжение, растет (в порядке номера схемы), а напряжение на секцию и виток уменьшается. Это ведет к уменьшению величины намагничивающего тока, а следовательно, к увеличению $\cos \varphi$. Мощность двигателя при этом уменьшается пропорционально уменьшению напряжения в квадрате.

При всех указанных ступенях мощности $\cos \varphi$ получается близким номинальным значениям нормальных двигателей соответствующих мощностей.

Шкала мощностей двигателей передвижных электроприводов может быть намечена в 1,5 kW, 2,2 и 3,5 kW.

Таблица 7

Схемы включения электродвигателя с секционированной обмоткой статора и пределы экономичности работы

Схемы соединения обмоток статора				
Перядковый номер схемы	I	II	III	IV
Число витков каждой параллельной части ветви фазы .	W_a	$1,15 W_a$	$1,53 W_a$	$2 W_a$
Напряжение на один виток .	U_n	$0,87 U_n$	$0,66 U_n$	$0,5 U_n$
Мощность	P_n	$0,76 P_n$	$0,43 P_n$	$0,25 P_n$
Пределы экономичности работы двигателя	$0,75-1,0 P_n$	$0,5-0,75 P_n$	$0,3-0,5 P_n$	$0-0,3 P_n$

В целях облегчения передвижного привода и повышения термической устойчивости двигателя желательно обмотку его выполнить с изоляцией из стеклянной пряжи.

Переключения могут производиться посредством специального переключателя или двумя перекидными рубильниками. Передвижной привод должен снабжаться амперметром. Против указателя положения рукоятки переключателя (рубильника) должна быть отмечена величина допустимых токов для каждого включения. Дви-

гатель с устройством по регулированию скорости, амперметром, пусковым прибором и гибким шланговым проводом должен быть установлен на тележку для облегчения его передвижения и выпускаться нашей электропромышленностью комплектно.

Возможность использования одного двигателя для привода сельскохозяйственных машин широкого диапазона скорости и мощности при высоком $\cos \varphi$ делает передвижной электропривод универсальным и высокоэкономичным.



Некоторые вопросы теории электротрактора

Кандидат с.-х. наук П. Н. ЛИСТОВ

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

В ранее опубликованной нами статье [Л. 1] были освещены результаты хозяйственной эксплуатации советских электротракторов. Теоретический анализ экспериментальных материалов по эксплуатации электротракторов союзной конструкции позволил нам заключить, что электрический трактор при определенных условиях и в известных районах призван служить основой системы комплексной электрификации сельского хозяйства.

Весьма актуальной является разработка и развитие теории ряда вопросов, связанных с электротрактором. К числу этих вопросов относятся: 1) выбор типа, напряжения, сечения и длины кабеля; 2) тепловой режим работы кабеля; 3) схемы работы (кинематика движения) электротрактора с кабельным способом питания при неподвижном источнике питания; 4) оптимальные параметры мощности, скорости и веса электротрактора; 5) тяговый баланс электротрактора; 6) соразмерность мощностей электротрактора и источника питания и др. Отдельные из перечисленных вопросов рассмотрены ниже.

Обоснование параметров электротрактора по весу, мощности двигателя и скорости. За исходное принимается, что электротрактор должен быть не менее производительной машиной, чем соответствующий тип теплового трактора, на шасси которого он монтируется:

$$N_{кр. э. т.} \geq N_{кр. т. т.}, \quad (1)$$

где $N_{кр. э. т.}$ — полезная мощность на крюке электротрактора, $N_{кр. т. т.}$ — полезная мощность на крюке теплового трактора.

Тяговой баланс трактора при установившейся работе и движении на горизонтальном участке пути выражается уравнением:

$$P_k = P_{кр} + P_f,$$

где P_k — касательная сила тяги; $P_{кр}$ — сила тяги на крюке трактора; P_f — сила сопротивления трактора перекачиванию, причем

$$P_f = fG \cos \alpha,$$

Приводится обоснование параметров электротрактора по весу, мощности двигателя и скорости; даны указания к определению длины кабеля и величины рабочего напряжения; освещаются вопросы выбора типа кабеля и методики расчета кабельного барабана.

где G — полный вес трактора; f — коэффициент сопротивления перекачиванию; α — угол подъема к горизонту.

Положение (1) при неизменной скорости осуществимо, очевидно, лишь при соблюдении условия $P_{кр. э. т.} < P_{кр. т. т.}$, а следовательно, и

$$P_{э. т.} > P_{ф. т.}$$

Удовлетворение этих условий при прочих равных возможно лишь, когда

$$G_{э. т.} \leq G_{т. т.} \quad (2)$$

Иначе говоря, величиной, определяющей равнопроизводительность машин, является их вес.

При выполнении современных электротракторов — электротракторов кабельного способа питания — используются шасси тепловых тракторов. При этом моторно-топливная группа теплового трактора заменяется электромоторной и кабельно-барабанной группами¹.

Тепловые и электрические тракторы, имеющие одинаковые шасси, в дальнейшем мы называем однотипными.

Переменными в весе электротрактора могут быть вес кабеля (в зависимости от его конструкции, сечения и длины) и вес конструкции, поддерживающей кабельно-барабанную группу, в зависимости от конструктивной схемы электротрактора. Вес поддерживающей конструкции мал по сравнению с весом кабеля, и его можно не принимать в расчет при первом рассмотрении.

Баланс весов однотипных тракторов по снимаемым и вновь устанавливаемым узлам может быть выражен следующим уравнением:

$$\Sigma G'_{т. т.} = \Sigma G''_{э. т.} + \Sigma G'''_{э. т.}, \quad (3)$$

где $\Sigma G''_{э. т.}$ — вес вновь устанавливаемых узлов у электротрактора, постоянных по величине для данного типа электротрактора (вес электродвигателя, пускозащитной аппаратуры и пр.); $\Sigma G'''_{э. т.}$ — вес вновь устанавливаемых узлов у электротрактора, переменных по величине (вес кабеля).

¹ Внешний вид, разрез и электрическая схема коммутации электротрактора приведены (рис. 1, 1а и рис. 2) в автореферате В. Г. Стеценко, помещенном в этом номере журнала.

В соответствии с (3) в табл. 1 приводятся, на основании проектов и фактически выполненных конструкций, данные по весам однотипных тракторов. Величина $\Sigma G_{э.м.}'''$, очевидно, будет возможным весом кабеля для данного типа электротрактора.

Таблица 1

Марки однотипных тракторов	С-65		С-60		СТЗ-НАТИ		У-1-2	
	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.
$\Sigma G'_{м.м.}, \text{kg}$	2 300	—	1 870	—	1 235	—	583	—
$\Sigma G''_{э.м.}, \text{kg}$	—	1 140	—	1 140	—	740	—	325
$\Sigma G'''_{э.м.}, \text{kg}$	—	1 160	—	730	—	555	—	263

Приведенные значения величины $\Sigma G_{э.м.}''$ должны служить исходными при определении длины кабеля, его типа и сечения, величины рабочего напряжения и максимальной длины борозды.

Таблица показывает общую закономерность снижения возможного веса кабеля по мере уменьшения мощности трактора и менее выгодное соотношение величин $\Sigma G_{э.м.}''$ и $\Sigma G_{м.м.}'''$ у маломощных электротракторов. Следовательно, создание мощных электротракторов, повидимому, более оправдано, чем маломощных огородных.

Параметры скоростей электротрактора обусловлены тем, что трансмиссионная часть теплового трактора (начиная с муфты сцепления), на шасси которого он монтируется, остается без изменений. Подбор электродвигателей по скорости вращения у однотипных тракторов приводит всегда повышению скоростей электротракторов в пределах 13—20% (табл. 2).

Таблица 2

Марка трактора	С-65		С-60		СТЗ-НАТИ		У-1-2	
	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.
Число оборотов в минуту	850	970	650	730	1 250	1 470	1 200	1 410
То же в процентах	100	114	100	113	100	118	100	120

Такое повышение скоростей агротехнически не только допустимо, но и желательно.

Повышение скорости движения электротрактора при ранее принятом условии $P_{кр.э.м.} < P_{кр.м.м.}$ и соблюдение требования равных к. п. д. однотипных тракторов обуславливает следующие выражения мощностей (к. в) двигателей:

$$\begin{aligned} \text{электротрактора } N'_{э.м.} &= \frac{10^3 \cdot P_{кр.э.м.} \cdot v'}{102 \cdot 3600 \cdot \eta} = \frac{f \cdot G_{э.м.} v'}{A \cdot \eta}, \\ \text{теплового трактора } N_{м.м.} &= \frac{10^3 \cdot P_{кр.м.м.} \cdot v}{102 \cdot 3600 \cdot \eta} = \\ &= \frac{f \cdot G_{м.м.} v}{A \cdot \eta}. \end{aligned}$$

Почленное деление приведенных выражений дает:

$$\frac{N'_{э.м.}}{N_{м.м.}} = \frac{G_{э.м.} \cdot v'}{G_{м.м.} \cdot v},$$

откуда при принятом нами ранее условии, что $G_{э.м.} = G_{м.м.}$,

$$N'_{э.м.} = N_{м.м.} \frac{v'}{v}. \quad (4)$$

Сохранение значения к. п. д. при повышенных скоростях движения, как видно, требует увеличения мощности двигателя электротрактора в отношении увеличения скоростей. В соответствии с (4), в табл. 3 приведены значения мощностей (к. в) двигателей однотипных тракторов.

Таблица 3

Марка трактора	С-65		С-60		СТЗ-НАТИ		У-1-2	
	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.	Тепловой	Электр.
Установленная мощность, кВт	47,7	54,3	44	43,7	38	45	16	19,5
Расчетная мощность (согласно ОСТ), кВт	—	57,0	—	50,0	—	43,5	—	21,5

Определение длины кабеля и рабочего напряжения. Длина кабеля определяется длиной обрабатываемых загонов. При челночном движении (сев, боронование, культивация и т. п.) и при работе по обе стороны от питательной линии длина кабеля равняется половине длины загона. Длина загона в свою очередь определяется размерами полей севооборота, местными условиями и удобством обслуживания работающих тракторов. Опыт показывает, что при слишком длинных гонах (2—3 км) производительность понижается вследствие несвоевременной ликвидации простоев, чаще возникающих при таких гонах, так как ухудшаются условия технического обслуживания машин. С другой стороны, длиной кабеля определяется удельный расход стационарных полевых сетей в погонных метрах на гектар обрабатываемой площади.

Практикой принимается оптимальная длина загона (рис. 1), равная 1 000—1 500 м, при ширине его в 40—80 м, что соответствует площади загона, обрабатываемой отдельным трактором, в 6—12 га. При этих размерах получается наибольшая производительность при наилучшем коэффициенте использования рабочего времени.

При загонной работе длина кабеля L может быть выражена следующей формулой:

$$L_k = \frac{l}{2} + b,$$

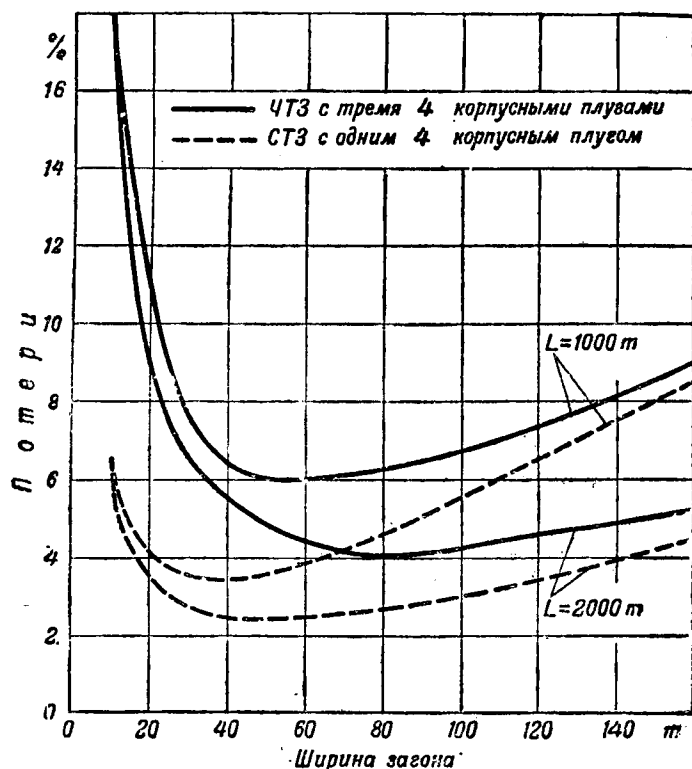


Рис. 1. Потери производительности на пахоте при загонном способе работы (проф. Т. Д. Басюк).

где l —длина борозды в м и b —ширина загона в м. Стоимость кабеля составляет 56% всей стоимости электротракторного агрегата. Материалы, идущие на его изготовление,—медь, каучук—весьма дефицитны. Поэтому при выборе сечения кабеля мы должны исходить из минимально допустимого по условиям механической прочности (10 мм^2 при высоком напряжении и 6 мм^2 при низком). Требуемые длины кабеля и допустимая величина потерь должны достигаться соответствующим выбором рабочего напряжения.

Таким образом, величина рабочего напряжения электротрактора определяется установленной практикой длиной загона, а значит и длиной кабеля, требованиями наименьших затрат дефицитных материалов и минимальным сечением кабеля. Разумеется, при этом должны быть учтены допустимые нормами величины падений напряжения.

Приведенные условия дают, на основании известной формулы, следующее однозначное решение по выбору напряжения электротрактора:

$$U = \sqrt{\frac{L \cdot P \cdot 10^5}{q \cdot \varepsilon \cdot k}} [\text{V}],$$

где L —длина кабеля в м; P —мощность электротрактора в kW; q —сечение жилы кабеля в мм^2 ; k —проводимость меди в $\text{м}\Omega \cdot \text{м}\cdot\text{мм}^2$; ε —допустимое падение напряжения.

При установленных нормами значениях величины ε и k , а также при принятых минимальных

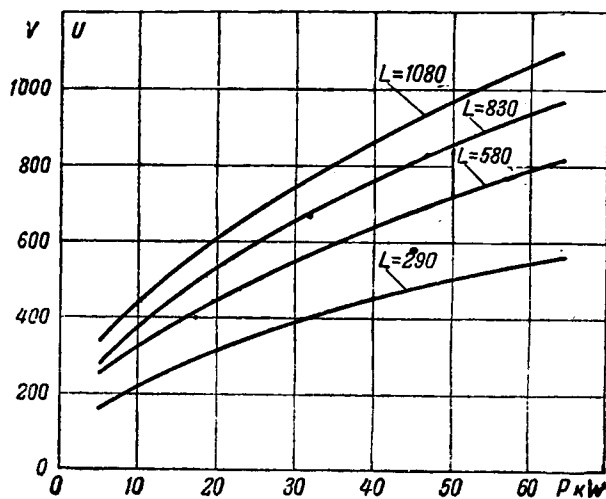


Рис. 2. Рабочее напряжение трактора в зависимости от его мощности при различной длине загона (L).

сечения кабеля, приведенная формула может быть представлена в следующем виде:

$$U = C \sqrt{P} [\text{V}],$$

где C —постоянная, которая определяется значениями ε , k , q и принятой длиной кабеля; P —мощность электродвигателя в kW.

По приведенной зависимости для различных значений длины кабеля и мощностей электротракторов в табл. 4 даны соответствующие им рабочие напряжения [V].

Таблица 4

Рабочее напряжение (V) трактора в зависимости от длины загона и мощности электротрактора

Длина загона, м	Длина кабеля, м	C	Мощность электротракторов, kW					
			10	20	30	40	50	60
2 000	1 080	137	434	613	750	867	970	1 060
1 500	830	120	380	540	660	762	855	935
1 000	580	101	320	455	555	640	715	785
500	290	71	225	318	389	450	505	550

Из полученного семейства парабол, построенных по данным табл. 4, следует (рис. 2), что стандартное напряжение в 0,22 kV при длине загона до 500 м пригодно лишь для садовых и огородных электротракторов мощностью до 10 kW. Следующее стандартное напряжение в 0,38 kV при той же длине загона может быть использовано на электротракторах средней мощности от 10 до 30 kW. Допущенное стандартом напряжение в 0,5 kV вовсе не может быть использовано, так как из приведенных кривых видно, что оно недостаточно для мощных электротракторов (выше 30 kW). Его использование на маломощных тракторах, но с увеличенным гоном до 1 000 м, практически мало интересно, так как тракторы будут перегружены весом кабеля.

Это обстоятельство также указывает на предпочтительность применения кабеля минимального сечения.

Приведенные марки кабелей рассчитаны для работы при напряжении до 1 000 В. По Смурову максимальный градиент у кабелей с резиновой изоляцией не должен превышать 2 кВ/мм. Максимальный градиент (по Haass) [Л. 2].

$$g_{\max} = \left(\frac{1}{2T} + \frac{0,18}{r} \right) U,$$

где T — толщина изоляции в мм; r — радиус токоведущей жилы в мм; U — рабочее напряжение в В.

Данные расчетов по этой формуле при $U = 1\,000$ В приведены в табл. 5.

Таблица 5

Марка кабеля	Сечение, мм ²	T , мм	r , мм	Максимальный градиент, В/мм
ГРШ	4/10	1,2	2,05	504
	3/16+1/10	1,2	2,55	476
	3,25+1/10	1,4	3,2	443
КРПТ	3/10+1/6	1,2	2,05	504
	3/16+1/10	1,2	2,55	476
	3,25+1/10	1,4	3,12	443
ГРШС	4/10	1,2	2,05	504
	3 16+1/10	1,2	2,55	476
	3,25+1/10	1,4	3,2	443
ГТШ	3/10+1/6	1,2	2,05	504
	3 16+1/10	1,2	2,55	476
	3,25+1/10	1,4	3,12	443

Из табл. 5 видно, что в электрическом отношении кабели всех марок при одном и том же сечении равнопрочны. Кроме того (и это самое главное), у кабелей минимального сечения всех марок градиент составляет всего 0,25 от максимального градиента (2 кВ/мм).

Методика расчета кабельного барабана. Кабельный барабан на электротракторе является основным узлом, во многом определяющим конструктивную компоновку всей машины.

Действительно, от конструктивных размеров кабельного барабана и места его размещения зависят: видимость борозды трактористом, расположение центра тяжести машины, продольная и поперечная устойчивость электротрактора и пр. Поэтому разработка методики расчета максимальной емкости кабельного барабана при минимальных его габаритах представляется необходимой.

Найти рациональное решение вопроса — это значит установить зависимость между длиной наматываемого кабеля L_k и размерами барабана при определенном диаметре кабеля d_k .

Габаритными размерами кабельного барабана являются его ширина b и конечный диаметр намотки D_k , определяемый числом рядов n уложенного кабеля по аксиальному размеру. Начальный диаметр намотки D_n , обычно величина, вполне определенная из условий минимально допустимого радиуса перегиба кабеля, чаще всего принимают:

$$D_n = 10 - 12 d_k.$$

Длина намотанного кабеля в ряду n при постоянном числе витков в ряду c будет:

$$L_n = c\pi [D_n + (2n-1)d_k].$$

Очевидно, полная длина намотанного кабеля —

$$L_k = c\pi (D_n \cdot n + d_k \cdot n^2).$$

Ширина барабана

$$b = \frac{c}{d_k}$$

или

$$b = \frac{L_k \cdot d_k}{\pi (D_n \cdot n + d_k \cdot n^2)},$$

т. е. между b и n существует гиперболическая зависимость. Задаваясь при определенной длине кабеля значением n , можно найти значение b .

Наиболее емким будет многослойный и относительно узкий барабан, но при этом нельзя забывать, что при многослойном барабане ухудшаются условия охлаждения кабеля.

Литература

1. П. Н. Листов. Электрификация полеводства. Электричество, № 4, 1945.
2. Проф. А. А. Смуров. Электротехника высоких напряжений и передача энергии, т. 2, ОНТИ, 1935.



К применению в электросетях трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой

Инж. НИКОЛА БЕЛОПИТОВ

София

Электрификация ряда стран, в том числе Болгарии, переходит на более высокую ступень развития. Мелкие местные электростанции, разбросанные по селам и городам, выполнили свою роль пионеров электрификации. В настоящее время они должны уступить место крупным областным (районным) электростанциям, обладающим рядом преимуществ: использование источников энергии на месте, меньшая стоимость сооружений, большее разнообразие нагрузок и лучший коэффициент использования, меньшая потребность в персонале и, благодаря всему этому, — снижение эксплуатационных расходов. Однако, большие затруднения при электрификации от районных станций возникают в связи с высокой стоимостью длинных линий электрической сети. Это обстоятельство особенно сказывается в хозяйственно слабо развитых странах с малым потреблением электроэнергии, где нагрузки разбросаны по сравнительно мало населенной местности. Положение усугубляется конъюнктурным фактором — высокой стоимостью меди.

Ввиду изложенного, изыскание способов удешевления передачи электроэнергии и снижения стоимости линий сети очень актуально, и положительное решение вопроса будет способствовать развитию электрификации.

Наиболее дорогостоящим элементом линий передачи является проводниковый материал, и экономия его, даже небольшая, существенна. Сечение проводов линий зависит, как известно, от нагрузки, длины передачи, материала проводов, напряжения, допускаемого падения напряжения и от некоторых других факторов.

На первый взгляд проектировщик электрической сети не может сделать многого для ее удешевления. Нагрузка и расстояние ее от питательного пункта заданы, напряжения стандартизированы (220/380 V для низкого и 20 000 или 15 000 V для среднего). Только при расчетах сетей для передачи очень больших мощностей

Доказываются преимущества применения регулировочных бустер-трансформаторов для регулирования напряжения в районных распределительных электросетях высокого и низкого напряжения. Экономичность предлагаемого метода проектирования электросетей иллюстрируется на примере конкретного проекта сети в одном из районов Болгарии с применением расчетных данных, соответствующих местным условиям этой страны.

проектировщику предоставляется некоторая свобода выбора.

Все же при углубленной разработке вопроса открывается возможность снижения расхода на проводниковый материал.

Для этого может быть использовано автоматическое регулирование напряжения.

Установка автоматических регуляторов напряжения в каждой трансформаторной подстанции позволила бы рассчитывать сеть среднего напряжения не по падению напряжения, а по экономической плотности тока (соответствующая формула приводится ниже). Однако, при таком элементарном варианте решения стоимость автоматических регуляторов вызовет столь большое удорожание сети, что применение их вряд ли даст экономический эффект. Если же вместо установки на каждой трансформаторной подстанции применить один общий регулятор напряжения в узловой точке распределительной сети, то можно получить почти такой же эффект в отношении регулирования напряжения, но с значительно меньшими затратами.

Регулятором напряжения может служить индукционный регулятор, принцип устройства и конструкция которого хорошо известны. Возможно применение бустер-трансформатора, очень дешевого аппарата, имеющего малые потери. Применение бустер-трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения позволяет получить весьма малые колебания напряжения у потребителей. В последнее время появились и другие весьма усовершенствованные типы регулировочных трансформаторов.

Применяя некоторые из указанных устройств, можно добиться значительного удешевления распределительных сетей. Это показано ниже на примере проекта электрификации одного района в Болгарии. Проект был одобрен надлежащими государственными организациями.

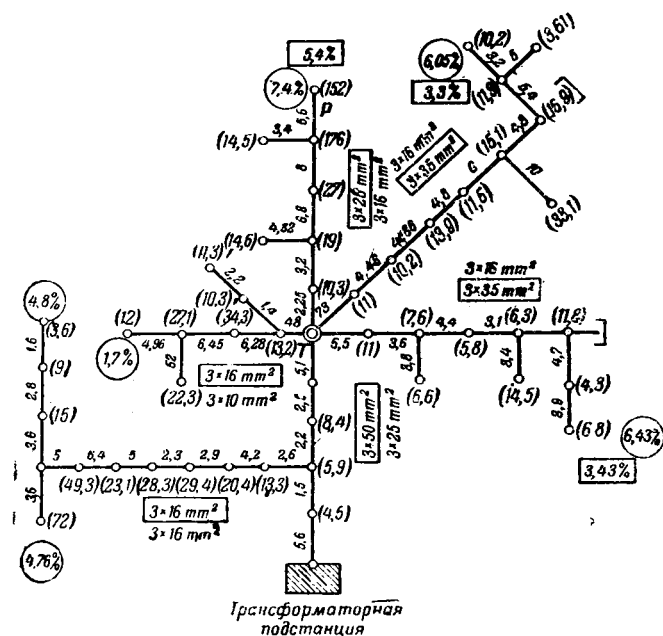


Рис. 1. Схема сети.

Сечения проводов сети, рассчитанные по падению напряжения, показаны на схеме рис. 1 (в прямоугольниках). Потери энергии вычислены по формуле $3 I^2 R \tau$, где τ — годовое число часов максимальных потерь, найденное из суточных графиков. Оно составляет в данном случае 1 400 ч. Подсчеты дают: вес меди проводов — 144 000 kg, максимальные потери мощности — 26 kW. Потери энергии за год составляют 36 000 kWh. При цене¹ меди 80 лв. за килограмм стоимость проводов составит 11 500 000 лв. Принимаем стоимость угля, смазочных материалов и др. для производства 1 kWh равной 0,4 лв; проценты на капитал и амортизацию капитала, вложенного в провода, — 8%. Стоимость 1 kW установленной мощности электростанции и трансформаторных подстанций — 10 лв.

Годовые эксплуатационные расходы по сети, зависящие от сечения проводов, составят: 1) проценты на капитал и амортизация капитала, вложенного в провода (не считая стоимости опор и затрат по монтажу, не зависящих от сечений) 920 000 лв; 2) стоимость потерь энергии — 36 000 · 0,4 = 14 500 лв; 3) проценты на капитал и амортизация капитала, затраченного на увеличение мощности электростанции из-за потерь в сети, — 26 000 · 10 · 0,08 = 20 800 лв — всего 955 300 лв.

Перейдем к рассмотрению той же сети при установке в узловой точке *T* (рис. 1) регулировочного бустер-трансформатора. В этом случае положение значительно изменится. Провода между трансформаторной подстанцией и точкой *T* могут рассчитываться теперь не по падению

напряжения, а по экономическим условиям. С помощью регулировочного трансформатора отклонения напряжения в точке *T* могут быть сведены до нуля. При необходимости, напряжение в точке *T* в периоды наибольших нагрузок может быть даже повышено. Поэтому при расчете проводов, отходящих от этой точки, сечение их получится значительно меньшим. Таким образом, кроме удешевления части сети между трансформаторной подстанцией и точкой *T* значительно удешевится и вся остальная часть сети.

Для выбора сечения проводов на участке между трансформаторной подстанцией и точкой *T* воспользуемся формулой экономической плотности тока. Вывод этой формулы, как известно, основан на составлении общего выражения для годовых расходов по передаче электроэнергии. Дифференцируя получаемое уравнение и приравнявая производную нулю, определяем минимальное значение годовых расходов, а отсюда и соответствующее значение экономической плотности тока:

$$j_s = \sqrt{\frac{p_1 b}{z \rho (p_2 + \beta \tau)}}$$

В этом выражении приняты следующие значения величин: $P_1 = P_2 = 8\%$ — годовые проценты на капитал и амортизация капитала, вложенного в провода и в электростанцию; $z = 3$ — число проводов; $\rho = 0,0175 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ удельное сопротивление 1 m медного провода; $\beta = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ лв/кВтч}$ — стоимость топлива и пр. при расходе 1,4 кг угля на 1 kWh и стоимости 1 t угля по 250 лв; $\tau = 1 400 \text{ h}$ — число часов максимальных потерь; $b = 3 \text{ лв на метр}$ — составляющая стоимости линии, зависящая от сечения проводов и определяемая углом наклона прямой стоимостей линии при различных сечениях проводов и цене меди 80 лв за 1 kg.

Подставляя приведенные значения, получим экономическую плотность тока

$$j_s = 1,85 \text{ A/mm}^2.$$

При цене меди 60 лв за 1 kg, $b = 2,25 \text{ лв на метр}$ и $j_s = 1,58 \text{ A/mm}^2$.

Для проверки правильности приведенной формулы произведен непосредственный подсчет расходов по передаче 1 500 kW по линии 15 kV на 30 km при различных плотностях тока в проводах. Результаты подсчетов представлены кривыми 1—6 в функции плотности тока на диаграмме рис. 2.

Из диаграммы рис. 2 видно, что минимум годовых расходов по передаче энергии отвечает плотности тока $j_s = 1,58 \text{ A/mm}^2$, что подтверждает вышеприведенный расчет по формуле экономической плотности тока. На кривой полных расходов 6 наблюдается скачок при значении плотности тока, требующей установки регулировочного трансформатора во избежание увеличе-

¹Стоимости подсчитаны в болгарской валюте по довоенным ценам.

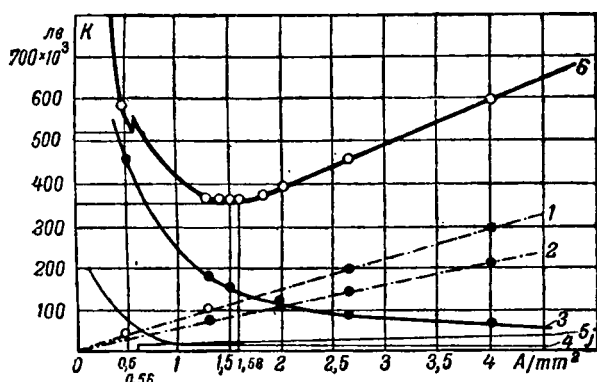


Рис. 2. Расходы по передаче 1500 kW по линии 15 kV на расстояние 30 км в зависимости от плотности тока.

1—проценты на капитал и амортизация капитала, затраченного на увеличение мощности вследствие потерь в проводах; 2—стоимость потерь энергии; 3—проценты и амортизация капитала, требующегося для усиления опор и пр. при повышении сечения проводов; 4—проценты и амортизация капитала, вложенного в регулировочный трансформатор, с учетом строительной части и потерь энергии; 5—проценты и амортизация капитала, затраченного на увеличение мощности вследствие потерь в проводах; 6—сумма перечисленных выше расходов.

ния падения напряжения в сети выше 7%. Естественно, что общие расходы по передаче энергии при этом повышаются, однако с дальнейшим увеличением плотности тока годовые расходы падают. При экономической плотности тока $j = 1,58 \text{ А/мм}^2$ расходы составляют 345 000 лв. против 520 000 лв. при отсутствии регулировочного трансформатора, что соответствует уменьшению расходов приблизительно на 34%.

Экономия будет еще больше в разветвленной распределительной сети при установке регулировочного трансформатора в узловой точке (точка Т в сети, рис. 1). Для этой сети производится ниже расчет по прежним данным, но с учетом установки регулировочного трансформатора в точке Т.

Сечение проводов между трансформаторной подстанцией и узловой точкой Т, подсчитанное по формуле экономической плотности тока, оказывается равным 23 мм^2 при цене меди 60 лв. за 1 kg и $19,5 \text{ мм}^2$ при цене 80 лв. В проекте принято нормальное сечение 25 мм^2 . Прочие участки распределительной сети рассчитаны по падению напряжения. Полученные сечения показаны на рис. 1 рядом с соответствующими данными первого расчета.

Вес меди проводов составляет 72 000 kg, потери мощности в проводах 60 kW. Стоимость проводов при цене меди 80 лв. вместе с регулировочным трансформатором и его строительной частью будет 5 750 000 лв. Годовые эксплуатационные расходы по сети, зависящие от сечения проводов, составят: 1) проценты на капитал и амортизация капитала, вложенного в провода и регулировочный трансформатор, при 8% — 460 000 лв; 2) стоимость потерь энергии — $60 \cdot 1400 \cdot 0,4 = 33\,500$ лв; 3) проценты на капитал и амортизация капитала, затраченного на увеличение стоимости электростанции из-за потерь в проводах, — $60\,000 \cdot 10 \cdot 0,08 = 48\,000$ лв. Всего 541 500 лв.

Таким образом по сравнению с первым случаем имеет место уменьшение годовых расходов, зависящих от сечения проводов линии, на $955\,300 - 541\,500 \approx 414\,000$ лв., или 43,9%; уменьшение стоимости медных проводов на: $11\,500\,000 - 5\,750\,000 = 5\,750\,000$ лв., или 50%.

В проведенных подсчетах не учитывались расходы, не зависящие от сечения проводов (стоимость опор, изоляторов, монтажа, расходы по персоналу и пр.), так как эти расходы одинаковы в обоих рассмотренных случаях.

Применение регулировочных трансформаторов, кроме выявленной выше большой экономии, дает еще и другие значительные преимущества.

Обычно расчет электрической сети производится для нагрузок, ожидаемых в период 15—20 лет, в предположении, что электрификацией будут охвачены все населенные пункты района. До истечения расчетного срока распределительные сети работают при крайне малых нагрузках. Часто оказывается также, что расчетные нагрузки были приняты завышенными вообще.

Например, в сети, изображенной на рис. 1, за семь лет после составления проекта выполнена только линия между трансформаторной подстанцией и точкой Т. Нагрузка указанной линии не превосходит сейчас 100—150 kW и плотность тока составляет 0,077—0,116 А/мм². Это означает, согласно данным диаграммы рис. 2, что линия уже семь лет работает при крайне неэкономичных плотностях тока. Если бы расчет сети был произведен по предлагаемому методу, регулировочный трансформатор можно было установить только после такого возрастания нагрузок, которое привело бы к недопустимым отклонениям напряжения. При этом стоимость сети и эксплуатационные расходы все время были бы значительно ниже.

Если нагрузки сети окажутся больше расчетных, то при установке регулировочного трансформатора расходы по передаче электроэнергии возрастут немного. Из диаграммы рис. 2 видно, что кривая общих годовых расходов при увеличении плотности тока проходит с малым наклоном. Даже если нагрузка окажется в два раза больше предполагаемой, годовые расходы окажутся только на 20% выше, чем при экономической плотности тока.

Бывают также случаи временного увеличения нагрузки линии, например, при кратковременном росте потребности в электроэнергии одного из крупных потребителей. Если линия передачи уже полностью нагружена, то потребовалась бы смена сечения проводов, не оправданная из-за временного характера роста нагрузки. В таких случаях задача решается установкой регулировочного трансформатора.

Следующее преимущество предлагаемого метода состоит в том, что при отсутствии падения напряжения в центре нагрузки падения напряжения для ответвлений, отходящих от точки Т (рис. 1), становятся меньше, несмотря на уменьшение сечений. Если дальнейшее уменьшение сечений проводов недопустимо по усло-

виям механической прочности, то в некоторых случаях, для коротких и малонагруженных ответвлений, можно применить стальные провода или стальные тросы с медной сердцевиной.

В некоторых случаях предлагаемый метод с некоторым видоизменением может найти применение и для сетей низкого напряжения. Например, рассмотрим случай железнодорожной станции, отстоящей от города на 2—3 км и требующей питания небольшой нагрузки в виде освещения территории станции. Подача высокого напряжения и постройка трансформаторной подстанции для указанной малой нагрузки крайне неэкономичны. Питание низким напряжением потребовало бы увеличения сечения проводов, что оказалось бы также неэкономичным. Наконец, также неэкономично в данном случае и устройство автоматического регулирования напряжения.

Наиболее экономичное решение задачи, примененное на одной железнодорожной станции Южной Болгарии, состоит в установке бустер-трансформатора для повышения напряжения без его автоматического регулирования. Некоторое неудобство этого метода заключается в

необходимости поддержания равномерной нагрузки (одновременного включения всех ламп на станции) или же переключения витков трансформатора при изменении нагрузки. Это неудобство отпадает в случаях отдельных постоянных нагрузок, значительно удаленных от трансформаторной подстанции.

С подобными случаями мы будем часто встречаться при предпринятой в последнее время широкой электрификации сельского хозяйства в Болгарии. Например, при электрификации орошения нецелесообразно устанавливать у каждого оросительного насоса отдельный трансформатор. С другой стороны, неэкономична и прокладка проводов низкого напряжения большого сечения. Наиболее целесообразно рассчитать провода по формуле экономической плотности тока и установить бустер-трансформатор для повышения напряжения.

В заключение следует отметить, что экономический метод расчета проводов должен иметь самое широкое применение в случаях, когда нагрузки малы и расположены на больших расстояниях одна от другой. Его следует особенно рекомендовать в настоящее время, когда стоимость меди значительно повысилась.



Наивыгоднейшее число промежуточных напряжений в электрических системах

Доктор техн. наук, проф. А. А. ГЛАЗУНОВ и инж. С. А. ГЕЛИКОНСКИЙ

Московский энергетический институт им. М. Г. Энгельса

Основной сетью для передачи и распределения электроэнергии в энергосистемах Советского Союза является сеть 110 кВ. Линии 220 кВ используются только для передачи больших мощностей между ограниченным числом пунктов или для связей между отдельными энергетическими системами.

В зависимости от географического расположения электростанций и потребителей распределение электроэнергии осуществляется по двум схемам:

1. Вблизи потребителей сооружаются подстанции 110 кВ, трансформирующие электроэнергию на напряжение 6—10 кВ. Сеть 6—10 кВ подводится к потребителю, на которых происходит вторичная трансформация электроэнергии на напряжение приемников тока.

2. Для групп потребителей сооружаются промежуточные подстанции 110/35 кВ, от которых электроэнергия направляется на подстанции 35/6—10 кВ. Питание приемников тока производится через потребительские подстанции, трансформирующие энергию на напряжения, соответствующие номинальным напряжениям приемников тока.

Вторая схема, имеющая относительно малое распространение, отличается наличием добавочной трансформации и добавочного звена электрической системы — сети 35 кВ.

Первая схема непосредственной трансформации электроэнергии с напряжением 110 кВ за последние годы получает все большее распространение. Характерной электрической системой, построенной по этому принципу, является английская сетка. Подстанции 110/6—10 кВ относительно небольшой мощности располагаются в местах потребления электроэнергии. В целях снижения затрат на сооружение подстанций введена стандартизация подстанций и применены схемы коммутации с повышенным использованием аппаратуры. Основной схемой коммутации является схема мостика (схема Н) с байпасом из

Проанализированы применяющиеся в СССР структуры сетей электрических систем в сравнении с системой 110/35 кВ, в которой распределение энергии потребителям производится при напряжении 35 кВ. Рассмотрен вопрос о целесообразности коммутационной схемы системы в отношении наивыгоднейшего числа промежуточных напряжений. Выявлены преимущества системы 110/35 кВ в смысле экономии капитальных затрат и эксплуатационных расходов, а также уменьшения потерь электроэнергии. С этой точки зрения статья находится в определенной связи с опубликованными в порядке обсуждения материалами по проблеме затрат металла и потерь электроэнергии в электрохозяйстве СССР (Электричество, № 6, 1946).

разъединителей, позволяющим шунтировать выключатель, установленный в мостике.

Такая же тенденция намечается и в США. Применяется включение подстанций 110 кВ на отпайки, присоединение трансформаторов через разъединители и плавкие предохранители, включение линий с трансформаторами в блок и т. п.

Эти мероприятия также значительно снижают первоначальные затраты на сооружение подстанций и позволяют строить их небольшой мощности с максимальным приближением к пунктам потребления электроэнергии.

При анализе указанных выше схем возникает ряд вопросов, главнейшими из которых являются следующие:

1. Целесообразно ли введение промежуточного напряжения 35 кВ в электрических системах? Наличие этого напряжения вызывает лишнюю трансформацию, связанную с потерями энергии. Приходится сооружать промежуточные подстанции 110/35 кВ и сеть 35 кВ, что связано с большими капитальными и материальными затратами.

2. Целесообразно ли распределение энергии потребителям при напряжениях 6—10 кВ? В этих случаях сооружение подстанции на группу потребителей вызывает большой расход цветного металла и денежных средств на сети 6—10 кВ. В энергосистемах СССР, придерживающихся такой практики, вложения меди в сети 6—10 кВ составляют 6,4 кг на 1 кВт мощности, установленной на станции, при 6,5 кг меди, вложенных в сеть 110 кВ. Следовательно, расход цветного металла на единицу мощности в распределительных сетях равен расходу металла на сети 110 кВ. Потери энергии в распределительных сетях значительно превышают потери в сетях 110 кВ. Такие соотношения по вложениям и потерям энергии в сетях 6—10 и 110 кВ не могут считаться

нормальными и указывают на большую протяженность распределительных сетей.

Приближение подстанций к потребителям даст экономии материальных и денежных затрат на сети 6—10 kV, но одновременно приведет к увеличению потребности в электроаппаратуре, трансформаторах и т. д. и повлечет за собой увеличение суммарных затрат на сооружение подстанций.

Решение этих основных вопросов применительно к ограниченному району потребления приводило всегда, в зависимости от взаимного расположения потребителей, расстояний между ними и нагрузок потребителей к созданию схем коммутации системы с двумя или с тремя напряжениями. Распределение энергии потребителям при любой схеме осуществлялось при напряжениях 6—10 kV. Такое локальное решение вопроса, не затрагивающее общей системы электроснабжения, не могло дать правильного ответа и потому являлось неубедительным и не подтверждавшим бесспорность принимаемых в Союзе схем коммутации электросистем.

Успехи аппаратостроения и машиностроения, обусловившие снижение цен на аппаратуру и машины, изготавливаемые на средние напряжения (20—35 kV), по нашему мнению заставляют пересмотреть применявшиеся до последнего времени решения о распределении электроэнергии потребителям.

В целях устранения ошибок, предопределявших принятие старых решений, вопрос о коммутационной схеме электросистемы должен изучаться в целом, а не для отдельных ограниченных районов. Только учет всех факторов, определяющих капитальные затраты и эксплуатационные расходы электрической системы, позволит правильно решить поставленную задачу.

Рассмотрение отдельных частных примеров также не может привести к общему решению задачи. Поэтому авторами настоящей работы был избран другой путь: теоретически изучить вопрос о целесообразной коммутационной схеме системы в отношении наивыгоднейшего числа промежуточных напряжений.

Анализу подверглись следующие схемы электрической системы:

1. Основная сеть системы 110 kV. На подстанциях электроэнергия трансформируется на напряжение 10 kV, при котором и передается потребителям. На потребительских подстанциях трансформаторы имеют высшее напряжение 10 kV.

2. Основная сеть 110 kV. На подстанциях электроэнергия преобразуется на напряжение 35 kV, при котором и передается непосредственно потребителям. На потребительских подстанциях трансформаторы имеют высшее напряжение 35 kV.

3. Основная сеть 110 kV. Сооружаются промежуточные подстанции 110/35 kV и сеть промежуточного напряжения 35 kV. В сети 35 kV имеются подстанции 35/10 kV, от которых и производится питание потребителей. На потреби-

тельских подстанциях трансформаторы имеют высшее напряжение 10 kV.

Сопоставление этих вариантов схем электросистем производилось по капитальным затратам и эксплуатационным расходам. Критерием при решении вопроса о целесообразной схеме системы являлись ежегодные эксплуатационные расходы.

Теоретическое решение вопроса о наивыгоднейшей схеме электрической системы требует предварительного установления некоторых исходных положений, в качестве которых были приняты следующие:

1. Район, подлежащий электрификации, имеет форму квадрата.

2. Электрическая станция, питающая район, находится в центре района (на пересечении диагоналей квадрата).

3. Нагрузки предполагаются равномерно распределенными по площади квадрата. Мощности отдельных потребителей одинаковы. Коэффициент мощности всех потребителей равен 0,8.

4. Район электрификации разбивается на квадраты. Потребители, находящиеся в данном квадрате, питаются от одной районной подстанции. Подстанции помещаются в центре квадрата. Таким образом, район электрификации разбивается на число квадратов, равное числу подстанций данного напряжения.

5. Питание подстанций 110 kV осуществляется двумя кольцевыми линиями. К каждому кольцу присоединяется половина всех 110-kV подстанций.

6. В электросистеме с тремя напряжениями 110, 35 и 10 kV сеть промежуточного напряжения 35 kV принимается по структуре такой же, как и основная сеть 110 kV.

7. Сеть 10 kV в электросистемах с тремя напряжениями и вторичные сети 35 и 10 kV в электросистемах с двумя напряжениями принимаются радиальными. Резервирование по сети не предусматривается.

8. Все сети предполагаются выполненными воздушными линиями, смонтированными на деревянных опорах.

9. Сечения проводов выбираются по экономической плотности тока, принимаемой одинаковой для линий 35 и 10 kV. Каждая линия имеет ступенчатое изменение сечений. Перемена сечения происходит в точках приложения нагрузок. Наименьшее допускаемое сечение медных проводов для линий 110 kV по условиям короны бралось 70 мм².

10. Стоимость потеряннного киловаттчаса считалась одинаковой во всех звеньях системы.

11. Все подстанции данного напряжения идентичны в отношении коммутации, оборудования, числа и мощности машин. На подстанциях устанавливается по два трансформатора. Резерва мощности в трансформаторах нет.

12. На стороне высшего напряжения 110-kV подстанций принималась схема мостика, с шунтировкой выключателя мостика байпасом из разединителей. Эта же схема принималась на сто-

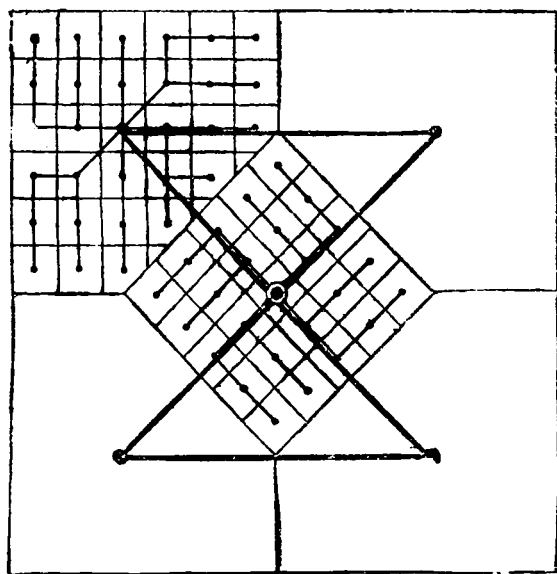


Рис. 1. Схема системы с распределительной сетью 35 кВ.

роне 35 кВ всех подстанций в варианте электро-системы с тремя напряжениями. На стороне вторичного напряжения (10 или 35 кВ) подстанций относительно большое число цепей этого напряжения заставило принять двойную систему шин.

Примеры предположенных теоретических схем сети приведены на рис. 1 и 2. На рис. 1 показан случай питания потребительских подстанций непосредственно напряжением 35 кВ от пяти подстанций 110/35 кВ. Каждая подстанция обслуживает 25—30 потребителей.

Сеть, изображенная на рис. 2, имеет 9 подстанций 110 кВ, трансформирующих электроэнергию на напряжение 10 кВ, которое и подается потребителям. В этом случае на каждую подстанцию 110 кВ приходится 16 потребительских подстанций.

В этих схемах число потребительских подстанций, питаемых от одной подстанции 110 кВ, дано условно. Оно зависит от мощности отдельных потребителей, суммарной мощности нагрузки и числа подстанций 110 кВ. Последнее определяется условиями наиболее экономичной структуры системы.

Теоретическое рассмотрение вопроса показывает, что суммарные ежегодные эксплуатационные расходы по электрической системе, учитывающие стоимость потерь энергии и отчисления на амортизацию и ремонт подстанций и линий сетей всех напряжений, могут быть представлены, как

$$k = f(N, s'),$$

где N — число подстанций, а s — сечение головных участков проводов распределительных сетей 35 или 10 кВ.

Произведенный дальнейший анализ показал, что при изменении сечения проводов на головных участках распределительных сетей в пределах от 25 до 120 мм² (по меди) минимум ежегодных эксплуатационных расходов по системе отклю-

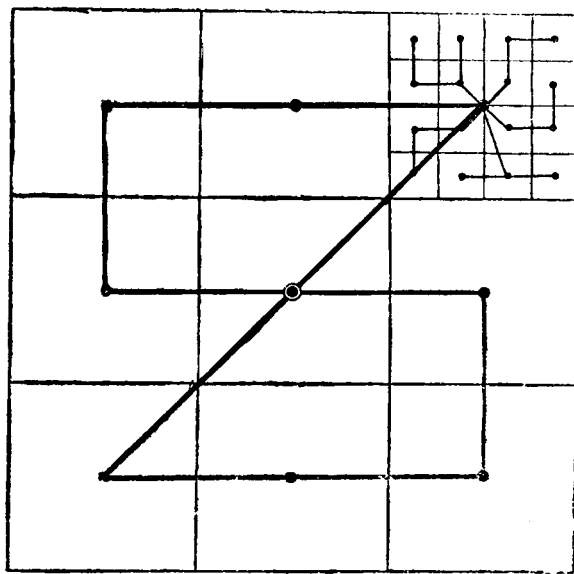


Рис. 2. Схема системы с распределительной сетью 10 кВ.

няется от своего среднего значения не более чем на $\pm 7,5\%$, при неизменном экономически целесообразном числе понизительных подстанций. Полученный результат позволил принять некоторые средние сечения головных участков распределительных сетей 35 и 10 кВ. При этом положении суммарные ежегодные эксплуатационные расходы являются только функцией числа понизительных подстанций.

В целях уточнения выведенных теоретических формул была произведена корректировка некоторых коэффициентов, входящих в эти формулы. Для этого были произведены расчеты ряда сетей, типа изображенных на рис. 1 и 2, и для них были найдены ежегодные эксплуатационные расходы. Параметры, определяющие рассматриваемые сети, были подставлены в теоретические формулы, а результаты, полученные расчетами и по формулам, сравнены. Произведенное сравнение показало, что оба метода дают результаты, достаточно близкие друг к другу. Почти полное совпадение результатов было достигнуто после корректировки некоторых коэффициентов, входящих в теоретические формулы.

Произведенные расчеты целого ряда сетей дали полную уверенность в возможности пользоваться скорректированными теоретическими формулами для решения вопроса об экономически целесообразном числе ступеней напряжений в электрических системах.

На рис. 3 представлены кривые изменения ежегодных эксплуатационных расходов в зависимости от числа понизительных подстанций (N). Кривая 1 относится к системе, где электроэнергия от подстанций 110/35 кВ подается потребителям при напряжении 35 кВ. Кривая 2 относится к системе, в которой от подстанций 110/10 кВ отходят распределительные сети 10 кВ. Обе кривые построены для случая: суммарная нагрузка района 75 000 кВт; мощность каждого потребителя 500 кВт, при $\cos \varphi = 0,8$; нагрузка распреде-

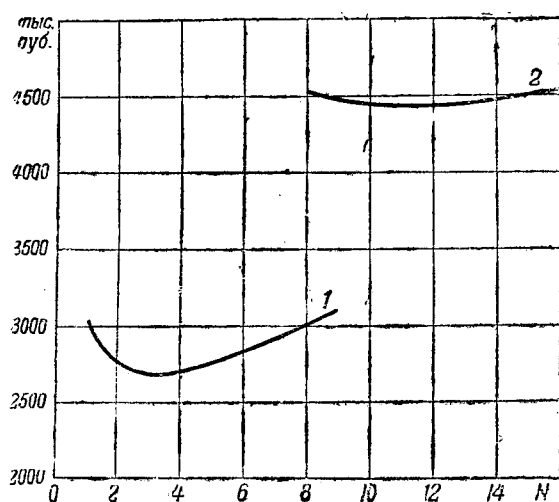


Рис. 3. Зависимость ежегодных эксплуатационных расходов от числа понижающих подстанций.

лена равномерно по площади квадрата со стороной, равной 100 км.

Эти кривые показывают, что экономически целесообразное число подстанций в системе 110/35 кВ составляет 3, а в системе 110/10 кВ порядка 11. В системе с распределительной сетью 35 кВ экономически целесообразное число понижающих подстанций почти в четыре раза меньше, чем при распределительной сети 10 кВ. Ежегодные эксплуатационные расходы в системе 110/35 кВ значительно ниже, чем в системе 110/10 кВ. Обращает внимание, что эксплуатационные расходы по системе с распределительной сетью 10 кВ изменяются очень незначительно при изменении числа понижающих подстанций в пределах от 8 до 16. Минимум эксплуатационных расходов для системы 110/35 кВ выражен значительно более четко.

Отметим, что кривые рис. 3 даны без учета эксплуатационных расходов, связанных с потребительскими подстанциями. Принимая во внимание, что эксплуатационные расходы на амортизацию и ремонт оборудования потребительских подстанций в системе 110/35 кВ будут больше, чем для системы 110/10 кВ, приходится констатировать, что действительная разница в эксплуатационных расходах для этих двух систем

будет меньше, чем получается по кривым рис. 3.

Плавный ход кривой 2 указывает, что вариант сооружения подстанций вблизи потребителей и вариант сооружения подстанций для групп потребителей, при питании последних при напряжении 10 кВ, с точки зрения эксплуатационных расходов, являются примерно одинаковыми. Следовательно, выбор между этими вариантами будет решаться капитальными затратами на сооружение понизительных подстанций и распределительной сети 10 кВ. Учитывая большую долю в суммарной стоимости сооружения системы стоимость подстанций, приходим к выводу, что число подстанций 110/10 кВ не должно быть очень большим.

Подчеркнем еще раз, что произведенные расчеты с очевидностью показали преимущество системы с напряжениями 110/35 кВ перед системой 110/10 кВ.

Для более всестороннего выявления преимуществ и недостатков различных коммутационных схем электросистем, пользуясь выведенными формулами, были найдены наивыгоднейшие числа подстанций и ежегодные эксплуатационные расходы для трех вариантов структуры системы: 110/10 кВ, 110/35 кВ и 110/35/10 кВ. При этом суммарная нагрузка системы считалась равной 50 000, 75 000, 100 000 и 125 000 кВт. Мощность одиночных потребителей принималась 500 кВт при $\cos \varphi = 0,8$. Площадь электрифицированного района считалась 5 000 и 10 000 км². Таким образом, для каждого из трех вариантов структуры электросистемы производилось 8 расчетов, определяющих наивыгоднейшее число понижающих подстанций и оптимальные величины ежегодных эксплуатационных расходов.

Результаты расчетов приведены в табл. 1—3. В вариантах выполнения системы с напряжениями 110/10 кВ и 110/35/10 кВ капитальные затраты и ежегодные эксплуатационные расходы определялись по сетям всех напряжений и районным подстанциям. Для возможности вести сравнение варианта системы с напряжениями 110/35 кВ с двумя остальными, учитывались дополнительные расходы на сооружение и дополнительные расходы на амортизацию и ремонт потребительских подстанций. Потребительские подстанции с первичным напряжением 35 кВ будут стоить дороже, чем с первичным напряжением 10 кВ.

Таблица 1

Технико-экономические показатели системы с двумя напряжениями (110 и 10 кВ)

Показатели	Площади электрифицируемых районов, км²							
	10 000				5 000			
	Суммарные нагрузки районов, kW							
	50 000	75 000	100 000	125 000	50 000	75 000	100 000	125 000
1. Наивыгоднейшее число подстанций 110/10 kV	8	11	13	14	7	9	11	12
2. Капигальные затраты, тыс. руб. .	23 200	30 200	36 400	40 500	18 700	24 000	29 400	33 000
3. Эксплоатационные расходы, тыс. руб.	3 190	4 280	5 260	6 330	2 470	3 320	4 080	4 870

Таблица 2

Технико-экономические показатели системы с двумя напряжениями (110 и 35 кВ)

Показатели	Площади электрифицируемых районов, км²							
	10 000				5 000			
	Суммарные нагрузки районов, кВт							
	50 000	75 000	100 000	125 000	50 000	75 000	100 000	125 000
1. Наивыгоднейшее число подстанций 110/35 кВ	2	3	4	4	2	3	3	4
2. Капитальные затраты, тыс. руб.:								
а) при 2 трансформаторах на потребительской подстанции . . .	18 000	24 300	30 300	34 300	14 600	20 000	23 800	28 500
б) при 1 трансформаторе на потребительской подстанции . . .	17 000	22 800	28 300	31 800	13 600	18 500	21 800	26 000
3. Эксплуатационные расходы, тыс. руб.:								
а) при 2 трансформаторах на потребительской подстанции . .	2 240	3 030	3 760	4 530	1 730	2 360	2 940	3 530
б) при 1 трансформаторе на потребительской подстанции . . .	2 140	2 880	3 560	4 280	1 630	2 210	2 740	3 280

Таблица 3

Технико-экономические показатели системы с тремя напряжениями (110, 35 и 10 кВ)

Показатели	Площади электрифицируемых районов, км²							
	10 000				5 000			
	Суммарные нагрузки районов, kW							
	50 000	75 000	100 000	125 000	50 000	75 000	100 000	125 000
1. Наивыгоднейшее число:								
а) подстанций 110/35 kV	3	4	5	5	2	3	4	4
б) подстанций 35/10 kV	9	12	15	16	7	10	12	14
2. Капитальные затраты, тыс. руб. .	24 800	32 300	39 900	43 700	18 200	24 200	31 100	35 000
3. Эксплуатационные расходы, тыс. руб.	3 660	4 880	6 000	7 100	2 830	3 830	4 730	5 610

Принималось, что разница в стоимости потребительских подстанций 35 и 10 кВ составляет при одном трансформаторе на подстанции 10 000, а при двух — 20 000 руб. Ежегодные отчисления на амортизацию и ремонт потребительских подстанций считались равными 10%.

Сравнение рассматриваемых вариантов структуры электрических систем по основным показателям, а именно, по числу подстанций, эксплуатационным расходам и капитальным затратам, позволяет сделать следующие выводы:

1. Во всех случаях оптимальное число подстанций получается наименьшим для сети с двумя напряжениями 110 и 35 кВ. Например, при площади района 10 000 км² и суммарной нагрузке 75 000 кВт в системе с двумя напряжениями 110 и 35 кВ требуется 3 подстанции 110/35 кВ в то время, как для системы с напряжениями 110 и 10 кВ число подстанций доходит до 11. В системе с тремя напряжениями должно

быть сооружено 16 подстанций, из которых 4 подстанции 110/35/10 кВ и 12 подстанций 35/10 кВ.

2. Наименьшие эксплуатационные расходы дает вариант выполнения электрической системы с двумя напряжениями 110 и 35 кВ. Наибольшие эксплуатационные расходы соответствуют варианту с тремя напряжениями в системе. Вариант с двумя напряжениями 110 и 10 кВ по эксплуатационным расходам ближе к варианту с тремя напряжениями.

Если эксплуатационные расходы для системы с напряжениями 110/35 кВ принять за единицу, то при площади 10 000 км² и суммарной нагрузке 75 000 кВт, те же расходы для системы 110/10 кВ составят 1,41 — 1,49, а суммарные — для системы 110/35/10 кВ будут 1,61 — 1,69 (меньшая цифра относится к случаю сравнения системы 110/35 кВ с другими системами при установке на потребительских подстанциях двух

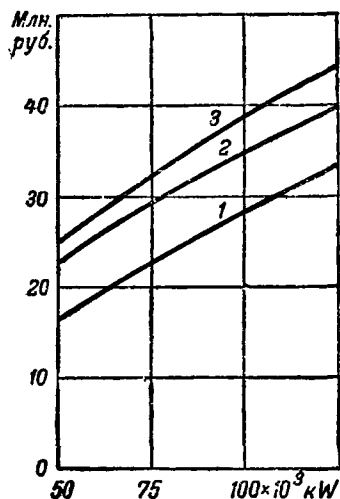


Рис. 4. Зависимость эксплуатационных расходов от суммарной нагрузки района.

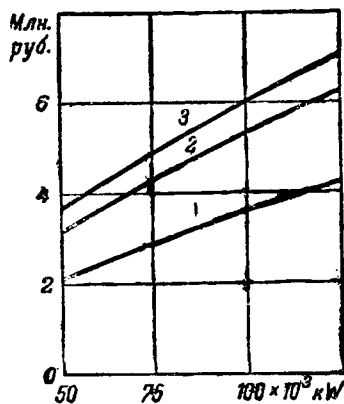


Рис. 5. Зависимость капитальных расходов от примерной нагрузки района.

трансформаторов, а большая — при установке на потребительских подстанциях одного трансформатора).

В денежном выражении экономия в эксплуатационных расходах составляет от 1 250 000 до 2 000 000 руб. Полученные соотношения между эксплуатационными расходами примерно сохраняются и для других суммарных нагрузок и площадей электрификации.

На рис. 4 даны кривые эксплуатационных расходов и на рис. 5 капитальных затрат в зависимости от суммарной нагрузки электрифицируемого района, площадь которого составляет 10 000 км². (Кривая 1 — система 110/35 кВ, кривая 2 — система 110/10 кВ, кривая 3 — система 110/35/10 кВ). Характер кривых диаграммы рис. 5 показывает, что по мере увеличения плотности нагрузки преимущества электросистемы с двумя напряжениями 110 и 35 кВ возрастают. Разница в эксплуатационных расходах между системой 110/35 кВ и двумя другими непрерывно увеличивается.

Анализ цифр табл. 1—3 дает, что вариант системы с двумя напряжениями 110 и 35 кВ при всех возможных практических условиях будет давать всегда наименьшие эксплуатационные расходы, т. е. будет экономически наиболее целесообразным.

3. Вариант построения электрической системы с двумя напряжениями 110 и 35 кВ для всех рассмотренных случаев требует наименьших капитальных затрат. Для тех же условий, а именно: района электрификации 10 000 км² и суммарной нагрузки 75 000 кВт, принимая капитальные затраты для системы с напряжениями 110 и 35 кВ за единицу, получим, что для варианта с напряжениями 110 и 10 кВ эти затраты составят 1,24—1,33, а для варианта с тремя напряжениями будут 1,33—1,42.

В денежном выражении вариант с напряжениями сетей 110 и 35 кВ дает экономию 5 900 000 — 9 500 000 руб.

Возникает вопрос, как отразится на сравнении вариантов изменение мощности каждого потребителя. Очевидно, что увеличение или уменьшение мощности потребительских подстанций не отразится на результатах сравнения вариантов системы при двух напряжениях 110 и 10 кВ и системы с тремя напряжениями. В этих обоих вариантах к потребительским подстанциям подводится напряжение 10 кВ и потому стоимости и эксплуатационные расходы, связанные с потребительскими подстанциями, остаются неизменными.

При сравнении варианта системы с двумя напряжениями 110 и 35 кВ с другими вариантами экономия в капитальных затратах и эксплуатационных расходах будет снижаться по мере уменьшения мощности потребительских подстанций. Это объясняется тем, что в связи с уменьшением мощности отдельных потребительских подстанций с первичным напряжением 35 кВ будет увеличиваться число их, что поведет к относительному их удорожанию по сравнению с подстанциями с первичным напряжением 10 кВ. Произведенные соответствующие исследования показали, что эксплуатационные расходы становятся равными в обоих вариантах систем с двумя напряжениями (110/35 и 110/10 кВ) при мощности отдельных потребителей 70—80 кВт при установке на каждой подстанции одного трансформатора. При установке двух трансформаторов на каждой подстанции эксплуатационные расходы становятся равными при мощностях отдельных нагрузок 120—140 кВт.

Полученные значения мощностей отдельных нагрузок показывают, что для всех практически возможных условий вариант построения системы с двумя напряжениями 110 и 35 кВ является экономически наиболее целесообразным. Этот вывод может быть распространен не только на структуру системы, питающей промышленные нагрузки, но в ряде случаев и на системы, питающие коммунальные нагрузки, т. е. на городские сети.

Преимущества распределения электроэнергии при напряжении 35 кВ не исчерпываются только экономией капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Повышение напряжения распределительной сети до 35 кВ приведет к уменьшению потребности в цветных металлах на 57% по сравнению с вариантом системы 110/10 кВ. В таком же отношении снижаются для системы 110/35 кВ и потери энергии.

Большое уменьшение числа районных подстанций в варианте системы с напряжениями 110 и 35 кВ предопределяет значительно меньшие потребности в трансформаторах, электроаппаратуре и т. д. Строительство меньшего числа подстанций потребует меньшего количества квалифицированного персонала и рабочей силы. Организация строительства и последующая эксплуатация подстанций в варианте системы 110/35 кВ будет несравненно проще, чем при других вариантах структуры системы.

При распределении энергии на напряжении 35 кВ не возникает вопроса о необходимости

регулирования напряжения по условиям работы сети 35 kV. Распределение энергии на напряжении 10 kV требует предусмотреть специальные устройства для регулирования напряжения. Это приведет к еще большему увеличению первоначальных затрат и эксплуатационных расходов в обоих вариантах выполнения системы с питанием потребителей на 10 kV. Указанные соображения базируются на том, что для рассмотренных выше примеров потеря напряжения в распределительной сети 35 kV при нормальных режимах работы составляла в среднем 5—6%, а в распределительной сети 10 kV доходила до 10—12%.

Выводы. Все изложенное с очевидностью показывает, что применявшиеся до настоящего времени коммутационные схемы электрических систем не отвечают условиям экономической работы и потому от них следует отказаться. Необходимо переходить к построению электросистем, в которых основной сетью является сеть 110 kV, а распределение энергии потребителям производится при напряжении 35 kV.

Не следует забывать, что принятие этой системы электроснабжения поведет к удешевлению аппаратуры 35 kV, так как безусловно наши заводы, учитывая массовую потребность в ней, дадут более совершенные и в то же время более дешевые типы. Кроме того, можно смелее при-

менять присоединение потребительских подстанций к линиям 35 kV через разъединители и плавкие предохранители. Эти мероприятия приведут к еще большим преимуществам структуры электрической системы с напряжениями 110 и 35 kV.

Произведенный анализ построения электрической системы в части числа и величины экономических напряжений, наталкивает на мысль, что в целом ряде случаев, а возможно и при большинстве практически встречающихся условий, 35 kV не является наиболее экономичным напряжением. Есть основания предполагать, что экономически целесообразное напряжение близко к 20 kV. Эти соображения основаны на том, что стоимости аппаратуры, трансформаторов и линий сети для напряжения порядка 20 kV близки к стоимости тех же элементов при напряжении 10 kV. При напряжении 35 kV эти элементы значительно дороже, чем при 10 kV.

В заключение авторы считают необходимым еще раз обратить внимание на то обстоятельство, что выбор той или иной структуры системы не должен производиться на основании расчетов, сделанных для отдельных небольших частей ее. Такое решение вопросов приведет к ошибочным выводам. Правильная структура системы может быть установлена только при изучении вопроса для всей системы в целом.



Магнитные эталоны

Доктор техн. наук, проф. Е. Г. ШРАМКОВ

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Мэнделеева

Измерения, связанные с магнитными явлениями, внедряются в различные отрасли народного хозяйства, и объекты этих исследований весьма разнообразны. Применительно к широкой практике магнитные измерения охватывают следующие главнейшие области:

а) *Исследования магнитных характеристик всевозможных материалов* и в первую очередь ферромагнитных, как имеющих наибольшее практическое применение. Сюда же должны быть отнесены исследования постоянных магнитов, широко используемых в различного рода механизмах. Немаловажное значение имеют исследования пара — и диамагнитных тел, в частности горных пород, для установления научной и технической базы в деле разведки полезных ископаемых.

б) *Измерения магнитных величин в готовых изделиях*, содержащих в том или ином виде магнитные цепи. К этой же области можно отнести и проблемы магнитной дефектоскопии.

в) *Исследования элементов земного магнитного поля*. Сюда относятся как измерения, связанные с задачами магнитных обсерваторий, так и измерения земного магнитного поля на поверхности земли и водных пространств, в глубине земных скважин и под водой, имеющие большое значение в народном хозяйстве и в военном деле.

Приведенное краткое перечисление главнейших областей, которые охватываются измерениями, связанными с магнитными явлениями, дает достаточное основание рассматривать эти измерения как самостоятельный раздел метрологии.

Для обеспечения единства измерений, требуемой точности и воспроизводимости результатов данный раздел метрологии, так же как и любой другой, должен располагать необходимой образцовой измерительной аппаратурой, опирающейся на соответствующие эталоны, воспроизводящие единицы в той системе, которая принята для данной области измерений. В комплексе образцовой аппаратуры первое место занимают, как известно, *первичные эталоны*. Установление тех или иных первичных эталонов диктуется в первую очередь метрологическими соображениями, а также и требованиями практики. При этом в

Доказывается необходимость создания магнитных эталонов и описываются последовательные стадии и результаты работы, выполненной магнитной лабораторией Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии в данной области. Наряду с теоретическим анализом возникших метрологических проблем дано описание изготовленных магнитных эталонов.

общем случае не обязательно, чтобы первичные эталоны были эталонами тех единиц, которые для данной области измерения считаются основными.

Магнитные явления не могут рассматриваться обособленно. Эти явления и явления электрические тесно связаны между собой и представляют лишь две стороны одного и того же процесса — электромагнитного. Естественен при этом вопрос, есть ли необходимость и целесообразность в создании первичных эталонов и электрических и магнитных единиц.

Для рассмотрения соотношения между главнейшими величинами, характеризующими электромагнитные процессы, можно воспользоваться уравнениями Максвелла в интегральной форме:

$$\oint H dl = 4\pi I \text{ и } \oint E dl = - \frac{d\Phi}{dt},$$

имея в виду, что все другие величины, используемые при описании электромагнитных явлений, связаны с величинами, входящими в эти уравнения.

Второе уравнение дает основание рассматривать магнитный поток, как одну из основных магнитных величин и в соответствии с этим э. д. с. может рассматриваться как относящаяся к группе магнитных величин. В то же время из первого уравнения вытекает, что м. д. с. можно трактовать как электрическую величину. Эти же соотношения показывают, что сила тока может быть определена через м. д. с., а при известных условиях через напряженность магнитного поля, и наоборот. Аналогично, э. д. с. может быть определена через магнитный поток или магнитный поток через э. д. с.

При наличии такой тесной связи между электрическими и магнитными величинами как будто нет особой необходимости создавать эталоны магнитных единиц, если имеются уже эталоны электрических единиц. Однако, такой вывод представляется нам слишком формальным, без учета метрологических соображений и потребностей практики. Прежде чем переходить к рассмотрению этих последних мотивов, небезынтересно ознакомиться с тем, каким путем развива-

лась международная метрология, связанная с электромагнитными явлениями.

Рассматривая международные соглашения, касающиеся данной области метрологии, приходится констатировать, что ни одно из них не затрагивает вопроса о воспроизведении магнитных единиц, понимая под ними единицы магнитного потока, напряженности магнитного поля и др. Все внимание международная метрологическая практика уделяла созданию эталонов электрических единиц. В соответствии с этим все электромагнитные измерения, как известно, базируются на основных эталонах международных электрических единиц. В отношении же магнитных единиц мы имеем лишь такие международные соглашения, которые касаются установления системы единиц и присвоения некоторым единицам наименований. Еще в 1881 г. на первом конгрессе по электричеству для магнитных единиц была принята электромагнитная система CGS. Это положение сохраняет свою силу и до настоящего времени. В отношении же наименований магнитных единиц долгое время существовала путаница в применении установленных наименований и только сравнительно недавно в этот вопрос внесена некоторая ясность. Именно в 1930 г. на собрании международной электротехнической комиссии в Стокгольме для магнитных единиц в абсолютной электромагнитной системе CGS были приняты наименования: для единицы напряженности магнитного поля — эрстед, для единицы магнитной индукции — гаусс, для единицы м. д. с. — гильберт; для единицы магнитного потока было сохранено наименование максвелл, установленное еще в 1900 г. Парижским конгрессом по электричеству. В отношении наименований практических магнитных единиц имеется международное соглашение лишь для единицы магнитного потока — вебер ($1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx}$), принятой на собрании Международной электротехнической комиссии в 1935 г.

Необходимо также отметить, что серьезных попыток установления эталонов магнитных единиц в иностранных метрологических лабораториях до последнего времени не было.

Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ) еще в 1930 г. выдвинул вопрос о целесообразности проведения работ по установлению эталонов магнитных единиц в абсолютной электромагнитной системе CGS. Ставя этот вопрос, ВНИИМ руководствовался следующими соображениями.

Как указывалось уже нами выше, измерения, связанные с явлениями магнитными и электрическими, так же как и основная метрологическая база этих измерений, не должны рассматриваться как обособленные, хотя каждая из этих областей имеет свою собственную специфику. Для электрических единиц Международным комитетом мер и весов уже в 1929 г. было принято решение о переходе от международной системы к абсолютной системе CGS μ_0 . В 1935 г. тот же Комитет наметил срок перехода на абсолютную систему единиц — 1940 г. Однако, в 1939 г. на собрании Консультативного комитета по электри-

честву, где рассматривались результаты работ, проведенных национальными метрологическими учреждениями по воспроизведению абсолютных электрических единиц, выяснилось, что между значениями единиц, — особенно для абсолютного ампера, полученными в лабораториях разных стран, наблюдаются недопустимые расхождения (0,01—0,02%). Это обстоятельство потребовало продолжения работ и тем самым срок перехода к абсолютным единицам отодвинулся. Последующие затем военные события затормозили развитие работ по абсолютным электрическим единицам. Однако, нет оснований предполагать, что принятое решение о переходе к абсолютной системе электрических единиц потеряет свое практическое значение. В связи с намеченным переходом к абсолютной системе электрических единиц во ВНИИМ в полном объеме встал вопрос о работах по воспроизведению единиц и, в частности, о воспроизведении абсолютного ампера.

Национальные метрологические лаборатории разных стран, в том числе ВНИИМ, для решения данного вопроса используют метод ампервесов. Однако, этот метод не является единственным. Воспроизведение абсолютного ампера возможно также через напряженность магнитного поля, что требует измерения в абсолютных единицах с метрологической точностью напряженности магнитного поля. С метрологической точки зрения проведение работ, преследующих одну и ту же цель — в данном случае воспроизведение абсолютного ампера — двумя различными методами, представлялось особенно ценным. Это обстоятельство являлось одним из мотивов для проведения работ по созданию эталона единицы напряженности магнитного поля в абсолютной системе CGS μ_0 .

Большое практическое значение имеют прежде всего измерения элементов земного магнитного поля. Измерения эти специфичны в двух отношениях. Методика и аппаратура, применяемые для этих измерений, в подавляющем большинстве резко отличаются от методов и аппаратуры, используемых в других областях магнитных измерений, где, как известно, широко применяются электрические методы. С этим связана и вторая особенность, определяющая специфику рассматриваемых измерений, — отсутствие метрологической связи с государственными электрическими эталонами. В магнитных обсерваториях для измерения горизонтальной составляющей земного магнитного поля, склонения, наклонения применяются абсолютные методы, базирующиеся на измерениях длины, массы и времени; при измерениях же, проводимых в полевых условиях или им подобных, используются относительные методы, и в этом случае метрологической базой является собственная аппаратура обсерваторий, рассматриваемая ими как образцовая.

Для обеспечения единства измерений и в данной области естественным является включение ее в орбиту общегосударственного метрологического обслуживания по линии магнитных измерений. Основными магнитными величинами для этой области измерений являются напряженность

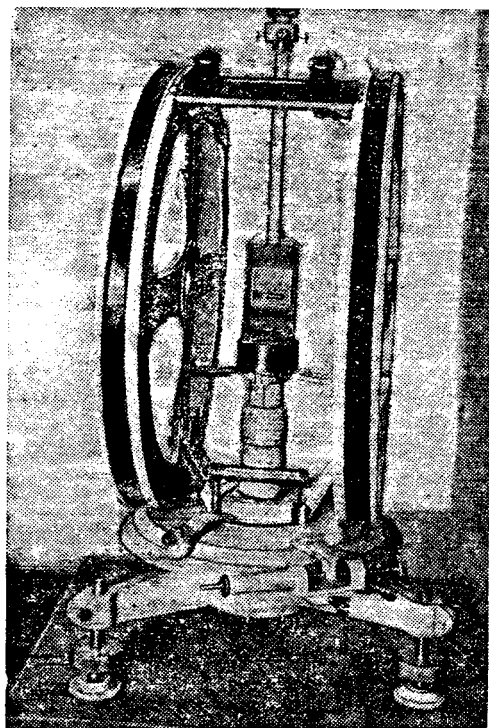


Рис. 1.

магнитного поля и магнитный момент. Главнейшие закономерности связаны именно с этими величинами.

Приведенные соображения являлись вторым основанием для создания государственных эталонов магнитных единиц.

Магнитной лабораторией ВНИИМ в 1930 г. был разработан план, предусматривающий работы по установлению *эталонов единиц напряженности магнитного поля, магнитного потока и магнитного момента* в абсолютной электромагнитной системе CGS. Первый этап этих работ охватывает период 1930—1938 гг., завершившийся созданием эталонов вышеуказанных единиц, хотя и с ограниченной точностью, однако превышающей ту точность, которая обеспечивалась образцовой аппаратурой, применявшейся в магнитных измерениях.

Для выполнения этих работ была оборудована специальная лаборатория в г. Павловске (вблизи Ленинграда), удаленная от возможных электромагнитных возмущений. Для обеспечения внутри помещения однородного, не искаженного, естественного (земного) магнитного поля все здание лаборатории было построено из немагнитных материалов, которые тщательно исследовались перед употреблением. Измерения напряженности магнитного поля внутри здания показали, что в тех помещениях, где производились эталонные работы, неоднородность поля не превышала $6 \cdot 10^{-5}$ Ое.

В качестве эталонного прибора напряженности магнитного поля была применена катушка Гельмгольца. Применение именно катушки Гельмгольца, как прибора, создающего магнит-

ное поле, объясняется тем, что такая катушка обеспечивает получение достаточно однородного поля в пространстве, легко доступном и удобном для экспериментирования. Теоретический расчет по геометрическим размерам катушки показывает, что в объеме цилиндра (между кольцами катушки, на которые навита обмотка) с диаметром основания и образующей, равными 0,2 радиуса кольца (среднего радиуса обмотки), однородность поля сохраняется в пределах 0,02%. Для меньшего объема, если диаметр основания и образующая цилиндра не превышают 0,1 радиуса кольца, неоднородность поля не выходит за пределы 0,001%. Однородность магнитного поля катушки Гельмгольца достигается в том случае, если расстояние между средними плоскостями двух катушек (колец) равно среднему радиусу катушки, а размеры окна, заполненного обмоткой каждой катушки, удовлетворяют условию

$$\frac{ab}{ac} = \sqrt{\frac{31}{36}}$$

где ab и ac — соответственно ширина и высота окна.

Практически соблюдение вышеуказанных требований возможно с ограниченной точностью, особенно для многослойных катушек, а в соответствии с этим и расчет напряженности поля для такой катушки не может гарантировать большую точность. Построенная во ВНИИМ в 1931 г. катушка Гельмгольца (рис. 1) выполнена в виде многослойной с обмотками, навитыми на латунные кольца. Все материалы, из которых изготовлялась катушка, так же как и готовые детали, тщательно исследовались в отношении их магнитной восприимчивости. Учитывая высказанные выше соображения, для данной катушки Гельмгольца было признано более правильным установление значения напряженности магнитного поля катушки не путем расчета, а измерением этого поля в центральной части катушки. Для этой цели был применен метод сличения напряженности поля катушки Гельмгольца и напряженности горизонтальной составляющей земного поля путем наблюдения периода колебаний магнита в том и другом поле. В центральной части катушки Гельмгольца на нити подвешивался магнит (рис. 1) и наблюдался период колебания этого магнита: один раз, когда в катушке Гельмгольца не было тока, т. е. колебания происходили в земном магнитном поле, а второй раз при некоторой неизменной силе тока в обмотках катушки. Тогда для напряженности поля катушки Гельмгольца H_g справедливо следующее выражение:

$$H_g = \frac{T^2}{T_g^2} (H + \nu H_g) - H, \quad (1)$$

где H — горизонтальная составляющая земного магнитного поля, T и T_g — периоды колебания магнита, соответственно в поле H и $(H + \nu H_g)$, ν — индукционный коэффициент магнита.

В уравнении (1) предполагается, что поля H и H_g совпадают по направлению. Наличие в формуле индукционного коэффициента объясняется тем, что магнит совершает колебания в полях различной величины, вследствие чего меняется его магнитный момент, а следовательно, и период колебания. Формула (1) справедлива лишь при условии, что температура, кручение нити подвеса и амплитуда колебаний магнита остаются одинаковыми в процессе измерений как T , так и T_g . В противном случае необходимо введение соответствующих поправок.

Как видно из формулы (1), для определения H_g необходимо знать величину горизонтальной составляющей земного поля H в моменты наблюдений. В работах ВНИИМ эта величина бралась из данных измерений Павловской магнитной обсерватории. Это обстоятельство, несмотря на то, что лаборатория ВНИИМ была расположена в непосредственной близости от обсерватории, являлось не вполне благоприятным фактором, так как не было достаточной уверенности в полной идентичности значения H в обсерватории и в лаборатории ВНИИМ. Поэтому в первый период работ по установлению эталона приходилось производить измерения с катушкой Гельмгольца в помещении обсерватории.

Все величины, входящие в формулу (1), измеряются в абсолютных единицах, а следовательно, в тех же единицах определяется и значение напряженности поля катушки Гельмгольца.

Анализ погрешности измерения H_g показывает, что с аппаратурой, имевшейся в тот период времени в распоряжении лаборатории, точность воспроизведения единицы напряженности магнитного поля составляет величину порядка $0,01 - 0,02\%$. Хотя эта точность ниже той точности, с которой воспроизводятся основные электрические международные единицы, однако она выше точности, которая обеспечивается образцовой аппаратурой в международных единицах, применяемой в магнитных измерениях. Действительно, образцовые соленоиды, катушки взаимной индуктивности, на которых базируются измерения магнитных величин, воспроизводят магнитные единицы с точностью, не превышающей $0,1\%$. Это не относится лишь к одной области магнитных измерений — исследования элементов земного магнитного поля, — которая, как указывалось, не связана с электрическими эталонами.

Та же катушка Гельмгольца, снабженная вторичной катушкой, помещенной в центральной части катушки Гельмгольца, используется в качестве эталона магнитного потока (рис. 2). Обмотка вторичной катушки навита на мраморный цилиндрический остов. В пространстве, которое занимает эта катушка, неоднородность магнитного поля не превышает $0,02\%$. Величина магнитного потока, сцепляющегося со вторичной катушкой, вычисляется по геометрическим размерам катушки, ее числу витков и напряженности поля катушки Гельмгольца.

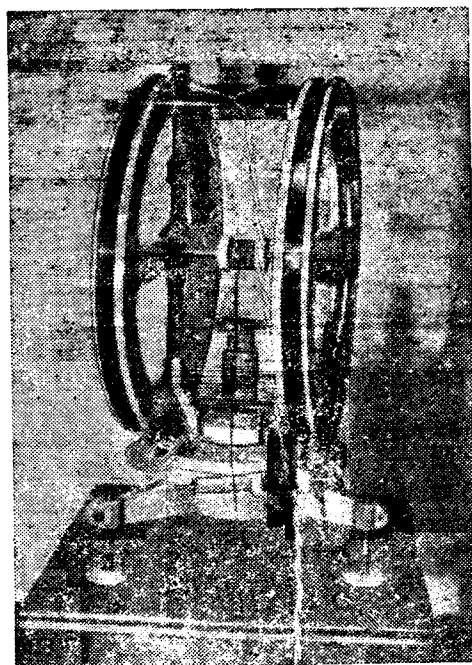


Рис. 2.

Наряду с установлением вышеуказанных эталонов, ВНИИМ за тот же период времени произвел работы по установлению эталона магнитного момента в абсолютной системе единиц CGS μ_0 . Первые опыты в этом направлении относятся к периоду 1930 — 1935 гг. Из кобальтовой стали были изготовлены четыре магнита в форме эллипсоидов вращения. После закалки магниты подвергались искусственной структурной стабилизации путем продолжительного нагревания при 100°C , затем намагничивались и магнитно стабилизовались переменным магнитным полем с убывающей до нуля напряженностью. Эта обработка магнитов имела целью обеспечить в возможно большей степени постоянство магнитного момента во времени и привести магниты в обратимое состояние по отношению к воздействиям внешних магнитных полей и изменений температуры. Для любого эталона, а в частности и для данного, вопрос о постоянстве во времени воспроизводимой им величины является, как известно, основным.

Магнитные моменты эллипсоидов измерялись абсолютным методом на магнитометре в первом ламоновом положении измеряемого магнита и подвешенного магнита магнитометра. Величина магнитного момента вычисляется по формуле:

$$M = \frac{HR^3 \sin \alpha}{2} \left[1 - \frac{p}{R^2} - \frac{q}{R^4} \right], \quad (2)$$

где H — горизонтальная составляющая земного магнитного поля; R — расстояние центра эллипсоида от центра магнита магнитометра при 20°C ; α — угол отклонения магнита магнитометра от магнитного меридиана, в который внесены поправки на вариации земного поля, на температуру (если она отличается от 20°C) и на ве-

центренность магнитов; p и q —коэффициенты, зависящие от размеров, формы и характера намагниченности магнитов, измеряемого и подвешенного.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в магнитной лаборатории ВНИИМ, коэффициенты p и q могут быть рассчитаны по геометрическим размерам магнитов, если только они оба имеют форму эллипсоидов вращения. До этого времени в практике подобного рода измерений указанные коэффициенты определялись экспериментально. Нужно отметить, что измерения эти не отличаются большой точностью и весьма кропотливы. Переход к определению коэффициентов p и q расчетным путем упростил измерения и исключил появление переменной погрешности.

Первоначальные опыты с четырьмя эллипсоидами дали вполне обнадеживающие результаты, главным образом, в отношении достижения достаточно удовлетворительной стабильности магнитов и, следовательно, постоянства их магнитных моментов во времени. В первые 2—3 года после изготовления наблюдается довольно заметное изменение магнитного момента (порядка 1—2% в течение года), в дальнейшем же эти изменения уменьшаются и можно было ожидать, что спустя 4—5 лет ежегодные изменения магнитного момента не будут превышать 0,1—0,2%.

Проведенные эксперименты позволили приступить уже к созданию эталона магнитного момента. В 1935 г. дополнительно было изготовлено 8 эллипсоидов вращения одинаковых размеров из кобальтовой стали. Эллипсоиды были подвергнуты такой же обработке, как и первые 4 эллипсоида из первой партии, и таким образом была образована группа из 10 эллипсоидов.

Систематические исследования этой группы показали, что уже к 1938 г. эллипсоиды пришли в магнитном отношении к практически достаточно устойчивому состоянию. Измерения магнитных моментов эллипсоидов производились, как правило, один раз в год, а в отдельные периоды и два раза в год. Эллипсоиды хранились в специальном деревянном ящике параллельно друг другу на расстоянии 20 см. Ящик хранился в помещении, удаленном от заметного действия внешних магнитных полей. Измерения показали, что в периоды времени 1938—1939 гг., 1939—1940 гг., 1940—1941 гг. ежегодные изменения магнитных моментов для большинства эллипсоидов составляли 0,02—0,04% и лишь для двух эллипсоидов эти изменения достигали 0,2%. Анализ результатов измерений магнитных моментов показывает, что средняя квадратичная погрешность составляет 0,02—0,03% (для магнитного момента порядка 1000—1500 CGS μ_0).

Полученные результаты можно было признать удовлетворительными, и это позволило уже в 1939 г. считать установленным *основной*

групповой эталон магнитного момента СССР в абсолютных единицах CGS μ_0 . При сравнении образцовых магнитов (магнитов в форме цилиндра или эллипсоида) с основным эталоном значение магнитного момента образцового магнита выводится как среднее из величин, полученных при сравнении с каждым из эллипсоидов, входящих в группу основного эталона.

Таким образом, к 1939 г. ВНИИМ располагал основными эталонами единиц напряженности магнитного поля, магнитного потока и магнитного момента в абсолютной системе CGS μ_0 . Точность воспроизведения соответствующих единиц, хотя и удовлетворяла в громадном большинстве случаев требованиям практики, однако с общеметрологической точки зрения была еще недостаточной.

На следующем этапе эталонных работ ВНИИМ в этой области стояли задачи: а) повышения точности воспроизведения магнитных единиц; б) создания своей собственной аппаратуры, которая позволяла бы производить измерения горизонтальной составляющей земного магнитного поля, необходимые при воспроизведении магнитных единиц принятым методом независимо от Павловской магнитной обсерватории (решение этой задачи должно было одновременно привести к решению также второй задачи — включения в орбиту метрологического обслуживания учреждений, занимающихся измерениями элементов земного магнитного поля); в) воспроизведения в абсолютной системе единицы силы тока через напряженность магнитного поля.

Вопрос о воспроизведении единицы силы тока путем сравнения напряженности поля, создаваемого электрическим током, с напряженностью горизонтальной составляющей земного магнитного поля не является новым. Еще в 40-х годах 19 столетия производились такого рода работы с тангенсгальванометром Вебером (Weber, 1840 г.), Бунзеном (Bunsen, 1843 г.), а впоследствии Джоулем (Joule, 1851 г.), Ф. Кольраушем (F. Kohlraush, 1873 г.), Дайком и Кунстом (Dijk и Kunst, 1904 г.), Хага и Боерема (Haga и Boerema, 1910 г.). Наряду с тангенсгальванометром применялся и синусгальванометр. Так, в 1872 г. Кларк (L. Clark) измерял э. д. с. элемента Кларка, в 1886 г. Грей (T. Gray) определял электрохимический эквивалент серебра при помощи синусгальванометра с обычной цилиндрической катушкой. Дальнейшим усовершенствованием синусгальванометра явилось применение катушки Гельмгольца. С таким прибором Герке и Воган (Gehrke и Wogan) в 1911 г. провели работу по определению соотношения между международным ампером и единицей CGS μ_0 силы тока. В более позднее время синусгальванометр с катушкой Гельмгольца был построен в Национальной физической лаборатории (Лондон) в 1914 г. Смитом (Smith) по предложению Шустера (Schuster). Однако, этот прибор был применен не для измерения силы тока в абсолютных единицах, а для абсолютного измерения горизонтальной составляющей земного

магнитного поля. Как указывает автор этой работы, погрешность определения напряженности поля катушки Гельмгольца путем расчета по ее геометрическим размерам составляет порядка $1 \cdot 10^{-5}$, погрешность измерения силы тока в абсолютных единицах — порядка $3 \cdot 10^{-5}$ и, следовательно, погрешность определения горизонтальной составляющей земного поля оценивается величиной $4 \cdot 10^{-5}$, т. е. величиной того же порядка, что и при измерении методом Гаусса—Ламона, применяемым в магнитных обсерваториях.

В современных работах по воспроизведению единицы силы тока в абсолютной системе используется другой метод, а именно — электродинамического действия электрического тока, получивший осуществление в ампервесах; метод же определения силы тока через напряженность магнитного поля оказался забытым и, по нашему мнению, достаточно убедительных мотивов к этому нет. Действительно, достигнутая в настоящее время точность воспроизведения единицы силы тока при помощи ампервесов, как об этом можно судить по данным измерения в метрологических институтах разных стран, не превышает $0,01$ — $0,02\%$. Можно ожидать, что и через напряженность магнитного поля воспроизведение единицы силы тока может быть осуществлено с не меньшей точностью.

Вышеизложенные соображения послужили основанием для разработки во ВНИИМ нового эталонного прибора, отвечающего поставленным задачам. Схематическое устройство этого прибора показано на рис. 3. Прибор представляет сочетание двух катушек Гельмгольца и устройства, позволяющего измерять горизонтальную составляющую земного магнитного поля абсолютным методом Гаусса—Ламона. На этом же приборе могут измеряться магнитные моменты эллипсоидов основного группового эталона магнитного момента. Одна из катушек Гельмгольца (K_2 на рис. 3)—однослойная из голой проволоки, намотанной на пирексовом цилиндре. Вторая катушка Гельмгольца — многослойная; она наматывается из изолированной проволоки на пирексовых фланцах K_1 , скрепленных с пирексовым цилиндром. В центральной части катушек помещается домик B , в котором на нити подвешивается магнит N . Прибор снабжен шинами P и Q , жестко связанными с катушками Гельмгольца. Шины вместе с катушками могут вращаться вокруг вертикальной оси. Для отсчета углов поворота катушек служит горизонтальный круг с делениями L .

При проектировании этого прибора стремились устранить недостатки, имеющиеся в приборах, применяемых в настоящее время для измерений горизонтальной составляющей земного магнитного поля, а также внести усовершенствования в катушки Гельмгольца на основе опыта лаборатории, накопленного в предыдущих работах.

Метод воспроизведения единицы напряженности магнитного поля предполагается при-

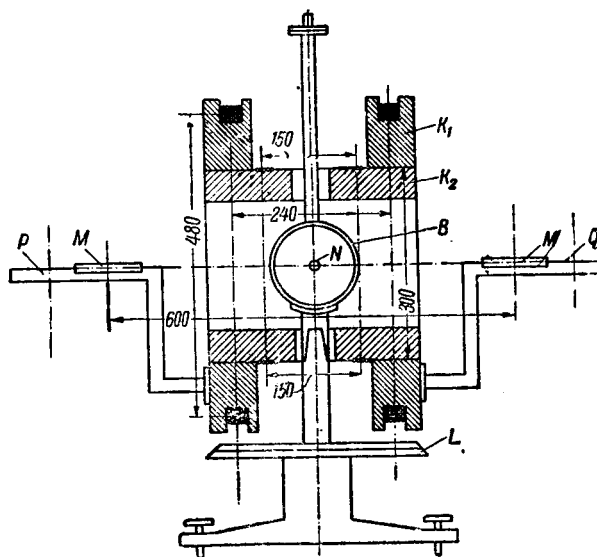


Рис. 3.

менить тот же, что и в работах, проводившихся магнитной лабораторией ВНИИМ раньше с катушкой Гельмгольца, т. е. метод сравнения напряженности магнитного поля катушки Гельмгольца и напряженности горизонтальной составляющей земного магнитного поля путем измерения периодов колебания магнита в этих полях.

Наряду с этим, напряженность магнитного поля катушки Гельмгольца на пирексовом цилиндре может быть с достаточной точностью рассчитана по геометрическим размерам катушки. Как следует из уравнения (1), для измерения напряженности магнитного поля катушки Гельмгольца необходимо знать (в моменты измерения периодов колебания магнита) величину горизонтальной составляющей земного магнитного поля. Измерение этой величины предполагается производить с помощью описанного прибора методом Гаусса—Ламона, сущность которого заключается в следующем. На нити в домике подвешивается магнит так, чтобы ось его совпадала с горизонтальной плоскостью. В земном магнитном поле заставляют магнит совершать колебания вокруг вертикальной оси и измеряют полупериод колебания T .

Из уравнения движения магнита в однородном поле земли получается нижеследующее уравнение:

$$MH = \frac{\pi^2 J}{T^2} \left(1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right) (1 + a\Delta)^{-1}, \quad (3)$$

где M — магнитный момент магнита; H — горизонтальная составляющая земного магнитного поля; J — момент инерции магнита; α — амплитуда колебания; a — постоянная величина; Δ — функция от удельного момента кручения нити подвеса.

Для исключения влияния момента от воздушного успокоения, колебания магнита будут

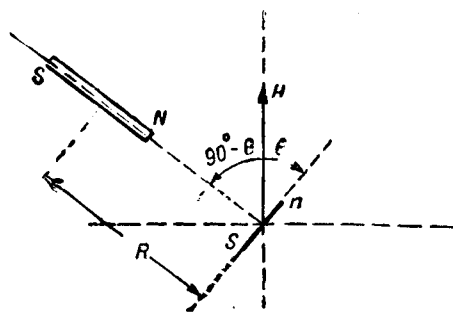


Рис. 4.

производиться в стеклянном эвакуированном домике, который устанавливается в центральной части прибора.

Затем магнит помещается на одной из шин прибора, северным концом к востоку или западу, а в домике на нити подвешивается какой-либо другой магнит меньших размеров, чем первый. По соображениям, изложенным выше, оба магнита берут в форме эллипсоидов вращения. Шины с магнитом поворачивают вокруг вертикальной оси так, чтобы ось отклоняющего магнита была перпендикулярна оси отклоняемого магнита (первое ламоново положение), и производят отсчет по горизонтальному кругу. На рис. 4 изображено взаимное расположение отклоняющего магнита NS и отклоняемого ns в первом ламоновом положении при равновесии. Далее отклоняющий магнит поворачивают северным концом к западу (или востоку), снова устанавливают прибор и берут отсчет по кругу. Аналогично производят еще два отсчета по кругу, помещая отклоняющий магнит на вторую шину. Из полученных четырех отсчетов находят угол отклонения θ подвешенного магнита от магнитного меридиана; при этом исключаются погрешности от несовпадения центра отклоняющего магнита с его геометрическим центром и с осью вращения прибора. В величину θ вводится поправка на склонение. Из условия равновесия магнита ns в первом ламоновом положении имеем соотношение:

$$\frac{H}{M} = \frac{2}{R^2 \sin \theta} \left(1 + \frac{p}{R^2} \right), \quad (4)$$

где H и M имеют те же значения, что и в формуле (3); R — расстояние центра отклоняемого магнита от центра отклоняющего магнита; p — коэффициент [см. формулу (2)].

Совместное решение уравнений (3) и (4) дает возможность выразить H в функции величин, которые могут быть непосредственно измерены в абсолютных единицах длины, массы и времени, т. е. тем самым H определяется в абсолютных единицах.

В формулах (3) и (4) предполагается, что H и M имеют одни и те же значения как при наблюдении колебаний магнита, так и при отклонении. В действительности H и M в общем случае могут быть разными. H изменяется вследствие вариаций, M — вследствие того, что магнит имеет различную ориентировку относительно поля H и может иметь разную темпе-

ратуру при колебаниях и при отклонении. Величины R и J зависят от температуры. В уравнении (3) полупериод выражается в секундах среднего солнечного времени, измерения же производятся по хронометру, величина секунды которого вследствие суточного хода не совпадает с секундой среднего солнечного времени. Все вышеуказанные факторы должны быть учтены и в формулы (3) и (4) необходимо ввести соответствующие поправки. С учетом этих поправок выражение для горизонтальной составляющей земного магнитного поля принимает следующий вид:

$$H = \sqrt{\frac{2 J_{20} \left(1 + \frac{p}{R^2} \right)}{R_{20}^3 T_{xp}^2 \sin \theta}} \left[1 + \frac{\mu}{2} (t - \tau) + \right. \\ \left. + \sigma (t - 20) - \frac{3}{2} \beta (\tau - 20) - \frac{\nu H}{2} (1 + \sin \theta) - \right. \\ \left. - \frac{a \Delta}{2} - b s + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{a}{2} - \frac{1}{2} \frac{\Delta H}{H} \right], \quad (5)$$

где μ — температурный коэффициент магнитного момента магнита; ν — индукционный коэффициент магнита; β — линейный коэффициент расширения шины; σ — линейный коэффициент расширения магнита; t — температура при колебаниях магнита; τ — температура при наблюдении отклонения; ΔH — разность в значениях H при колебаниях и при отклонении; T_{xp} — полупериод, определенный по хронометру; s — суточный ход хронометра; $b = 1:24.60.60$; J_{20} и R_{20} — момент инерции и расстояние при 20°C .

Как следует из формулы (1), точность воспроизведения единицы напряженности поля зависит от точности измерения H и периодов колебания магнита в земном поле и в поле катушки Гельмгольца. Для вычисления погрешности определения напряженности поля катушки Гельмгольца H_g можно воспользоваться приближенной формулой, пренебрегая изменением магнитного момента, т. е. без учета индукционного действия поля [см. формулу (1)]. Принимая погрешность единичного определения H_g равной $1 \cdot 10^{-4}$ (0,01%) и полагая погрешности всех величин, определяющих H_g , равнозначными, найдем, что периоды должны измеряться с погрешностью не выше $6 \cdot 10^{-5}$, а горизонтальная составляющая земного магнитного поля — не выше $3 \cdot 10^{-5}$ ее величины.

Из формулы (5) получается следующее выражение для погрешности H :

$$\left(\frac{\delta H}{H} \right)^2 = \frac{1}{4} \left(\frac{\delta J_{20}}{J_{20}} \right)^2 + \frac{9}{4} \left(\frac{\delta R_{20}}{R_{20}} \right)^2 + \left(\frac{\delta T_{xp}}{T_{xp}} \right)^2 + \\ + \frac{1}{4} \text{ctg}^2 \theta \delta \theta^2 + \left(\frac{\delta p}{R^2} \right)^2 + \frac{(\mu + 2\sigma)^2 \delta t^2}{4} + \\ + \frac{(\mu + 3\beta)^2 \delta \tau^2}{4} + \frac{(t - \tau)^2 \delta \mu^2}{4} + \frac{H^2}{4} (1 + \sin \theta)^2 \delta \nu^2 + \\ + \frac{\nu^2}{4} (1 + \sin \theta)^2 \delta H^2 + \frac{a^2}{4} \delta \Delta^2 + b^2 \delta s^2 + \\ + \frac{1}{16} \sin^2 \frac{a}{2} \delta \alpha^2 + \frac{1}{4} \frac{\delta (\Delta H)^2}{H^2}. \quad (6)$$

Применительно к изготавливаемому прибору и намечаемым условиям эксперимента отдельные величины, входящие в формулу (6), имеют следующие значения: $R_{20} = 30$ с.п.; $J_{20} = 150$ г/см²; $T_{xp} = 4$ сек.; $\theta = 45^\circ$; $\mu = 0,0002$; $\nu = 0,002$; $H = 0,153$ Ое.

Для того, чтобы погрешность единичного измерения не превышала $3 \cdot 10^{-5}$ измеряемой величины (0,003%), при условии, что погрешности всех аргументов, входящих в формулу (6), равновозможны, погрешности при определении отдельных величин не должны превосходить следующих значений:

$$\delta R_{20} = \pm 2 \mu; \delta J_{20} = \pm 0,0024 \text{ г/см}^2; \delta T_{xp} = \pm 3 \cdot 10^{-5} \text{ сек}; \delta \theta = \pm 3''; \delta l \text{ и } \delta \tau = \pm 0,05^\circ; \delta H = \pm 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ Ое.}$$

Приведенные цифры показывают всю серьезность данной метрологической задачи, однако на основании имеющихся опытных данных измерения H в магнитных обсерваториях и магнитной лаборатории ВНИИМ достижение указанной точности представляется возможным.

Напряженность поля катушки Гельмгольца измеряется при некоторой силе тока в ее обмотке. При этом безразлично, в каких единицах измеряется эта сила тока. Существенно только, чтобы в процессе измерения периода колебания магнита сила тока оставалась неизменной. Допустимые колебания силы тока во всяком случае не должны превышать той величины погрешности, с которой желательно измерять напряженность поля катушки Гельмгольца (в нашем случае порядка $1 \cdot 10^{-5}$). Это обстоятельство требует особого внимания к электрической схеме и, в частности, к устройству, служащему для регулирования силы тока, и представляет также весьма не простую метрологическую задачу.

Описанный эталонный прибор предполагается применить также и в качестве *эталона магнитного потока*. Решение этой задачи мыслится тремя параллельными путями. Наличие двух катушек Гельмгольца, расположенных коаксиально, позволяет рассчитать их взаимную индуктивность, а следовательно, и величину магнитного потока на единицу силы тока в одной из катушек, исходя из геометрических размеров этого устройства. Параллельно с расчетом намечается измерение взаимной индуктивности указанных катушек путем сличения с эталоном индуктивности. Третий путь заключается в том, что в центральной части катушки Гельмгольца на пирексовом цилиндре вместо магнитного домика устанавливается коаксиально с катушкой Гельмгольца вторая цилиндрическая катушка с однослойной обмоткой. Размеры второй катушки выбраны с таким расчетом, чтобы в объеме, ею занимаемом, неоднородность поля, создаваемого катушкой Гельмгольца, не вызывала погрешностей, превышающих допустимые величины. Значение магнитного потока, сцепляющегося со второй катушкой, рассчитывается, исходя из величины напряженности поля

катушки Гельмгольца и геометрических размеров второй катушки. На этом же приборе будут производиться и измерения магнитных моментов эталонной группы эллипсоидов вращения описанным выше методом. Для этой цели используются шины прибора, на которых помещаются измеряемые эллипсоиды, и подвесной магнит в домике. Описанный прибор предназначен также для работы по воспроизведению единицы силы тока через напряженность магнитного поля. Для осуществления этой задачи используется катушка Гельмгольца на пирексовом цилиндре.

Напряженность поля катушки Гельмгольца H_g при силе тока I в ее обмотке может быть рассчитана по нижеследующей формуле:

$$H_g = \frac{4 \pi r^2 \omega}{(r^2 + l^2)^{3/2}} I = \frac{32 \pi \omega}{5 \sqrt{5} r} I, \quad (7)$$

где ω — число витков на каждом кольце катушки; r — средний радиус обмотки; $2l$ — расстояние между средними плоскостями обмоток, равное r .

При оценке погрешности определения H_g по формуле (7) необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Для определения среднего радиуса обмотки r требуется измерение диаметра каркаса и диаметра проволоки и погрешности в этих измерениях войдут в погрешность определения r . Для катушки Гельмгольца необходимо, чтобы расстояние между центральными плоскостями обмоток колец $2l$ было равно среднему радиусу обмотки. Измерение этого расстояния также вносит погрешность в определение H_g . Наконец, неравномерность обмотки и отступление от целого числа витков должны быть учтены при оценке общей погрешности.

Принимая во внимание все вышеуказанное, формулу для погрешности определения H_g можно представить в следующем виде:

$$\left(\frac{\delta H_g}{H_g} \right)^2 = \frac{4}{25} \left(\frac{\delta R}{R} \right)^2 + \frac{4}{25} \left(\frac{\delta d}{d} \right)^2 + \frac{9}{25} \left(\frac{\delta L}{L} \right)^2 + \frac{9}{25 \omega^2} \left(\frac{\delta \lambda}{\lambda} \right)^2 + \left(\frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left(\frac{\delta \omega}{\omega} \right)^2, \quad (8)$$

где R — радиус каркаса катушки; d — диаметр проволоки; $L = 2l$ — расстояние между центральными плоскостями обмоток катушки; λ — шаг намотки.

Чтобы иметь возможность воспроизвести единицу силы тока в абсолютной мере, необходимо помимо вычисления величины

$$\frac{32 \pi \omega}{5 \sqrt{5} r} = K,$$

которую назовем коэффициентом катушки Гельмгольца, измерить напряженность поля H_g при некоторой постоянной силе тока I в обмотке катушки. Измерение H_g предусматривается методом наблюдения угла α отклонения от магнитного меридиана магнита, свободно подвешенного в центре катушки, в первом ламоновом положении. Для этого необходимо, поворачивая катуш-

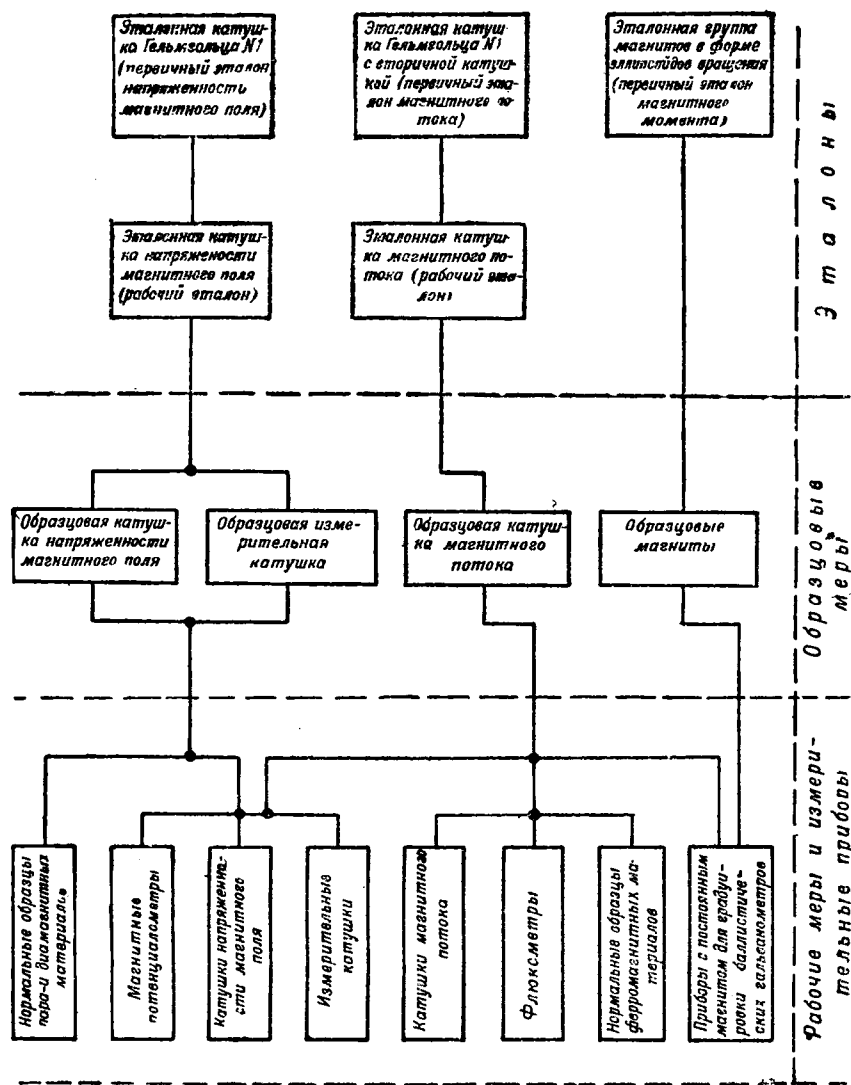


Рис. 5.

ку вокруг вертикальной оси, добиться такого ее положения, при котором вектор напряженности поля H_g был бы перпендикулярен оси подвешенного магнита. Тогда между горизонтальной составляющей земного поля H и H_g существует равенство

$$H_g = H \sin \alpha. \quad (9)$$

Из формул (7) и (9) определяется сила тока I в абсолютных единицах.

Если задаться допустимой погрешностью определения коэффициента K катушки Гельмгольца в $1 \cdot 10^{-5}$, то из формулы (8), полагая погрешности всех величин равновозможными, следует, что измерения геометрических размеров катушки должны быть произведены с достаточно высокой точностью. Так, например, диаметр каркаса катушки, диаметр проволоки, шаг нарезки и расстояние между центральными плоскостями обмоток катушки должны быть измерены с погрешностью, не превышающей $\pm 2 \mu$. Соответ-

ственные требования предъявляются и к изготовлению катушки в отношении соблюдения расчетных размеров. Опыт показывает, что достижение таких точностей реально осуществимо. В этом отношении можно сослаться на данные Национальной физической лаборатории в Лондоне, которая изготовила в 1914 г. катушку Гельмгольца на мраморном каркасе для электрического метода измерения горизонтальной составляющей земного поля. Погрешность определения постоянной катушки K по расчету оценивается там в $1 \cdot 10^{-5}$. Опыт ВНИИМ по изготовлению каркаса для катушек индуктивности также дает основание надеяться на положительное разрешение поставленной задачи.

Основываясь на ранее принятой нами погрешности единичного измерения горизонтальной составляющей земного поля в $3 \cdot 10^{-5}$ и погрешности измерения угла отклонения (см. формулу (9)) в $2 \cdot 10^{-5}$, погрешность единичного измерения силы тока определяется величиной порядка $4 \cdot 10^{-5}$.

Таким образом, описанный прибор предназначается для воспроизведения как магнитных единиц, так и электрической единицы (силы тока) и это дает основание присвоить ему наименование электромагнитного эталонного прибора. В настоящее время изготовление этого прибора заканчивается.

Установление эталонов еще не решает полностью задачи обеспечения единства и верности измерений в рассматриваемой области. Необходи-

ма передача значений магнитных единиц с требуемой практикой точностью рабочим мерам и измерительным приборам через образцовые меры и приборы. На рис. 5 изображена поверочная схема, разработанная магнитной лабораторией ВНИИМ, которая показывает, каким путем осуществляется передача значений магнитных единиц от эталонов рабочим мерам и приборам. Схема эта составлена применительно к эталонам, которыми располагает ВНИИМ в настоящее время, однако она не потеряет своего принципиального и практического значения и при установлении новых эталонов, когда будут завершены работы с электромагнитным эталоном. Необходимо отметить, что все эталоны как первичные, так и рабочие, а также образцовые меры, составляющие метрологическую основу магнитных измерений во ВНИИМ, разработаны магнитной лабораторией ВНИИМ и изготовлены в нашем Союзе.

В качестве рабочих мер и приборов, помимо общепринятых магнитной лабораторией ВНИИМ, внедряются в практику магнитных измерений

так называемые нормальные образцы различных материалов как ферромагнитных, так и пара- и диамагнитных. Такие образцы, удовлетворяющие определенным требованиям, фиксированным в соответствующих нормативных документах, разработанных ВНИИМ, детально исследуются в отношении их наиболее важных для практики характеристик. Назначение этих образцов — контроль приборов и установок, применяемых для измерений магнитных характеристик материалов. Наряду с этим в ряде случаев нормальный образец является мерой, с которой сравниваются образцы испытуемого материала. Представленная поверочная схема не является лишь документом на бумаге; она получила практическое приложение, но пока еще в ограниченном масштабе. Полностью она реализуется лишь во ВНИИМ, но недалеко то время, когда сеть поверочных учреждений также получит эту возможность в той части, которая соответствует компетенции этих учреждений.

Прошло 25 лет с момента, когда магнитная лаборатория ВНИИМ (тогда еще Главной палаты мер и весов) возникла как отдельная организованная ячейка института. За этот период был

создан капитальный метрологический фундамент в области магнитных измерений в нашем Союзе. ВНИИМ в настоящее время располагает первичными и рабочими эталонами основных магнитных единиц, обеспечивающими передачу верных значений единиц рабочим мерам и приборам с точностью, удовлетворяющей требованиям практики.

В международной метрологической работе в области магнитных эталонов ВНИИМ явился не только пионером, но и единственным национальным метрологическим учреждением, не без успеха осуществившим воспроизведение магнитных единиц в виде эталонов в абсолютной мере.

Намеченные пути дальнейших эталонных работ и частичная их реализация уже в настоящее время дают основание считать, что стоящие перед ВНИИМ задачи по созданию эталонов, воспроизводящих магнитные единицы с более высокой точностью, чем это имеет место в настоящее время, а также единицу силы тока в абсолютной мере, будут успешно разрешены, и СССР обогатится новыми первоклассными эталонами электрических и магнитных единиц в абсолютной системе CGS₁₀.



Общие основания расчета коэффициентов самоиндукции криволинейных проводов

Инж. Л. А. ЦЕЙТЛИН

Военная электротехническая краснознаменная Академия связи им. Будзного

Вычисление коэффициентов электромагнитной индукции сложных контуров формально может быть сведено к определению коэффициентов самоиндукции и взаимной индукции отдельных их участков. Общее решение рассматриваемой задачи известно для контуров, состоящих только из прямолинейных участков [Л. 1]. Из работ, относящихся к криволинейным контурам, можно указать лишь на ряд исследований, в результате которых были получены формулы, дающие с различной степенью точности выражения для коэффициентов самоиндукции и взаимной индукции контуров, имеющих форму круглых колец [Л. 2]. Кроме того, автору этих строк удалось получить выражение для коэффициента самоиндукции провода, изогнутого по дуге окружности, и ряд выражений для коэффициентов взаимной индукции проводов такого рода и прямолинейных проводов в некоторых специальных случаях их взаимного расположения [Л. 3].

В настоящей работе сделана попытка дать общий метод расчета коэффициентов самоиндукции криволинейных проводов. В основу этого метода положена устанавливаемая ниже возможность представить коэффициент самоиндукции криволинейного провода с сечением произвольной формы в виде определенной комбинации величин, часть которых зависит только от формы и размеров оси провода, а остальные — только от формы и размеров поперечного сечения и от характера распределения тока по сечению. Тем самым задача определения коэффициента самоиндукции сведена к двум самостоятельным задачам, одна из которых требует интегрирования лишь вдоль оси провода, а другая — интегрирования по площади поперечного сечения. Решение первой из этих задач является общим для проводов любого сечения, изогнутых по дуге одной и той же кривой. Решение второй задачи одинаково для всех проводов с одинаковой формой сечения и не зависит от формы оси провода.

В полученной нами общей формуле коэффициент самоиндукции еще не выражен явно через

Дан общий метод расчета коэффициентов самоиндукции криволинейных проводов. Показано, что коэффициент самоиндукции криволинейного провода с сечением произвольной формы может быть представлен в виде определенной комбинации величин, часть которых зависит только от формы и размеров оси провода, а остальные только от формы и размеров поперечного сечения и от характера распределения тока по сечению.

геометрические размеры провода, что было бы и невозможно, поскольку речь идет о соотношениях, применимых к проводам любой формы, и поэтому предлагаемую формулу следует рас-

считывать лишь как основание общего метода расчета.

Исходные соотношения. Принятые допущения. Коэффициент самоиндукции контура, состоящего из нескольких участков, можно представить в виде:

$$L_0 = \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n M_{ik} \quad (i \neq k),$$

где L_i — коэффициент самоиндукции i -го участка; M_{ik} — коэффициент взаимной индукции i -го и k -го участков.

Таким образом, определение коэффициента самоиндукции контура сводится к определению коэффициентов L_i и M_{ik} отдельных его участков. Предметом нашего рассмотрения будут величины L_i . Относительно коэффициентов M_{ik} мы заметим лишь, что при определении этих величин всегда можно заменить каждый криволинейный участок контура совокупностью нескольких прямолинейных, образующих ломаную линию, достаточно близко совпадающую с рассматриваемой кривой. Тем самым задача сведется к случаю двух прямолинейных проводов, для которого общее решение известно [Л. 1].

Переходя к интересующей нас задаче определения коэффициента самоиндукции криволинейного провода, примем, что: 1) провод однороден и имеет постоянное по всей длине поперечное сечение; 2) нити тока суть эквидистантные кривые; 3) ось провода, т. е. нить тока, проходящая через центр инерции его поперечного сечения, изогнута по дуге гладкой кривой, уравнение которой задано; 4) длина провода, радиусы кривизны кривой, по которой изогнута его ось, и все хорды этой кривой, за исключением соответствующих малым углам смежности, значительно больше линейных размеров сечения провода.

Опустив для простоты записи индекс i у всех величин, относящихся к i -му участку контура, для коэффициента самоиндукции этого участка можем написать:

$$L = \frac{1}{i^2} \int_s \int_s M j' j'' ds' ds'', \quad (1)$$

где

$$M = \mu \int_{l'} \int_{l''} \frac{dl' dl''}{D_{12}}. \quad (2)$$

M — коэффициент взаимной индукции двух каких-нибудь нитей тока (l' и l''); dl' , dl'' — элементы длины этих нитей; ds' , ds'' — элементы площади поперечного сечения провода; j' , j'' — соответствующие плотности тока; D_{12} — расстояние между dl' и dl'' ; μ — магнитная проницаемость, предполагаемая одинаковой для провода и окружающей его среды.

Выражение (1) показывает, что для определения L необходимо предварительно найти общее выражение для M .

В дальнейшем для наглядности и простоты рассуждений будем рассматривать случай, когда ось провода изогнута по *плоской* кривой; проследив за ходом этих рассуждений, можно убедиться, что окончательный результат обобщается и на случай неплоской кривой.

Коэффициент взаимной индукции двух нитей. Пусть ось провода лежит в плоскости XOY и задана уравнением $f(x, y) = 0$. Уравнения других нитей тока во всех случаях, кроме окружности, будут иметь значительно более сложный вид. Но даже в случае двух кривых второго порядка $f'(x, y) = 0$ и $f''(x, y) = 0$ для величины

$$D_{12} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2},$$

после подстановки вместо y_1 и y_2 их выражений через x_1 и x_2 будем иметь под корнем многочлен четвертой степени. Следовательно, даже в этом простейшем случае уже первое интегрирование приведет к интегралам, вообще говоря, не выражающимся в конечном виде через элементарные функции. Не останавливаясь на изложении других трудностей, связанных с подобным решением, отметим лишь, что задача в таком виде не допускает общего решения.

Мы будем искать приближенное решение задачи, исходя из принятого условия малости размеров поперечного сечения провода.

Пусть l' , l'' , λ и l — криволинейные координаты, отсчитываемые от одного из концов провода вдоль двух рассматриваемых нитей, вдоль третьей нити, равноудаленной от первых двух, и вдоль оси провода (рис. 1); R' , R'' , ρ и R — радиусы кривизны этих кривых; ϑ — угол между элементами длины dl' и dl'' ; ξ — расстояние между плоскостями нитей. Тогда кратчайшее расстояние между нитями l' и l'' равно $\gamma = \sqrt{4\xi^2 + \zeta^2}$, где $\xi = R'' - \rho = \rho - R'$. Пусть, далее, ρ_m — наименьший из радиусов кривизны кривой λ и $m = \gamma : (2\rho_m)$. Введем малый угол ϕ , удовлетворяющий двойному неравенству: $m \ll \phi \ll 1$ (для чего можно, например, положить $\phi^2 = m$). В соответствии с пере-

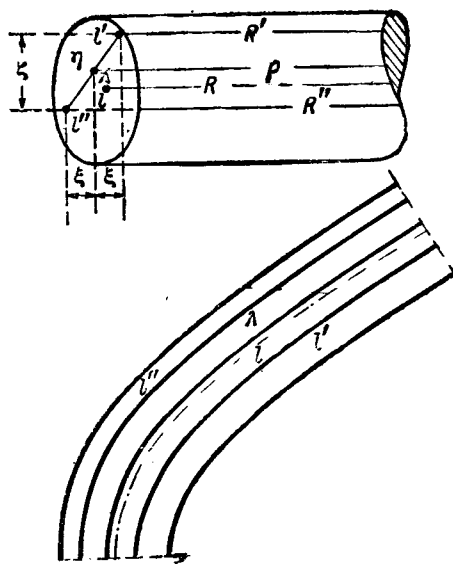


Рис. 1.

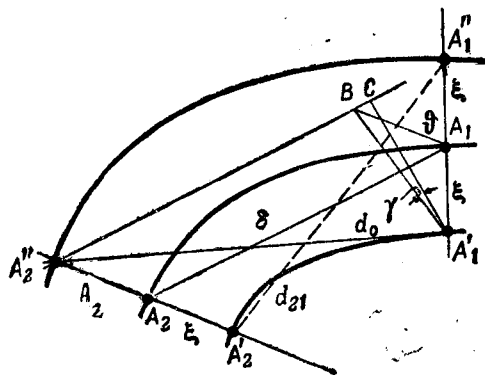


Рис. 2.

численными выше условиями примем, что длина любой из кривых λ не меньше $\phi \rho_m$ и что все хорды этих кривых не меньше величин порядка $2\rho_m \sin \frac{\vartheta}{2}$, а при $|\vartheta| > \phi$, кроме того, не меньше $\phi \rho_m$.

Наибольшее в пределах поперечного сечения значение m будем считать величиной первого порядка малости по сравнению с единицей. Тогда $\frac{\xi}{\rho}$, $\frac{\xi}{\rho}$, $\frac{\eta}{\rho}$, ϕ^2 и $\left(\frac{m}{\phi}\right)^2$ будут величинами не ниже первого порядка малости. В дальнейшем всюду будем сохранять величины первого и отбрасывать величины второго и высшего порядка малости.

Рассматривая проекции нитей l' и l'' на плоскость кривой λ (рис. 2), проведем нормали к ним $A_1'A_1''$ и $A_2'A_2''$ в точках A_1' и A_2'' , соответствующих положению элементов длины dl'_1 и dl''_2 (величины, соответствующие различным точкам кривой λ , отмечены здесь и в дальнейшем различными индексами — 1 и 2). Проведя еще $A_2'B \parallel A_2A_1$, $A_1B \parallel A_2A_2''$, $A_1C \perp A_2'B$, найдем:

$$D_{12}^2 = (\zeta^2 + \gamma^2) \left[1 - \frac{4\xi^2 \sin^2 \frac{\vartheta}{2}}{\zeta^2 + \gamma^2} + \frac{4\xi\delta \sin \gamma \cos \frac{\vartheta}{2}}{\zeta^2 + \gamma^2} \right].$$

Хорда δ по условию не меньше величин порядка $2\rho_m \sin \frac{\vartheta}{2}$ и $\sin \gamma$ меньше, чем $\sin \frac{\vartheta}{2}$, что видно из рисунка, поэтому второй член в квадратных скобках не ниже второго порядка малости, а третий — не ниже первого

порядка малости. Пренебрегая вторым членом, обозначив третий через ε и положив:

$$d\lambda'_1 = \left(1 - \frac{\xi}{\rho_1}\right) d\lambda_1 = (1 - \alpha_1) d\lambda_1,$$

$$d\lambda'' = \left(1 + \frac{\xi}{\rho_2}\right) d\lambda_2 = (1 + \alpha_2) d\lambda_2,$$

найдем:

$$\frac{d\bar{\lambda}' d\bar{\lambda}''}{D_{13}} = \frac{\cos \vartheta (1 - \alpha_1) (1 + \alpha_2)}{\sqrt{\delta^2 + \gamma_1^2} \sqrt{1 + \varepsilon}} d\lambda_1 d\lambda_2. \quad (3)$$

Каждой паре элементов длины $d\lambda'_1$ и $d\lambda''_2$ (точки A'_1 и A''_2) соответствует другая пара $d\lambda'_2$ и $d\lambda''_1$ (точки A'_2 и A''_1), для которой ρ_1 , ρ_2 , ϑ и δ имеют те же значения. Нетрудно видеть, что для второй пары $d\lambda'_2 d\lambda''_1 = (1 + \alpha_1)(1 - \alpha_2) d\lambda_1 d\lambda_2$, а расстояние D_{21} отличается от D_{12} только знаком перед членом с $\sin \gamma$. Поэтому

$$\frac{d\bar{\lambda}'_2 d\bar{\lambda}''_1}{D_{21}} = \frac{\cos \vartheta (1 + \alpha_1) (1 - \alpha_2)}{\sqrt{\delta^2 + \gamma_1^2} \sqrt{1 - \varepsilon}} d\lambda_1 d\lambda_2. \quad (4)$$

Разлагая $\sqrt{1 + \varepsilon}$ и $\sqrt{1 - \varepsilon}$ в ряды по степеням ε , для суммы (3) и (4) с точностью до величин второго порядка малости можно написать:

$$\frac{2 \cos \vartheta}{\sqrt{\gamma_1^2 + \delta^2}} d\lambda_1 d\lambda_2,$$

и, следовательно, с указанной степенью точности

$$M = \mu \int_{\lambda} d\lambda_1 \int_{\lambda} \frac{\cos \vartheta d\lambda_2}{\sqrt{\delta^2 + \gamma_1^2}}. \quad (5)$$

Ввиду симметрии этого выражения относительно λ_1 и λ_2 интегрирование по области $(0 \leq \lambda_1 \leq \lambda, 0 \leq \lambda_2 \leq \lambda)$ (рис. 3) можно заменить интегрированием по незаштрихованной области S ($0 \leq \lambda_1 \leq \lambda, 0 \leq \lambda_2 \leq \lambda_1$) с последующим удвоением результата. Область S разобьем на три области S_1 , S'_2 , S''_2 , причем примем: $\sigma = \psi_{fm}$.

В областях S_1 и S'_2 все хорды δ меньше σ , а величины ϑ и $\frac{\delta}{\rho_m}$ имеют порядок малости не ниже чем ψ . В области S''_2 отношение $\frac{\delta}{\rho_m}$ не меньше величин порядка ψ , а отношение $\gamma/\delta = 2m \frac{\rho_m}{\delta}$ имеет порядок малости не ниже чем ψ .

Интегрируем (5) сначала по λ_2 . В областях S_1 и S'_2 угол ϑ между хордой δ и касательной к кривой λ в фиксированной точке A_1 с координатой λ_1 будем рассматривать как функцию от $t = \frac{\delta}{2\rho_m}$.

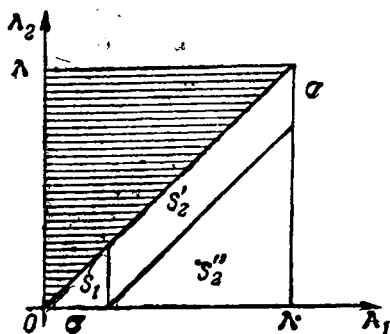


Рис. 3.

Предполагая, что функция $\varphi(t)$ непрерывна и имеет достаточное число непрерывных производных, разложим ее в ряд Маклорена:

$$\varphi = \varphi(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + \dots$$

Так как $\varphi=0$ при $t=0$, то $a_0=0$. Величины φ и t одного порядка малости с δ . Поэтому можно написать: $\cos \varphi = 1 - \frac{\varphi^2}{2}$. Так как, кроме того, $\cos \vartheta d\lambda_2 = -d(\delta \cos \varphi)$, то для областей S_1 и S'_2 выражение под знаком внутреннего интеграла в (5) можно представить в виде:

$$1 - \frac{3}{2} a_1 t^2 - 4 a_1 a_2 t^3 - \frac{a_2^2}{\sqrt{t^2 + m^2}} dt. \quad (6)$$

Интегралы J_1 и J'_2 от (6) в областях S_1 и S'_2 будут:

$$J_1 = \ln(t_1 + \sqrt{t_1^2 + m^2}) - a_1 \left(\frac{3}{4} + \frac{4}{3} a_2 t_1 \right) t_1 \sqrt{t_1^2 + m^2} - \ln m, \quad (7)$$

$$J'_2 = \ln(\tau_1 + \sqrt{\tau_1^2 + m^2}) - a_1 \left(\frac{3}{4} + \frac{4}{3} a_2 \tau_1 \right) \tau_1 \sqrt{\tau_1^2 + m^2} - \ln m, \quad (8)$$

где t_1 и τ_1 — значения t , отвечающие точкам с координатами λ_1 , 0 и λ_1 , $\lambda_1 - \sigma$. Разлагая $\sqrt{\tau_1^2 + m^2}$ и $\ln(\tau_1 + \sqrt{\tau_1^2 + m^2})$ в ряды по степеням $\frac{m}{\tau_1}$, можно еще написать:

$$J'_2 = \ln 2 \delta_1 - a_1 \left(\frac{3}{4} + \frac{2}{3} a_2 \frac{\delta}{\rho_m} \right) \frac{\delta_1^2}{4 \rho_m^2} - \ln \eta + \frac{1}{4} \frac{\gamma_1^2}{\delta_1^2}, \quad (9)$$

где δ_1 — хорда, соединяющая точки с координатами λ_1 и $\lambda_1 - \sigma$.

В области S''_2 подинтегральная функция путем разложения $(\delta^2 + \gamma_1^2)^{-1/2}$ в ряд может быть представлена в виде:

$$\frac{\cos \vartheta}{\sqrt{\delta^2 + \gamma_1^2}} = \frac{\cos \vartheta}{\delta} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\gamma_1^2}{\delta^2} \right).$$

Второй член в скобках, имеющий при больших значениях δ порядок m^2 , необходимо сохранить лишь при малых δ , когда он принимает значения порядка $\frac{m^2}{\delta^3}$. Поэтому в соответствующей части подинтегрального выражения можно положить $\cos \vartheta = 1$ и $d\lambda_1 = -d\lambda_2 = d\delta$, и, следовательно,

$$J''_2 = \int_0^{\lambda_1 - \sigma} \frac{1}{\delta} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\gamma_1^2}{\delta^2} \right) \cos \vartheta d\lambda_2 = V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma) - V(\lambda_1, 0) - \frac{\gamma_1^2}{4} \left(\frac{1}{\delta_1^2} - \frac{1}{\delta_{10}^2} \right), \quad (10)$$

где $V(\lambda_1, \lambda_2)$ — функция, первообразная по отношению к $\frac{\cos \vartheta}{\delta}$ при переменной λ_2 , а δ_{10} — хорда, соединяющая точки с координатами λ_1 и 0.

Интеграл по λ_2 в области S_2 равен:

$$J_2 = J'_2 + J''_2 = V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma) - V(\lambda_1, 0) + \ln(2 \delta_1) - \left(\frac{3}{4} + \frac{2}{3} a_2 \frac{\delta_1}{\rho_m} \right) a_1 \frac{\delta_1^2}{4 \rho_m^2} - \ln \eta + \frac{1}{4} \frac{\gamma_1^2}{\delta_{10}^2}. \quad (11)$$

Так как результат интегрирования по λ_2 не может зависеть от значения величины δ_1 , определяемой выбором величины $\sigma = \phi_{\rho_m}$, то можно написать:

$$V(\lambda_1, \gamma_1 - \sigma) = W(\lambda_1) - \ln(2\delta_1) + a_1 \left(\frac{3}{4} + \frac{2}{3} a_2 \frac{\delta_1}{\rho_m} \right) \frac{\delta_1^2}{4\rho_m^2}, \quad (12)$$

$$J_2 = W(\lambda_1) - V(\lambda_1, 0) - \ln \gamma_1 + \frac{\gamma_1^2}{4\delta_0^2}, \quad (13)$$

где $W(\lambda_1)$ не зависит от δ_1 (от σ), в справедливости чего можно убедиться и путем непосредственного вычисления, как это показано в приложении 1.

При определении $W(\lambda_1)$ из (12) практически удобнее всего выделить из $V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma)$ член $-\ln(2\delta_1)$, произвести сокращение и, не отыскивая коэффициентов a_1 и a_2 , положить $\sigma=0$, т. е. $\delta_1=0$, после чего (12) сразу дает $W(\lambda_1)$. Таким образом,

$$W(\lambda_1) = \lim_{\sigma \rightarrow 0} [V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma) + \ln(2\delta_1)]. \quad (14)$$

При интегрировании по λ_1 для интеграла J_0 по всей области S можем написать:

$$\begin{aligned} J_0 = & \int_0^\sigma J_1 d\lambda_1 + \int_\sigma^\lambda J_2 d\lambda_1 = \int_0^\sigma [J_1 - W(\lambda_1) + V(\lambda_1, 0) + \\ & + \ln \gamma_1] d\lambda_1 + \int_0^\lambda [W(\lambda_1) - V(\lambda_1, 0) - \ln \gamma_1] d\lambda_1 + \\ & + \int_\sigma^\lambda \frac{\gamma_1^2}{4\delta_0^2} d\lambda_1. \end{aligned}$$

Первый из интегралов в правой части, как показано в приложении 2, равен $\gamma_1 - \frac{\gamma_1^2}{4\delta_0}$, где δ_0 — хорда, соединяющая начало криволинейных координат с точкой, имеющей координату σ . В третьем интеграле в соответствии со сказанным выше можно принять $d\lambda_1 = d\delta_{10}$, после чего найдем:

$$\int_\sigma^\lambda \frac{\gamma_1^2}{4\delta_0^2} d\lambda_1 = \int_{\delta_0}^\Delta \frac{\gamma_1^2}{4\delta_0^2} d\delta_{10} = \frac{\gamma_1^2}{4\delta_0} - \frac{\gamma_1^2}{4\Delta},$$

где Δ — хорда, соединяющая начало и конец кривой λ . Следовательно,

$$\begin{aligned} M = 2\mu J_0 = 2\mu \int_0^\lambda [W(\lambda_1) - V(\lambda_1, 0)] d\lambda_1 - 2\mu \lambda \ln \gamma_1 + \\ + 2\mu \gamma_1 - \frac{\mu \gamma_1^2}{2\Delta}, \end{aligned} \quad (15)$$

Общее выражение коэффициента самоиндукции криволинейного провода. Для определения коэффициента самоиндукции провода надо подставить (15) в (1) и произвести двукратное интегрирование по площади поперечного сечения провода. Это интегрирование даже в простых случаях сопряжено с значительными трудностями. Учитывая условие малости размеров поперечного сечения, можно существенно упростить решение, заменив при интегрировании хорду δ кривой λ соответствующей хордой d кривой l , по которой изогнута ось провода,

Так как для части нитей тока $\delta < d$, а для другой части $\delta > d$, то при интегрировании по сечению отдельные ошибки, возникающие от подобной замены, частично или полностью компенсируются. Для проводов с симметричной формой сечения эта погрешность не превышает величин второго порядка малости.

Действительно, если сечение провода симметрично относительно прямой, перпендикулярной к плоскости его оси, то каждой паре нитей с радиусом кривизны $\rho_a = R + \Delta R = R(1 + \alpha)$, элементом дуги $d\lambda_a = \rho_a d\vartheta = R(1 + \alpha) d\vartheta$ и хордой $\delta_a = d + \Delta d = d(1 + \alpha)$ соответствует симметричная ей пара нитей с радиусом кривизны $\rho_b = R - \Delta R = R(1 - \alpha)$, элементом дуги $d\lambda_b = \rho_b d\vartheta = R(1 - \alpha) d\vartheta$ и хордой $\delta_b = d - \Delta d = d(1 - \alpha)$. Нетрудно показать, что среднее значение $\frac{1}{2}(M_a + M_b)$ коэффициентов взаимной индукции M_a и M_b , найденных для каждой из этих пар нитей по формуле (15), отличается лишь членами порядка $\mu\lambda^2$ от выражения:

$$\begin{aligned} M = 2\mu \int_0^l [W(l_1) - V(l_1, 0)] dl_1 - 2\mu l \ln \gamma + \\ + 2\mu \gamma - \frac{\mu \gamma^2}{2D}, \end{aligned} \quad (16)$$

в котором $W(l_1)$ и $V(l_1, 0)$ отличаются от $W(\lambda_1)$ и $V(\lambda_1, 0)$ тем, что интегрирование производится не по кривой λ , а по оси провода, причем

$$W(l_1) = \lim_{h \rightarrow 0} [V(l_1, l_1 - h) + \ln(2d_1)], \quad (17)$$

d_1 — хорда, стягивающая малую дугу $h = l_1 - l_2 = \phi R_m$, а D — хорда, соединяющая начало и конец оси провода.

Так как α^2 — величина не ниже второго порядка малости, то, действительно, при определении коэффициента самоиндукции провода симметричного сечения для величины M с указанной степенью точности можно принять выражение (16), в котором от положения нитей зависит лишь величина γ .

Подставляя (16) в (1) и учтя, что члены, не содержащие γ , не зависят от положения нитей, представим L в виде суммы четырех составляющих:

$$L = N - G + A - Q, \quad (18)$$

где

$$N = 2\mu \int_0^l [W(l_1) - V(l_1, 0)] dl_1, \quad (19)$$

$$G = \frac{2\mu l}{i^2} \int_s \int_s j' j'' \ln \gamma ds' ds'', \quad (20)$$

$$A = \frac{2\mu}{i^2} \int_s \int_s j' j'' \gamma ds' ds'', \quad (21)$$

$$Q = \frac{\mu}{2Di^2} \int_s \int_s j' j'' \gamma^2 ds' ds''. \quad (22)$$

Составляющая N зависит только от формы и размеров оси провода и не зависит от формы и размеров поперечного сечения и от характера распределения тока по сечению. Составляющие G и A определяются формой и размерами сечения и характером распределения тока и не зависят от формы оси провода, причем G пропорционально длине провода, а A от длины не зависит. Составляющая Q представляет произведение величины $\frac{1}{D}$, зависящей от формы и размеров оси провода, на величину, определяемую формой и размерами сечения и характером распределения тока по сечению.

Таким образом, определение коэффициента самоиндукции распадается на две самостоятельные задачи, из которых первая — определение N и первого сомножителя у Q — имеет решение, определяемое независимо от формы сечения провода только уравнением его оси, а вторая — определение G , A и второго сомножителя у Q — решается одинаково для всех проводов с одинаковой формой сечения.

Коэффициент самоиндукции криволинейного провода при равномерном распределении тока по сечению. Если плотность тока одинакова во всех точках поперечного сечения провода, что имеет место при постоянном токе и (приближенно) при переменном токе достаточно низкой частоты, то для G , A и Q найдем:

$$G = 2\mu l \ln g, \quad A = 2\mu a, \quad Q = \frac{\mu}{2D} q^2, \quad (23)$$

где g , a и q — соответственно, среднее геометрическое, среднее арифметическое и среднее квадратичное расстояние площади поперечного сечения от самой себя, определяемые равенствами:

$$\ln g = \frac{1}{s^2} \int_s \int_s \ln \eta \, ds' \, ds'',$$

$$a = \frac{1}{s^2} \int_s \int_s \eta \, ds' \, ds'',$$

$$q^2 = \frac{1}{s^2} \int_s \int_s \eta^2 \, ds' \, ds''.$$

Значения $\ln g$, a и q для круга радиуса r и прямоугольника со сторонами b и c равны соответственно [Л. 4]:

$$\ln g = \ln r - \frac{1}{4}, \quad a = \frac{128}{45\pi} r, \quad q = r, \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \ln g = & \frac{1}{2} \ln(b^2 + c^2) - \frac{1}{12} \frac{b^2}{c^2} \ln\left(1 + \frac{c^2}{b^2}\right) - \\ & - \frac{1}{12} \frac{c^2}{b^2} \ln\left(1 + \frac{b^2}{c^2}\right) + \frac{2}{3} \frac{b}{c} \operatorname{arctg} \frac{c}{b} + \\ & + \frac{2}{3} \frac{c}{b} \operatorname{arctg} \frac{b}{c} - \frac{25}{12}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a = & \frac{1}{6} \frac{b^2}{c} \ln \frac{c + \sqrt{b^2 + c^2}}{b} + \frac{1}{6} \frac{c^2}{b} \ln \frac{b + \sqrt{b^2 + c^2}}{c} + \\ & + \frac{1}{3} \sqrt{b^2 + c^2} \left[1 - \frac{1}{5} \left(\frac{b^2 + c^2}{bc} \right)^3 \right] + \\ & + \frac{1}{15} \left(\frac{b^3}{c^2} + \frac{c^3}{b^2} \right), \\ q = & \sqrt{\frac{b^2 + c^2}{6}}. \end{aligned}$$

Пользуясь методом Хемметера [Л. 5], можно с помощью этих формул найти выражения для g , a и q в случае любого сечения, ограниченного замкнутой ломаной линией со взаимно перпендикулярными сторонами. Таким образом,

при равномерном распределении тока по сечению решение задачи может быть доведено до конца для всех форм поперечного сечения, представляющих практический интерес.

Коэффициент самоиндукции криволинейного провода круглого сечения при переменном токе. Определение величин G , A и Q при заметно выраженном скин-эффекте невозможно без решения ряда других, более общих задач, относящихся к области скин-эффекта, и, таким образом, представляет проблему, далеко выходящую за рамки настоящей работы.

Остановимся на наиболее простом и вместе с тем наиболее важном случае провода круглого сечения. Будем предполагать, что провод расположен в воздухе, и временно сохраним сделанное ранее предположение о равенстве магнитных проницаемостей провода и окружающей его среды. Тогда при равномерном распределении тока по сечению из (23) и (24) получим:

$$G_0 = 2\mu_0 l \left(\ln r - \frac{1}{4} \right), \quad A_0 = 2\mu_0 \frac{128}{45\pi} r,$$

$$Q_0 = \frac{\mu_0}{2D} r^2.$$

При наличии заметно выраженного скин-эффекта характер распределения тока по сечению, строго говоря, зависит от формы и размеров провода и от его расположения по отношению к другим проводам.

Однако, для проводов малого сечения влияние этих факторов сравнительно невелико и при учете влияния скин-эффекта кривизной провода, искажающим влиянием концов и наличием соседних проводов можно пренебречь¹. В частности, для круглых проводов малого сечения можно пренебречь несимметрией распределения тока относительно оси провода.

Тогда при достаточно высокой частоте ток можно считать равномерно распределенным по весьма тонкому слою вблизи поверхности проводника и для определения величин G , A и Q можно попрежнему воспользоваться выражениями (23), подразумевая в них под g , a и q средние расстояния *окружности* от самой себя.

Так как для окружности $g = r$, $a = \frac{4}{\pi} r$, $q = \sqrt{2} r$, то при $f = \infty$ имеем: $G_\infty = 2\mu_0 l \ln r$,

$$A_\infty = 2\mu_0 \frac{4}{\pi} r, \quad Q_\infty = \frac{\mu_0}{2D} 2r^2.$$

Разности $G_\infty - G_0$, $A_\infty - A_0$, $Q_\infty - Q_0$ представляют собой, очевидно, составляющие коэффициента самоиндукции, обусловленные при постоянном токе магнитным потоком внутри провода. Так как, с другой стороны, сделанные выше предположения равносильны допущению, что *изменение* коэффициента самоиндукции криволинейного провода, обусловленное неравно-

¹ Это допущение было нами принято, по существу еще в самом начале вывода и в неявной форме содержится во втором из условий второго раздела.

мерным распределением тока по сечению, может быть определено так же, как и в случае весьма длинного уединенного прямолинейного провода, то при любой частоте и при $\mu \neq \mu_0$ можно написать:

$$G = 2 \mu_0 I \left(\ln r - \frac{\mu}{\mu_0} \frac{\alpha}{4} \right),$$

$$A = \frac{2 \mu_0}{\pi} \left(4 - \frac{\mu}{\mu_0} \frac{52}{45} \alpha \right) r,$$

$$Q = \frac{\mu_0}{2D} \left(2 - \frac{\mu}{\mu_0} \alpha \right) r^2,$$

где

$$\alpha = \frac{4}{kr} \frac{\text{ber } kr \text{ ber}' kr + \text{bei } kr \text{ bei}' kr}{\text{ber}'^2 kr + \text{bei}'^2 kr},$$

причем $k = 2\sqrt{\pi \mu \gamma \omega}$; γ — удельная проводимость вещества провода; ω — угловая частота переменного тока; $\text{ber } kr$ и $\text{bei } kr$ — вещественная и мнимая составляющие бесселевой функции $J_0(kr\sqrt{-j})$ первого рода нулевого порядка от комплексного аргумента $(kr\sqrt{-j})$, $\text{ber}' kr$ и $\text{bei}' kr$ производные от $\text{ber } kr$ и $\text{bei } kr$ по kr [Л. 6]. Кривая $\alpha = F(kr)$ дана на рис. 4.

Оценка погрешности. При выводе основного выражения (18) были отброшены величины лишь второго и высшего порядка малости в m . Поэтому, оценивая относительную погрешность этого выражения, можно утверждать, что она не превосходит величин порядка $m^2 = \left(\frac{\eta}{2f_m} \right)^2$, где

под ρ_m и η следует подразумевать их средние по сечению значения, за каковые можно принять соответственно наименьший радиус кривизны R_m оси провода и среднее геометрическое расстояние g площади сечения от самой себя. Для проводов круглого сечения $g \leq r$ и, следовательно, для таких проводов относительная погрешность имеет порядок $\left(\frac{r}{2R_m} \right)^2$.

В частном случае круглого кольца круглого сечения оценку погрешности можно произвести более точно, сравнив выражение, полученное для этого случая предлагаемым методом, с более точными выражениями, например с формулой М. Вина для постоянного тока [Л. 7] и формулой В. А. Фока для токов весьма высокой частоты [Л. 8]. Это сравнение показывает, что в обоих случаях отличие имеет место лишь в членах порядка $\frac{r^2}{R^2}$. В частности, при постоянном токе расчет по предлагаемому методу для массивного кольца с $\frac{r}{R} = 0,1$ дает ошибку только в 0,2%.

Распределение тока по поверхности круглого кольца круглого сечения при токах высокой частоты резко неравномерно. Например, при $\frac{r}{R} = 0,1$ плотность тока на внутренней поверхности кольца более чем вдвое превышает плотность тока на его наружной поверхности.

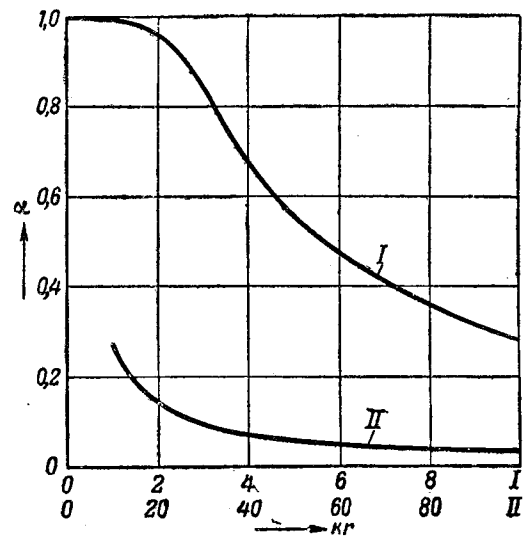


Рис. 4.

Несмотря на это, учет неравномерности дает уточнение лишь в членах порядка $\frac{r^2}{R^2}$, т. е. в пределах принятой нами степени точности не изменяет результата. Поэтому допущение о возможности при определении коэффициента самоиндукции исходить из симметрии распределения переменного тока по сечению можно считать обоснованным не только в качественном, но и в количественном отношении.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Рассматривая малую дугу σ как параметр, от которого зависит разность $V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma) - V(\lambda_1, 0)$, и дифференцируя эту разность по σ , имеем:

$$\frac{d}{d\sigma} V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma) = - \left[\frac{\cos \vartheta}{\vartheta} \right]_{\lambda_2 = \lambda_1 - \sigma} = - \frac{\cos \vartheta}{2 \rho_m \tau_1}.$$

Так как при $\lambda_2 = \lambda_1 - \sigma$ имеем:

$$\begin{aligned} \cos \vartheta d\sigma &= - \cos \vartheta d\lambda_2 = \\ &= 2 f_m \left(1 - \frac{3}{2} a_1 \tau_1^2 - 4 a_1 a_2 \tau_1^3 \right) d\tau_1, \end{aligned}$$

то

$$\begin{aligned} V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma) &= \int \frac{dV(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma)}{d\sigma} d\sigma = - \ln \tau_1 + \\ &+ \frac{3}{4} a_1 \tau_1^2 + \frac{4}{3} a_1 a_2 \tau_1^3 + f(\lambda_1), \end{aligned}$$

где $f(\lambda_1)$ не зависит от τ_1 . Подставляя сюда вместо τ_1 его значение $\vartheta_1: (2 f_m)$ и полагая $f(\lambda_1) + \ln(4 \rho_m) = W(\lambda_1)$, приходим к (12), что и требовалось показать.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

При интегрировании по λ_1 в области S_1 коэффициенты a_1 и a_2 можно представить в виде функций от t_1 . Полагая, что эти функции непрерывны и имеют достаточное число непрерывных производных, разложим их в ряды Маклорена:

$$a_1 = a_{10} + b_1 t_1 + b_2 t_1^2 + \dots, \quad (25)$$

$$a_2 = a_{20} + c_1 t_1 + c_2 t_1^2 + \dots, \quad (26)$$

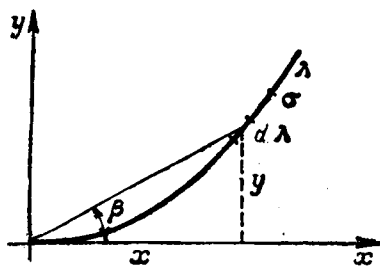


Рис. 5.

где a_{10} и a_{20} — значения a_1 и a_2 в начале координат. Подставив a_1 и a_2 из (25) и (26) в (7) и отбросив малые величины второго и высшего порядка малости, найдем:

$$J_1 = \ln(t_1 + \sqrt{t_1^2 + m^2}) - \ln m - \left[a_{10} \left(\frac{3}{4} + \frac{4}{3} a_{20} t_1 \right) + \frac{3}{4} b_1 t_1 \right] t_1 \sqrt{t_1^2 + m^2}. \quad (27)$$

Нетрудно видеть, что выражение для функции $V(\lambda_1, \lambda_2)$ в области S_1 можно найти, проинтегрировав (6) по λ_2 и положив в полученном выражении $m = 0$. Выполнив эти операции, найдем:

$$V(\lambda_1, \lambda_1 - \sigma) = -\ln 2 t_1 + a_1 \left(\frac{3}{4} + \frac{4}{3} a_2 t_1 \right) t_1^2,$$

$$V(\lambda_1, 0) = -\ln 2 t_1 + a_1 \left(\frac{3}{4} + \frac{4}{3} a_2 t_1 \right) t_1^2.$$

Пользуясь (14), получим: $W(\lambda_1) = \ln(2 \rho_m)$ и

$$W(\lambda_1) - V(\lambda_1, 0) - \ln \eta = \ln(2 t_1) - a_1 \left(\frac{3}{4} + \frac{4}{3} a_2 t_1 \right) t_1^2 - \ln m.$$

Подставляя сюда a_1 и a_2 из (25) и (26) и отбросив малые величины второго порядка малости, найдем:

$$W(\lambda_1) - V(\lambda_1, 0) - \ln \eta = \ln(2 t_1) - \left[a_{10} \left(\frac{3}{4} + \frac{4}{3} a_{20} t_1 \right) + \frac{3}{4} b_1 t_1 \right] t_1^2 - \ln m. \quad (28)$$

Введем угол β между хордой и касательной к кривой λ в начале криволинейных координат (рис. 5).

Полагая что функция $\beta = \beta(t_1)$ непрерывна и имеет достаточное число непрерывных производных, напишем ряд Маклорена:

$$\beta = e_1 t_1 + e_2 t_1^2 + e_3 t_1^3 + e_4 t_1^4 + \dots$$

Принимая во внимание, что

$$\cos \beta \approx 1 - \frac{\beta^2}{2} \quad \text{и} \quad \sin \beta \approx \beta - \frac{1}{6} \beta^3,$$

найдем:

$$x = 2 \rho_m t_1 \cos \beta = 2 \rho_m t_1 \left(1 - \frac{e_1}{2} t_1 - e_1 e_2 t_1^2 \right),$$

$$y = 2 \rho_m t_1 \sin \beta = 2 \rho_m t_1 \left[e_1 + e_2 t_1 + \left(e_3 - \frac{1}{6} e_1^3 \right) t_1^2 \right],$$

Откуда, полагая $p = \frac{e_1}{2}$, $q = 2 e_1 e_2$, получим:

$$d\lambda = \sqrt{dx^2 + dy^2} = 2 \rho_m [1 + p t_1 + q t_1^2] dt_1, \quad (29)$$

Вычитая (28) из (27), умножая полученную разность на (29) и отбрасывая величины второго и высшего порядка малости, имеем:

$$\begin{aligned} & [J_1 - W(\lambda_1) + V(\lambda_1, 0) + \ln \eta] d\lambda_1 = \\ & = 2 \rho_m (1 + p t_1 + q t_1^2) [\ln(t_1 + \sqrt{t_1^2 + m^2}) - \ln(2 t_1)] dt_1 - \\ & - 2 \rho_m \left[\frac{3}{4} a_{10} + \left(\frac{4}{3} a_{10} a_{20} + \frac{3}{4} b_1 \right) t_1 \right] \times \\ & \times (\sqrt{t_1^2 + m^2} - t_1) t_1 dt_1. \end{aligned} \quad (30)$$

Интегрируя (30) в пределах от 0 до σ и соответственно от 0 до $t_0 = \delta_0 (2 \rho_m)$, получим:

$$\begin{aligned} & \int_0^\sigma [J_1 - W(\lambda_1) + V(\lambda_1, 0) + \ln \eta] d\lambda_1 = \\ & = 2 \rho_m \left(t_0 + \frac{p}{3} t_0^3 + \frac{q}{4} t_0^4 \right) [\ln(t_0 + \sqrt{t_0^2 + m^2}) - \ln(2 t_0)] - \\ & - 2 \rho_m \left[1 + \left(\frac{p}{9} + \frac{a_{10}}{4} \right) t_0 + \left(\frac{q}{16} + \frac{3}{16} b_1 + \frac{1}{3} a_{10} a_{20} \right) t_0^2 \right] (\sqrt{t_0^2 + m^2} - t_0) + \\ & + 2 \rho_m m. \end{aligned}$$

Разлагая $\sqrt{t_0^2 + m^2}$ и $\ln(t_0 + \sqrt{t_0^2 + m^2})$ в ряды по степеням $\frac{m}{t_0}$, после пренебрежения членами второго и высшего порядка малости найдем:

$$\begin{aligned} & \int_0^\sigma [J_1 - W(\lambda_1) + V(\lambda_1, 0) + \ln \eta] d\lambda_1 = \\ & = 2 \rho_m m - \frac{m^2}{4 t_0} = \eta - \frac{\eta_2}{4 \delta_0}. \end{aligned}$$

Мы получили выражение, приведенное в тексте.

Литература

1. Л. А. Цейтлин. Труды Воен. электротехн. академии, № 4, 1944.
2. J. H. K. Eisenlose Drosselspuln, 1938.
3. Л. А. Цейтлин. Труды Ленинградского индустриального института, № 5, вып. 2, 1937.
4. A. Gray. Absolute Measurements in Electricity and Magnetism, V. II, Part I, p. 294—303, 1893.
5. Н. Н. Гемметер. Arch. f. El., Bd. XIV, S. 153.
6. П. Л. Калантаров. Теория переменных токов, стр. 181, 1940.
7. M. Wien. Ann. der Physik, 53, S. 928, 1894.
8. В. А. Фок. Журнал РФХО, LXII, вып. 3, 1930.



К вопросу относительной стоимости конструкции с постоянными магнитами

Доктор техн. наук, проф. А. С. КАНТЕР

Московский энергетический институт им. Молотова

Вопрос о стоимости энергии, развиваемой постоянными магнитами, возник в связи с широким применением кобальтовых сталей с большим содержанием дорогостоящего кобальта.

Казалось, что в большинстве случаев более выгодным может быть использование недорогих хромистых и вольфрамовых сталей, развивающих энергию, в несколько раз меньшую, чем кобальтовые магниты. Действительно, первые подсчеты стоимости магнитной энергии показали, что стоимость материала для получения магнитной энергии в 1 000 000 МОе при $(BH)_{\max}$ будет равна 1,53 пенса для стали с 15% Со, 1,66 пенса для стали с 36% Со и 0,815 пенсов—для хромистой стали [Л. 1]. Однако, при определении стоимости магнитной энергии, получаемой от постоянных магнитов, необходимо учесть как стоимость самого материала, так и стоимость отливки, поковки, термической и механической обработки готовых магнитов.

Магниты хромистой и вольфрамовой стали, получаемые посредством прокатки или поковки, подвергаются затем механической обработке, закаляются и шлифуются для получения окончательных, точных размеров. Магниты же типа альни и альнико отливаются и доводятся до окончательных размеров шлифовкой или полу-чаются путем спекания.

Стоимость различных способов обработки зависит от объема производства, оборудования заводов и т. п. Поэтому провести в общем виде сравнение стоимости обработки магнитов различных материалов представляет большие затруднения. Большую работу по определению стоимости магнитной энергии, получаемой от постоянных магнитов, провел Ватсон [Л. 2], предложивший известную формулу:

$$p = p_0 + p_{\text{Со}} C_0,$$

где p — общая стоимость кобальтовой стали; p_0 — стоимость этой же стали без кобальта, $p_{\text{Со}}$ — стоимость кобальта и C_0 — процентное содержание кобальта.

Дается определение относительной стоимости конструкций с возбуждением постоянными магнитами, выполненными из различных магнитных материалов. При сравнении за единицу стоимости принимается стоимость конструкций с магнитами из хромистой стали.

С появлением мощных по магнитной энергии и сравнительно недорогих по составу новых материалов для постоянных магнитов — алюминиево-

никелевых сталей—автором была определена относительная стоимость магнитной энергии, развиваемая этими материалами [Л. 3]. При этом за единицу стоимости была принята стоимость магнитной энергии, развиваемая хромистой сталью. Далее, автор определил тем же методом Ватсона относительную стоимость магнитной энергии наиболее мощных в настоящее время магнитов с термомагнитной обработкой (альнико V или магнико) [Л. 4].

В 1942 г. появилась работа Госсса, в которой были приведены данные стоимости магнитной энергии (в долларах $\times 10^{-7}$ на единицу энергии), развиваемой различными наиболее распространенными материалами постоянных магнитов [Л. 5].

При пересчете указанной Госссом абсолютной стоимости в относительную стоимость, когда за единицу была принята стоимость энергии хромистой стали, получились данные, почти совпадающие с подсчетом автора, как это видно из табл. 1.

Таблица 1

Материал	Относительная стоимость, %	
	по Госссу	по автору
Хромистая сталь	100	100
Вольфрамовая сталь	123	178
Кобальтовая сталь 36% Со . .	218	312
Альнико III	32,8	49
Альнико V (магнико)	40	40,5

Помимо определения стоимости магнитной энергии постоянных магнитов проводилось также сравнение стоимости возбуждения постоянных магнитов и электромагнитов [Л. 2, 6].

Стоимость материалов постоянных магнитов еще не определяет стоимости всей конструкции машины или аппарата с возбуждением постоянными магнитами,

Более дорогой по стоимости материал может оказаться значительно более удобным с точки зрения механической или иной обработки. Окончательная стоимость конструкции может получиться при этом более низкой, чем при применении более дешевого сплава.

Применение материалов, обладающих большой магнитной энергией на единицу объема, дает возможность резко сократить объем магнита, а следовательно, размеры и вес остальных конструктивных деталей машины или аппарата. Величины энергии, развиваемой 1 см³ постоянного магнита из основных магнитных материалов, объемы магнитов, необходимые для получения магнитной энергии в 1 000 000 МОе при $(BH)_{\max}$, и некоторые другие данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Материал	Остаточная индукция, В _r	Коэрцитивная сила H _c	Максимальная энергия, отдаваемая 1 см ³ во внешнее пространство (BH) _{max} × 10 ⁻⁶	$\frac{(BH)_{\max}}{B_r H_c}$	Необходимый объем		Относительная стоимость 1 см ³	Общая относительная стоимость магнита, %
					Абсолютный см ³	Относительный, %		
Хромистая сталь . . .	9 600	56	2,31	0,42	1,33	100	100	100
Вольфрамовая сталь . . .	10 000	65	2,61	0,4	3 83	89	200	178
Хромокобальтовая сталь 15% Со . .	8 200	200	6,56	0,4	1,52	35,1	580	204
Кобальтовая сталь 35% Со	9 000	240	7,99	0,37	1,25	28,9	1080	312
Алюминиево-никелевая сталь . . .	6 000	550	13,86	0,42	0,72	16,6	295	49
Al-Ni-Co . .	7 000	600	17,64	0,42	0,565	13,1	535	70
Сталь с термомангнитной обработкой 24% Со, 13% Ni	13 350	600	48	0,60	0,208	4,8	846	40,5

Как следует из таблицы, для получения одной и той же магнитной энергии объем постоянных магнитов, выполненных из материалов с термомангнитной обработкой, получается в 20 раз меньшим объема магнитов хромистой стали и в 3,5 раза меньшим объема магнитов алюминево-никелевой стали.

Уменьшение веса конструкции в отдельных случаях, как, например, в установках для авиации—на самолетах—имеет основное решающее значение.

Помимо того, уменьшение веса деталей конструкций вызывает снижение стоимости всей машины. Снижение стоимости деталей может в ряде случаев более чем компенсировать высокую стоимость магнитной энергии.

Обозначим стоимость всего магнита P_m , объем магнита V_m , стоимость 1 см³ магнита p_m , магнитную энергию, развиваемую постоянным магни-

том A , магнитную энергию 1 см³ a и стоимость остальных деталей конструкции (без постоянного магнита)—машины или аппарата P_k .

Тогда стоимость магнита: $P_m = V_m p_m$; так как $V_m = \frac{A}{a}$, то $P_m = \frac{A}{a} p_m$. Стоимость остальных деталей конструкции машины, или аппарата P_k является, очевидно, функцией объема магнита: $P_k = f(V_m)$. Примем: $P_k = k V_m$; это предположение более справедливо для машин малых габаритов. Для машин больших размеров более точным может быть какое-либо иное соотношение, например $P_k = k \sqrt{V_m}$, но общие соображения, развиваемые ниже, остаются в силе.

Из соотношения $P_k = k V_m$ имеем: $P_k = \frac{kA}{a}$.

Общая стоимость машины или аппарата P_0 , равная стоимости магнита и конструктивных деталей, выражается следующим уравнением:

$$P_0 = P_m + P_k = p_m \frac{A}{a} + k \frac{A}{a} = \frac{A}{a} (p_m + k).$$

Очевидно, k —выражает стоимость всех деталей конструкции (кроме магнита), отнесенную к 1 см³ объема—магнита. Заменяя поэтому k через p_k , будем иметь:

$$P_0 = \frac{A}{a} (p_k + p_m) = \frac{A}{a} p_m \left(1 + \frac{p_k}{p_m}\right).$$

Если окажется, что p_k мало в сравнении с p_m , то общая стоимость определится в основном стоимостью одного магнита. Подобный пример имеет место в простейших конструкциях громкоговорителей для радиопередач, где стоимость постоянного магнита составляет основную часть стоимости всей конструкции.

В случае, когда p_m —стоимость магнита мала по сравнению со стоимостью конструкции p_k , как, например, в сложных конструкциях магнето, выбор наиболее подходящего материала для постоянных магнитов представляет известные затруднения.

Определим относительную стоимость конструкций с постоянными магнитами при применении различных магнитных материалов, принимая за единицу стоимость конструкции с магнитами хромистой стали. Примем стоимость конструкции на единицу объема постоянного магнита кратной стоимости постоянного магнита:

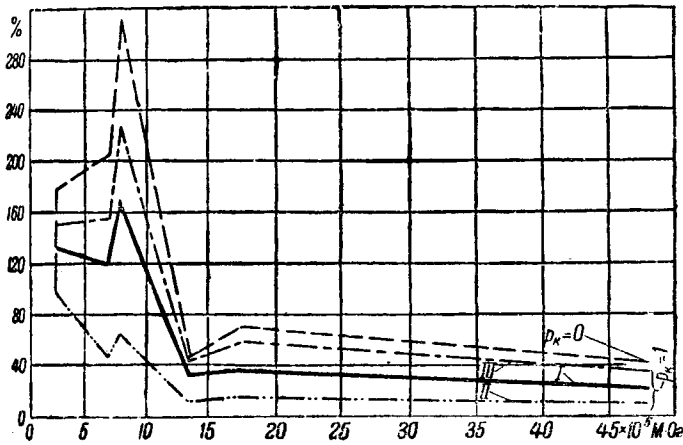
$$P_k = c p_m.$$

Тогда

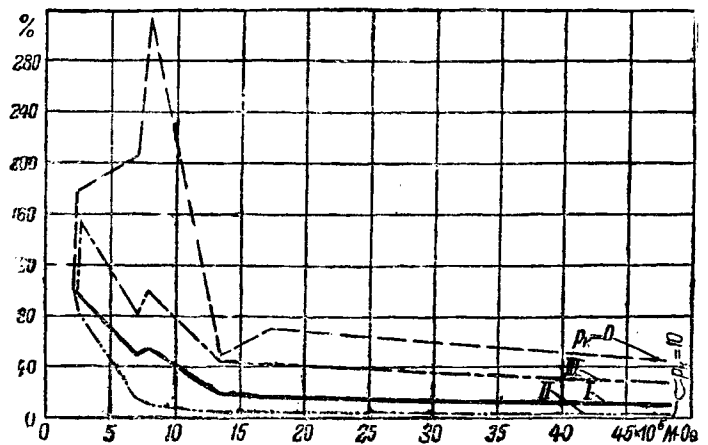
$$P_0 = \frac{A}{a} p_m \left(1 + \frac{p_k}{p_m}\right) = \frac{A}{a} p_m (1 + c).$$

Подсчитаем относительную величину P_0 для разных значений c , принимая за основу данные табл. 2, тогда для хромистой стали стоимость конструкции P_0 при коэффициенте $c=1$ будет:

$$P_0 = \frac{A}{a} p_m \left(1 + \frac{p_k}{p_m}\right) = 4,33 \cdot 100 \left(1 + \frac{100}{100}\right) = 8,66,$$



Относительная стоимость конструкций с постоянными магнитами.



Принимаем эту величину стоимости конструкции за 100 и подсчитаем относительную стоимость конструкции с кобальтовой сталью с 35% Со, для которой $p_m = 1080$.

Тогда

$$P_{oc} = \frac{A}{a} P_m \left(1 + \frac{100}{p_m} \right) = 1,25 \cdot 10,8 \left(1 + \frac{1,00}{10,80} \right) = 14,8.$$

Относительная стоимость конструкции с кобальтовой сталью будет:

$$P_{oc_0} = \frac{14,8}{8,66} \cdot 100 = 171 \%.$$

При $c = 10$ для хромистой стали

$$P_0 = \frac{A}{a} p_m \left(1 + \frac{p_k}{v_m} \right) = 4,33 \cdot 1,00 \left(1 + \frac{10,0}{1,00} \right) = 47,63.$$

Принимая эту величину за 100, имеем для кобальтовой стали с 35% Со значение

$$P_{oc_0} = \frac{1,25 \cdot 10,80 \left(1 + \frac{10,0}{10,80} \right) \cdot 100}{47,63} = 55 \%.$$

Результаты подобных подсчетов для основных магнитных материалов для значений $c = 1$ и 10 изображены на рисунке, где кривые $p_k = 0$ дают относительную стоимость 1 см^3 самого материала без учета стоимости конструкции. Кривые $p_k = 1$ изображают относительную стоимость конструкции на 1 см^3 магнита, равную относительной стоимости 1 см^3 последнего. Кривые $p_k = 10$ дают ту же стоимость конструкции в случае, когда она в 10 раз выше относительной стоимости 1 см^3 магнита.

Подсчеты были проведены для трех различных зависимостей $P_k = f(V_m)$:

$$P_k = kV_m \text{ (кривая I);}$$

$$P_k = kV_m^2 \text{ (кривая II); } P_k = k\sqrt{V_m} \text{ (кривая III).}$$

Значения относительной стоимости конструкции, приведенные по указанному выше методу, являются, конечно, очень приближенными. До

известной степени произвольно взята за единицу стоимость конструкции с магнитами хромистой стали.

Далее следует подчеркнуть, что при использовании магнитов, выполненных из материалов очень мощных по магнитной энергии, могут резко измениться основные черты конструкции. Как на пример, можно указать на измерительные приборы с внутрирамочными магнитами.

Подобное изменение конструкции может вызвать значительное сокращение стоимости.

Проведенные подсчеты (кривые рисунка) показывают значительное влияние магнитной энергии на относительную стоимость конструкций с постоянными магнитами.

При увеличении стоимости конструкции с увеличением отношения $\frac{p_k}{p_m}$ резко снижается общая относительная стоимость.

Так, для кобальтовой стали с 35% Со — одного из наиболее дорогих материалов для постоянных магнитов, относительная стоимость конструкции, равная 171% при $c = 1$, падает до 55% при $c = 10$.

Особенно резко снижается относительная стоимость конструкции при применении материалов с большой магнитной энергией — сталей с термомагнитной обработкой. Стоимость конструкции при $c = 10$ достигает всего 8,1% стоимости конструкции с магнитами хромистой стали при $P_k = kV_m$ и всего 1,14% при $P_k = kV_m^2$.

Литература

1. La technique moderne, № 15, 1923.
2. E. A. Watson. The Economic Aspect of the Utilization of permanent Magnets in Electrical Apparatus, Journ. Inst. El. Eng., v. 62, 1925.
3. А. С. Кантер. Постоянные магниты. ОНТИ, 1938.
4. А. С. Кантер. Электрические машины с постоянными магнитами. Электричество. № 8—9, 1944.
5. J. H. Goss. Permanent Magnets. Metals and Alloys, v. 15, № 4, 1942.
6. А. С. Кантер. Возбуждение электрических машин постоянными магнитами. Бюллетень ВЭИ, № 6, 1935.



Обеспечение равномерного прогрева изделий при индукционной закалке

Инж. Г. В. КЛЮШИН и инж. В. А. ИВАНОВ

Челябинский тракторный завод

Равномерное распределение тока по поверхности изделия сложной формы, подвергаемого индукционному нагреву, имеет место, как показал В. П. Вологдин [Л. 1], лишь при некоторой, для данного тела вполне определенной („оптимальной“), частоте.

Значение оптимальной частоты для большинства промышленных изделий колеблется в пределах 5 000—20 000 Нз. Лишь недавно в Америке появились [Л. 2] генераторы серийного выпуска частоты 9 600 Нз. Выпуск подобных генераторов в Союзе намечается [Л. 3]. Практика пользуется сейчас машинными установками на 2 000 Нз и ламповыми на 200 000 Нз и выше. Применение генераторов с частотой, выше оптимальной, приводит к перегреву выступов, при частотах ниже оптимальной перегреваются впадины.

Производство выработало ряд приемов, позволяющих смягчать последствия неблагоприятного электрического режима. Описание некоторых из этих приемов, наименее известных в литературе, составляет содержание настоящей работы.

Получение закаленного слоя равномерной толщины сводится к соблюдению постоянства величины удельной теплоаккумуляции вдоль всей трассы слоя. Действительно, пусть нам дано изотропное и изоморфное тело, ограниченное произвольной поверхностью F и прогретое на глубину dy (рис. 1).

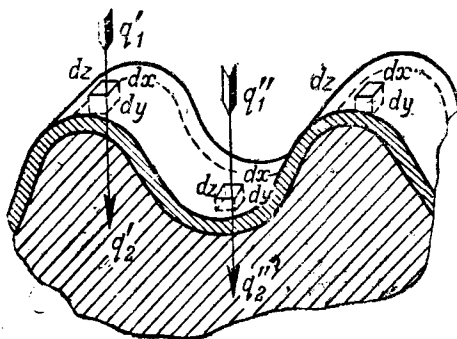


Рис. 1. К анализу обобщенного случая тепловыделения.

Обзор и физическое истолкование практических приемов, позволяющих смягчать эффект неравномерности прогрева изделий, обусловленный применением в установке индукционной закалки генераторов с частотой, которая значительно отклоняется от оптимальной для закаляемого изделия.

Выделим два элементарных объема $dx dy dz$ в тех его точках, где величины теплоотвода, а также теплоподачи заведомо различны. Обозначим:

q_1' —общий теплоподвод к первому объему; q_1'' —ко второму; q_2' и q_2'' —соответствующие им общие теплоотводы; $\Delta q_1 \Delta q_2$ —теплоаккумуляции; τ' , τ'' —повышения температуры; c —теплоемкость тела; γ —удельный вес его.

Можно написать:

$$\tau' = \frac{q_1' - q_2'}{c \gamma dx dy dz}; \quad \tau'' = \frac{q_1'' - q_2''}{c \gamma dx dy dz}.$$

Очевидно, для соблюдения условия $\tau' = \tau''$ необходимо равенство: $q_1' - q_2' = q_1'' - q_2''$, т. е.

$$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \text{const}, \quad (1)$$

что и требовалось доказать.

Отсюда следует, что если на глубине dy , отвечающей глубине слоя прокали, кривая теплоотвода задана, как

$$\tau = f(x), \quad (2)$$

то выделение энергии должно происходить согласно зависимости

$$q = -f(x). \quad (3)$$

Первое условие определяется потребной глубиной закалки, иначе говоря, предписывается из технологических соображений, поэтому усилия практиков сводятся к выполнению второго.

Начальное соотношение между тепловыделениями на выступах и впадинах по мере роста температуры, как известно, изменяется, стремясь (в силу теплопроводности) к выравниванию, чему способствует и падение поглощаемой изделием мощности.

Кроме того, продвижение активной зоны в толщу изделия равносильно падению индуктивной связи между первичной (индуктор) и вторичной (изделие) обмотками трансформатора и, таким образом, величина токосцепления выступов относительно токосцепления впадин падает, что обуславливает те же последствия,

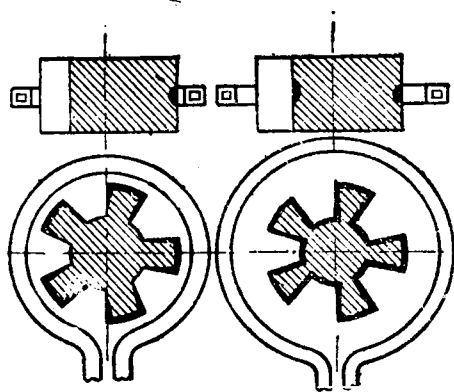


Рис. 2. Влияние зазора индуктор-изделие на равномерность нагрева при частоте выше оптимальной.

Данная картина явления дает ключ к объяснению весьма распространенного способа выравнивания температуры при частотах выше оптимальной путем искусственного изменения зазора индуктор-изделие, с возрастанием которого разница в тепловыделениях на выступах и впадинах уменьшается (рис. 2). При этом, однако, падает и к. п. д. закалочного устройства, поэтому данный способ может применяться лишь в ограниченном числе случаев.

Более распространен метод вращения изделия. Г. И. Бабат показал [Л. 4], что в случае индукторов, имеющих малую по сравнению с изделием высоту, эксцентриситет между изделием и индуктором вызывает существенную неравномерность нагрева. Помощью вращения при достаточном числе оборотов (обычно 50—100 об/мин) достигают сглаживания этой неравномерности.

Таков смысл вращения при оптимальной или близких к ней частотах. Однако, при неблагоприятных режимах эксцентриситет создают иногда вполне преднамеренно: так, если перегружаются впадины, то, уменьшая в каком-либо направлении зазор изделие-индуктор и тем самым усиливая в этом направлении эффект близости, мы можем добиться равномерного прогрева некоторой области $a-b$ (рис. 3). Затем помощью вращения мы растушевываем эту область на все изделие. Не следует при этом забывать, конечно, что неравномерность токовой загрузки на диаметрально противоположном участке $c-d$ при смещении изделия обострится. Это возмущение состояния будет, однако, более слабым, чем в области $a-b$ (в силу падения индуктивной связи). Последнее обстоятельство и обуславливает действенность данного способа.

В некоторых случаях изделие оставляют неподвижным, а вращательное перемещение придают полю. Более общим решением вопроса при перегреве выступов является идея дозированной теплоподдачи (так называемая импульсная закалка). Чередую включение тока с отключением, при соответствующем отношении величин, можно добиться выравнивания температуры в объеме изделия.

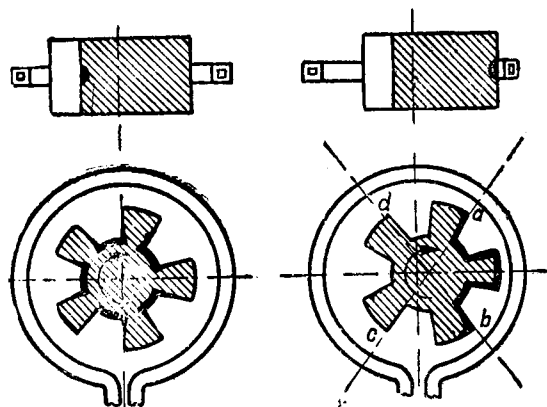


Рис. 3. Влияние эксцентриситета на равномерность нагрева при частоте, ниже оптимальной.

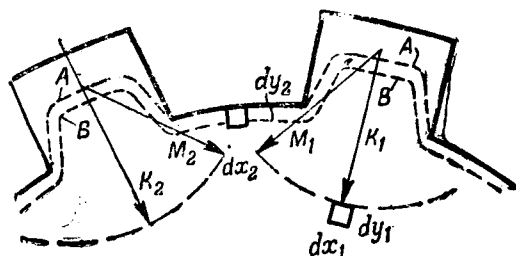


Рис. 4. Проникновение фронта нагрева в изделие сложной формы.

Действительно, пусть данный электрический режим при некоторой глубине проникновения, лежащей между начальной и конечной глубинами проникновения, наложил на обвод изделия температурное поле, изображенное линией A (рис. 4). В этот момент мы прервали теплоподачу и предоставили теплу растекаться естественным путем. В направлении стрелок K_1 K_2 лежит главный непрогретый массив тела, в направлении стрелок M_1 и M_2 —слой, прилегающий к поверхности.

Сопоставление условий охлаждения элементов $dx_1 dy_1$ и $dx_2 dy_2$ приводит к заключению, что теплоотвод от первого будет значительно больше, чем от второго элемента. В самом деле, элемент $dx_2 dy_2$, как указано, лежит у поверхности; потеря же в окружающую среду при закалочных температурах (800—850°C) составляет немногие проценты и доли процента от теплоотвода в непрогретую толщу (выкладки опускаем). Следовательно, прогрев изделия будет в первую очередь идти вдоль кромки сечения.

Предположим, что к концу отключения нагретая зона приняла вид области, ограниченной кривой B . При повторной подаче энергии область впадины явится местом предпочтительного (по сравнению с зоной выступа) тепловыделения.

Таким образом, при каждом следующем нагревательном цикле распределение теплоисточников будет для впадины более благоприятным (тем более, что теплоотдача выступов в окружающую среду преобладает над теплоотдачей впадин). Однако, ясно, что дозирование

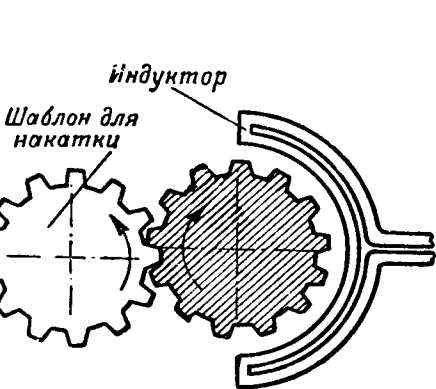


Рис. 5. Дуговой индуктор для горячей накатки шестерен.

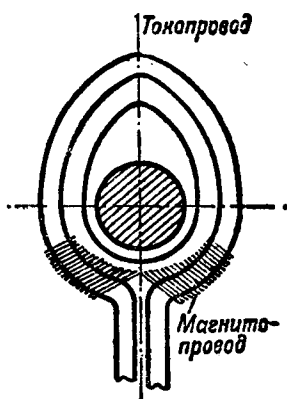


Рис. 6. Индуктор с магнитопроводом. Частота выше оптимальной.

имеет смысл лишь до тех пор, пока не наступит сплошной прогрев выступов. Практически его надлежит заканчивать значительно ранее.

Прерывистая теплоподача отражается не только на периферийном, но, как показали Г. И. Бабат и М. Г. Лозинский [Л. 5], также и на глубинном распространении тепла, вызывая крутой перепад температур за пределами слоя, подготовленного к закалке.

Близка к описанной и идея, заложенная в конструкцию дугового индуктора. В этом случае для каждой данной точки изделия имеется вполне аналогичное чередование в подаче тока (прохождение мимо индуктора) с перерывом подачи (прохождение в свободной зоне). Иначе говоря, процесс преимущественного нагрева выступов чередуется с процессом их преимущественного охлаждения, что позволяет добиться конечной равномерности температуры. Недостатком дугового индуктора является его низкий к. п. д. С этим иногда приходится мириться из-за тех удобств, какие открываются в связи с возможностью технологического воздействия на открытую часть изделия, как это имеет место, например, при горячей накатке шестерен (рис. 5).

В тех случаях, когда изделие в процессе закалки должно оставаться неподвижным, применяются фасонные индукторы, сосредоточивающие электромагнитное поле около участков, подлежащих дополнительному нагреву (рис. 6).

В заключение считаем необходимым упомянуть об идее многочастотной закалки.

При этом методе обработка изделия ведется токами двух (или более) различных частот: одна из них превышает оптимальную (подогрев выступов), другая лежит ниже ее (подогрев впадин). Напрашиваются следующие варианты данного способа:

1. *Многочастотная чередующаяся закалка.* В этом случае обработка ведется двумя параллельными или соосными индукторами с попеременной подачей на них питания.

2. *Многочастотная совместная закалка.*

Обработка ведется по вышеуказанному, но при одновременной подаче питания на индукторы. При этом, очевидно, необходимо устройство в схемах генераторов соответствующих фильтрующих узлов.

3. *Многочастотная объединенная закалка.* То же, что по позиции 2, но питание подается на один индуктор. Конструктивно—это наиболее сложный вариант.

Использование могочастотной закалки возможно лишь при довольно сложном оборудовании. Промышленного применения эта идея еще не нашла. Однако, предварительный опыт авторов, полученный на универсальной закалочной установке [Л. 6] является обнадеживающим.

В итоге данного обзора закономерна постановка вопроса об очередности применения перечисленных способов к решению и той или иной задачи. Общего ответа пока нет: „от простейших к более сложным“,— вот единственное правило, какому надлежит здесь следовать.

Литература

1. В. П. Вологдин. Закалка тел сложной конфигурации. Бюллетень НКТП, № 10, 1943.
2. Проспект „Американская промышленность“, 1942.
3. Д. Б. Мондрус. Рациональные пути развития поверхностной индукционной электрозакалки в СССР. Техничко-информационный бюллетень Треста „Электропечь“ № 4, 1945.
4. Г. И. Бабат. Construction of Heating Coils for Induction Surface Hardening. Heat Treating and Forging, № 1, 2, 3, 4, 1941.
5. Г. И. Бабат и М. Г. Лозинский. Высокочастотная электротермообработка. Станки и инструменты № 10-11, 1939.
6. В. А. Иванов и Г. В. Ключин. Станки для поверхностной электрозакалки. Вестник машиностроения, № 6-7, 1945.



Новая конструкция электрического трактора

Инж. В. Г. СТЕЦЕНКО

Всесоюзный институт механизации и электрификации сельского хозяйства

В конце прошлого года лабораторией электрификации сельского хозяйства Всесоюзного института механизации и электрификации сельского хозяйства был разработан проект модернизированной конструкции полевого электротрактора сельскохозяйственного назначения (ВИМЭ-4-1 000). При разработке конструкции электротрактора был максимально использован опыт работы института в области электрификации полеводства.

Электротрактор сконструирован на базе теплового трактора СТЗ-НАТИ, серийно выпускаемого тракторной промышленностью. Использование готовых узлов теплового трактора преследовало цель максимального упрощения технологии изготовления и сокращения расходов по выпуску первой опытной серии электротракторов.

Внешний вид электротрактора дан на рис. 1. Разрез его показан на рис. 1а.

По способу питания электрической энергией и эксплуатационным признакам его можно отнести к разряду электротракторов с индивидуальным способом кабельного питания, а по мощности и конструктивным признакам — к типу мощных гусеничных тракторов.

У электротрактора: гусеничный движитель 1, рама 2, прицепное устройство 3, задний мост 4, коробка передач 5, муфта сцепления 6, кабина и (в значительной степени) рычаги управления — являются узлами шасси и трансмиссии обычного гусеничного трактора. Вновь на раме трактора соответствующим образом закреплен и присоединен к муфте сцепления тяговый короткозамкнутый электрический двигатель 7 трехфазного тока мощностью 39 kW, 1470 об/мин. Над тяговым двигателем на специальной раме смонтированы: 1) кабельный барабан 8 для намотки 650—750 м гибкого кабеля с резиновой изоляцией; 2) привод к кабельному барабану 9 с дополнительным электродвигателем в 2,5 kW, предназначенным для осуществления синхронной намотки и разматки кабеля, с незначительным натяжением его; 3) кабелеукладывающий аппарат 10 для правильной укладки кабеля на барабан при намотке. Для лучшей канализации кабеля на тракторе и создания нужного радиуса обзора для водителя в конструкции трактора осуществлено небольшое перемещение кабины вверх.

Во избежание случаев попадания кабеля под гусеницы трактора или под прицепной сельскохозяйственный инвентарь он снабжен стрелой 11,

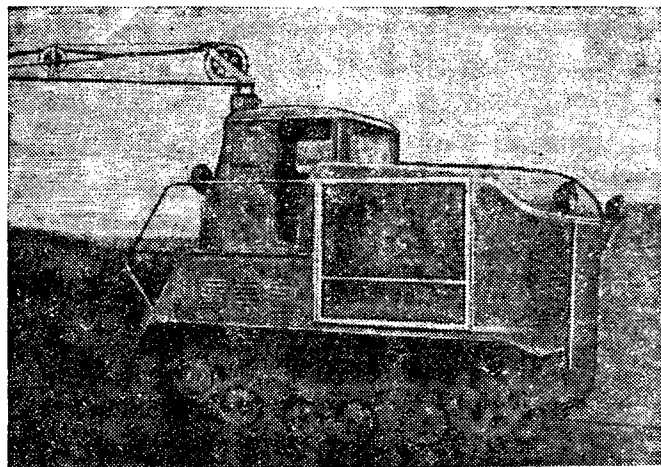


Рис. 1. Внешний вид электротрактора ВИМЭ-1 000.

при помощи которой кабель отводится от трактора в сторону; стрела также обеспечивает удобное подбирание кабеля с земли при намотке на барабан. Стрела закреплена шарнирно, благодаря чему она имеет возможность свободно перемещаться вокруг вертикальной оси при поворотах электротрактора на угол 360°.

Стрела и рама кабины снабжены несколькими системами роликов, которые предназначены для поддержания и направления кабеля по всей системе канализации его на тракторе. Конструкции этих роликов полностью исключают возможность механического повреждения изоляции кабеля.

В кабине водителя смонтирован электрический щиток, пусковая аппаратура, сосредоточено все управление электротрактором и установлена нужная эксплуатационная сигнализация. Механизмы выключения муфты сцепления, управления коробкой передач и рычагов управления претерпели небольшое конструктивное изменение, но техника управления ими осталась такой же, как на тепловом тракторе.

Устройством несложного капота и кожуха на электротракторе созданы надлежащие условия для защиты кабеля от теплового воздействия солнца и придана трактору конструктивная завершенность в целом.

В целях избежания вредного закручивания кабеля, возникающего при поворотах электро-

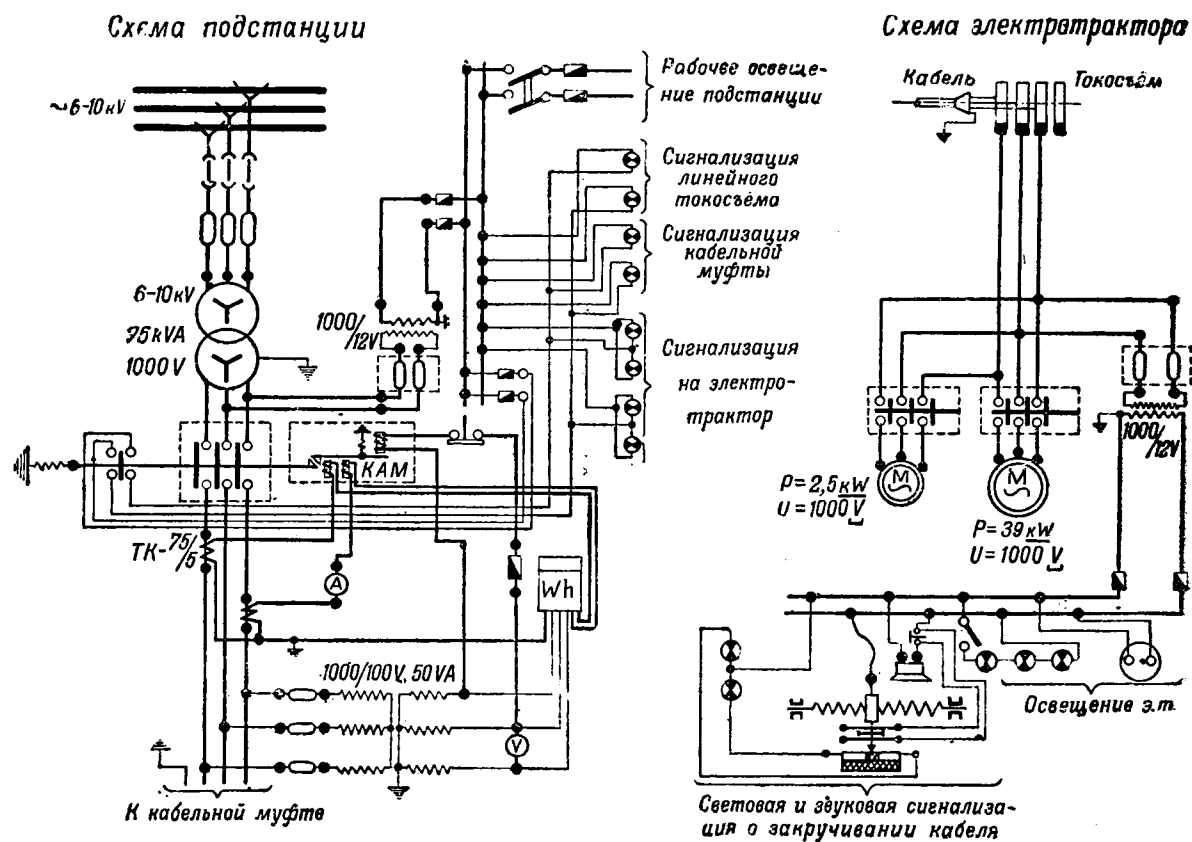


Рис. 2. Схема коммутации электротрактора.

электротракторную обработку 40% протяженности линий электропередач 6—10 kV, ныне эксплуатируемых в сельскохозяйственных районах, возможно будет обработать площадь до 600 000 га, что в переводе на условную пахоту составит свыше 1 500 000 га. Для выполнения такого объема работ потребовалось бы выпустить до

2 000 шт. электротракторов ВИМЭ-4-1000. Это мероприятие позволит ежегодно сэкономить свыше 24 000 т жидкого топлива, не считая дополнительного высвобождения живого тягла, рабочей силы и максимального сокращения расходов по ремонту тракторного парка.



О рациональном распределении проводникового металла и потерь энергии в звеньях электрической системы*

Кандидат техн. наук, доц. В. Г. ХОЛМСКИЙ

Кизский политехнический институт

В настоящее время в СССР уделяется большое внимание вопросу о рациональном распределении цветного металла и потерь энергии в отдельных звеньях электрической системы. Последнюю надлежит рассматривать как одно целое. Практиковавшиеся до сих пор частные решения для отдельных звеньев (генераторы, сети, двигатели и т. д.) наряду со стремлением создавать машины и аппараты минимального веса приводили зачастую, как показывают рас-

четы, к увеличенным потерям энергии и перерасходу металла. Представляет интерес установление общих закономерностей, характеризующих рациональное распределение металла и потерь энергии во всей электрической системе.

Рассмотрим два звена электрической системы, произвольно связанные между собой и работающие при разных номинальных напряжениях. Примем обозначения: P_1 и P_2 — полные мощности (в kVA), передаваемые по звеньям; U_1 и U_2 — номинальные напряжения звеньев (в kV); τ_1 и τ_2 — время потерь для каждого звена (в ч); l_1 и l_2 — длины звеньев (в км); s_1 и s_2 —

* К обсуждению статей по проблеме расхода металла и снижению потерь электроэнергии (Электричество, № 6, 1946). Редакция.

сечения проводов (в mm^2); ρ_1 и ρ_2 — удельные сопротивления металла звеньев (в $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{km}}$). С учетом соотношения $U_1 = kU_2$ выражения для годовых потерь энергии в звеньях (в kWh) принимают вид:

$$\Delta A_1 = \frac{P_1^2 l_1 \tau_1 \gamma_1}{k^2 U_2^2 s_1} 10^{-3}, \quad \Delta A_2 = \frac{P_2^2 l_2 \rho_2 \tau_2}{U_2^2 s_2} 10^{-3}.$$

Суммарная потеря энергии

$$\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2. \quad (1)$$

Стоимости металла звеньев, выраженные через потерю энергии в первом звене:

$$C_1 = \frac{P_1^2 l_1^3 \rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1}{k^2 U_2^2 \Delta A_1} 10^{-3}; \quad C_2 = \frac{P_2^2 l_2^3 \rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2}{U_2^2 (\Delta A - \Delta A_1)} 10^{-3}.$$

Здесь γ_1 и γ_2 — удельные веса проводниковых материалов звеньев; w_1 и w_2 — стоимости проводниковых материалов за 1 kg:

Суммарная стоимость металла $C = C_1 + C_2$. Оптимальное распределение потерь в звеньях при неизменных общих потерях соответствует уравнению $\frac{\partial C}{\partial (\Delta A_1)} = 0$, откуда

$$\frac{\Delta A_1}{\Delta A_2} = \frac{P_1 l_1 \sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1}}{k P_2 l_2 \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2}}. \quad (2)$$

С учетом (1) и (2)

$$\left. \begin{aligned} \Delta A_1 &= \frac{\Delta A P_1 l_1 \sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1}}{P_1 l_1 \sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1} + k P_2 l_2 \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2}}, \\ \Delta A_2 &= \frac{\Delta A k P_2 l_2 \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2}}{P_1 l_1 \sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1} + k P_2 l_2 \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Затраты на металл в звеньях находятся в отношении, обратном (2). Суммарные затраты при этом составляют:

$$C = \frac{[P_1 l_1 \sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1} + k P_2 l_2 \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2}]^2}{k^2 U_2^2 \Delta A} 10^{-3}. \quad (4)$$

В некоторых случаях желательно учитывать потери не в kWh, а в денежном выражении. Тогда, исходя из заданной общей стоимости потерь D , легко получить выражения, аналогичные предыдущим. Так, например, для оптимального распределения потерь при цене энергии в каждом звене b_1 и b_2 , получим

$$\frac{\Delta A_1'}{\Delta A_2'} = \frac{P_1 l_1 \sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1 b_1}}{k P_2 l_2 \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2 b_2}}, \quad (5)$$

а для затрат на металл:

$$C' = \frac{[P_1 l_1 \sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_1 w_1 b_1} + k P_2 l_2 \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_2 w_2 b_2}]^2}{k^2 U_2^2 D} 10^{-3}. \quad (6)$$

Можно также получить выражения для определения оптимальных потерь в звеньях $\Delta A_1'$ и $\Delta A_2'$, общих потерь $\Delta A'$ и отдельных затрат C_1' и C_2' .

Аналогичный вывод показывает, что полученные ранее выражения справедливы и в том

случае, когда задана суммарная стоимость металла в звеньях, а отыскивается его распределение, удовлетворяющее условию минимума общих потерь энергии или стоимости энергии. Следовательно, можно утверждать, что эти выражения отражают общую закономерность рационального распределения металла и потерь энергии в звеньях электрической системы. Для практических расчетов и некоторых выводов удобно представить эти закономерности в виде зависимостей между плотностями потоков мощностей или токов в отдельных звеньях. Обозначим:

$$\frac{P_1}{s_1} = \sigma_1; \quad \frac{P_2}{s_2} = \sigma_2; \quad \frac{I_1}{s_1} = j_1; \quad \frac{I_2}{s_2} = j_2.$$

Из выражений (2) и (5) можно получить:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{k \sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_1 w_1}}{\sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_2 w_2}}, \quad (7)$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{k \sqrt{\rho_2 \tau_2 b_2 \gamma_1 w_1}}{\sqrt{\rho_1 \tau_1 b_1 \gamma_2 w_2}}, \quad (8)$$

$$\frac{j_1}{j_2} = \frac{\sqrt{\rho_2 \tau_2 \gamma_1 w_1}}{\sqrt{\rho_1 \tau_1 \gamma_2 w_2}}, \quad (9)$$

$$\frac{j_1}{j_2} = \frac{\sqrt{\rho_2 \tau_2 b_2 \gamma_1 w_1}}{\sqrt{\rho_1 \tau_1 b_1 \gamma_2 w_2}}. \quad (10)$$

Правые части выражений (7) и (9), а также (8) и (10) равны при $k=1$. Если оба звена выполнены из одного металла, то, согласно (7),

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{k \sqrt{\tau_2}}{\sqrt{\tau_1}}.$$

Возможно, однако, и такое положение, когда при одинаковом металле за счет точности и стоимости его обработки цены за единицу веса в разных звеньях будут различны (например, голый кабель для воздушной сети и фасонная обмотка для трансформатора). В этом случае то же выражение будет:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{k \sqrt{\tau_2 w_1}}{\sqrt{\tau_1 w_2}}.$$

Наконец, если металл одинаков и $\tau_1 = \tau_2$, то

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = k, \quad j_1 = j_2.$$

Таким образом, например, участки сети, работающие с одинаковым числом часов потерь, должны рассчитываться на постоянную плотность тока даже и в том случае, если они работают при разных напряжениях и связаны через трансформаторы. Отношение плотностей потоков мощности при этом будет равно коэффициенту трансформации.

Полученные результаты могут быть сформулированы в следующей общей форме: для всех звеньев любой электрической системы должны быть соблюдены соотношения между плотностями токов вида:

$$\frac{j_n \sqrt{\rho_n \tau_n}}{\sqrt{\gamma_n w_n}} = \text{const}. \quad (11)$$

или

$$\frac{j_n V \sqrt{\rho_n \tau_n b_n}}{\sqrt{\gamma_n \omega_n}} = \text{const.} \quad (12)$$

Выводы. 1. При рациональном распределении металла и потерь энергии в электрической системе, соответствующем минимуму потерь энергии и затрат металла, плотности токов должны удовлетворять условиям (11) и (12).

2. Следует проанализировать под указанным углом зрения многие привычные решения в практике сооружения генераторов, трансформаторов и т. д. Возможное возрастание весов отдельных элементов системы с избытком окупится экономией по всей системе.

Нет сомнений, что в отдельных звеньях, учитывая специфику их работы, придется значительно отойти от оптимальных плотностей, но это должно быть обосновано именно как отклонение, а не как самодовлеющее решение.

3. Плотности тока, рекомендуемые техническим отделом МЭС для электрических сетей как экономические, следует уточнить, в частности в сторону более полного учета числа часов использования. В настоящее время для интервала от $\tau = 2500$ h до $\tau = 5000$ h рекомендуется одна и та же плотность тока. Можно показать, что в рационально спроектированной сети для этого случая отношение плотностей

должно быть порядка 1,5 — 1,6. Рекомендуемую плотность следует дать в виде функции от T или τ .

4. При разработке серий звеньев систем, например двигателей или сетевых трансформаторов, представляется целесообразным иметь на одну и ту же мощность два-три типа, выбор которых зависит от числа часов использования.

5. Плотности токов в звеньях разного напряжения при прочих равных условиях должны приниматься одинаковыми. При этом плотность потока мощности, а значит и эффективность использования металла в звене высшего напряжения будет в k раз больше. В этом случае действенным средством повышения эффективности использования металла в целом — максимальное сокращение длин звеньев низшего напряжения.

6. Весьма существенным является правильное определение исходной плотности тока, по которой можно пересчитать все остальные, пользуясь приведенными выражениями.

7. Желательно уточнение полученных выражений путем правильного определения цен обработанного цветного металла и введения коэффициентов, учитывающих расход свинца в кабелях, черного металла в машинах и т. д.

◇ ◇ ◇

Определение нестационарных явлений в сложной системе с помощью частотных характеристик

Кандидат техн. наук, доц. Б. Б. ШТЕЙН

Московский институт инженеров связи

Определение нестационарных явлений в сложных электрических системах при прохождении коротких импульсов встречает часто большие затруднения. В подобных случаях рационально проводить исследования нестационарных процессов с помощью частотных характеристик. Предлагаемый ниже метод позволяет определить, несколько приближенно, искажения импульсов любых форм.

Пусть на входе четырехполосника (или системы четырехполосников) действует напряжение $U_0(t)$. Допустим, что функция $U_0(t)$ удовлетворяет условию Дирихле и абсолютно интегрируема в промежутке $-\infty + \infty$. В этом случае $U_0(t)$ может быть представлено в виде интеграла Фурье:

$$U_0(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1)$$

где $F(\omega)$ есть частотный спектр функции $U_0(t)$. Обозначим через $\Phi(\omega)$ частотную характеристику системы:

$$\Phi(\omega) = \frac{U_n}{U_0} = |\Phi(\omega)| e^{j\theta(\omega)}, \quad (2)$$

где U_n — напряжение на выходе n -го четырехполосника; $|\Phi(\omega)|$ — частотно-амплитудная характеристика; $\theta(\omega)$ — частотно-фазовая характеристика.

Тогда, как известно, $U_n(t)$ может быть представлено в следующем виде:

$$U_n(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) \Phi(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (3)$$

Аналогично можно определить ток в оконечной нагрузке, если соответствующим образом представить частотную характеристику [Л. 1].

Аппроксимируя (2) рядом Фурье, т. е. принимая

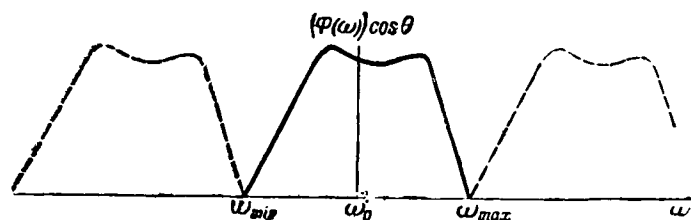
$$\Phi(\omega) = \sum_{k=-n}^{+n} A_k e^{ik\omega t_0},$$

можем переписать (3) в виде:

$$\begin{aligned} U_n(t) &= \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-n}^{+n} A_k \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{j\omega(t+kt_0)} d\omega = \\ &= \sum_{k=-n}^{+n} A_k U_0(t + kt_0). \end{aligned} \quad (4)$$

Определение напряжения на выходе системы сводится согласно (4) к суммированию импульсов, одинаковых по форме с импульсами приложенного напряжения $U_0(t)$, но различно амплитуде и фазе.

В системе с распределенными постоянными при наличии отражения от концов подобная интерпретация вполне согласуется с общими физическими представлениями об устанавливающемся процессе.



Обычно подсчитывают отдельно частотно-амплитудную характеристику $|\Phi(\omega)|$ и частотно-фазовую характеристику $\theta(\omega)$. Очевидно, что для получения выражения (4) необходимо аппроксимировать отдельно $|\Phi(\omega)| \cos \theta$ и $|\Phi(\omega)| \sin \theta$, т. е.:

$$\begin{aligned} \Phi(\omega) &= |\Phi(\omega)| \cos \theta + j |\Phi(\omega)| \sin \theta = \\ &= \sum_{k=-\infty}^{+\infty} P_k \cos k\omega t_0 + \sum_{k=-\infty}^{+\infty} q_k \sin k\omega t_0 + \\ &+ j \left[\sum_{k=-\infty}^{+\infty} P'_k \cos k\omega t_0 + \sum_{k=-\infty}^{+\infty} q'_k \sin k\omega t_0 \right], \end{aligned}$$

где

$$t_0 = \frac{2\pi}{\omega_{\max} - \omega_{\min}}.$$

С методом аппроксимации частотной характеристики рядом Фурье мы встречаемся в работе С. R. Berrows [Л. 2]. Однако, здесь отдельно аппроксимируется $|\Phi(\omega)|$ и $\theta(\omega)$, что приводит к более сложным выражениям с применением специальных функций. Для частотных характеристик, несимметрично расположенных в отношении средней частоты, расчет еще более усложняется.

Аппроксимирование в отдельности функции $|\Phi(\omega)| \cos \theta$ и $|\Phi(\omega)| \sin \theta$ имеет преимущество перед методом, описанным Berrows, в отношении простоты вычислений. Следует указать на некоторую приближенность, получающуюся при исследовании нестационарных процессов вышеуказанным путем. Интеграл Фурье рассматривает $U_0(t)$ в виде бесконечного сплошного спектра частот. Форма выходного напряжения зависит от прохождения всех слагаемых спектра. Однако, частотная характеристика $\Phi(\omega)$ обычно ограничена пределами ω_{\max} и ω_{\min} . Аппроксимированная функция фигурирует в интеграле Фурье в виде периодической функции от ω (см. рисунок). Это означает, что искажение импульсов за счет

непрохождения через систему слагаемых спектра частот напряжения выше ω_{\max} и ниже ω_{\min} не учитывается решением (4). Эта неточность, однако, невелика, если $\Phi(\omega)$ построена для диапазона частот с крайними значениями ω_{\max} и ω_{\min} , начиная от которых амплитуды слагаемых спектра частот напряжения резко убывают.

Ошибка особенно невелика в случае исследования нестационарных процессов при прохождении импульсов различной формы, но с наклонным фронтом.

Можно показать, что для импульса напряжения

$$U_0(t) = U_0 \sin \omega t \sin \Omega t \Big|_{t=0}^{t=T},$$

где $\Omega = 0,025 \omega_0$ и $T = \frac{\pi}{\Omega}$

отношение амплитуды составных колебаний спектра при $\omega = (1 \pm 0,2) \omega_0$ к амплитуде при $\omega = \omega_0$ (ω_0 — средняя угловая частота), составляет примерно 1%.

Естественно, что составные колебания порядка 1% от значения $|F(\omega)|_{\omega=\omega_0}$ не могут оказывать существенного влияния на нестационарные процессы в системе. В подобном случае вполне достаточно ограничиться частотной характеристикой в пределах $\omega_0 \pm 0,2\omega_0$ или даже $\omega_0 \pm 0,1\omega_0$ для определения нестационарных процессов в электрических системах.

При передаче прямоугольных импульсов частотная характеристика должна быть построена для более широкого интервала частот. Если же электрическая система такова, то ее частотная характеристика пересекает ось абсцисс для сравнительно узкой полосы, то для уменьшения ошибки в случае передачи прямоугольных импульсов необходимо первоначальную форму напряжения умножить на

$$\begin{aligned} &\frac{2}{\pi} \left[S_i \left(\frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{2} \right) t - \right. \\ &\left. - S_i \left(\frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{2} \right) (t - T) \right]_{t=T}^{t=0}, \end{aligned}$$

где T — продолжительность импульса. Это означает, что на вход системы как бы поступает уже искаженный сигнал.

Предложенный способ позволяет определить нестационарные процессы при прохождении импульсов любой формы, не подсчитывая заранее их частотный спектр. Что касается известной приближенности, то последняя для технических целей допустима.

Литература

1. Известия электропромышленности слабого тока №11, 1938, и №1, 1940.
2. S. R. Berrows Proceedings of the Inst. of Radio Eng. v. 27, № 6, 1939.



О проекте стандарта „Машины электрические. Терминология“

Инж. У. М. ЛИТВАКОВ

Министерство электропромышленности СССР

Необходимость в создании единой системы терминов, относящихся к основным понятиям из области электрических машин, очевидна. До последнего времени действовали два стандарта, в которых приведена терминология, относящаяся к электрическим машинам, а именно: ОСТ 3886 «Электрические машины. Номенклатура и классификация»¹ и ГОСТ 2108-43 «Машины электрические. Номенклатура узлов и деталей». Кроме того, в основном стандарте на электрические машины (ГОСТ 183-41) приведены определения ряда терминов, относящихся к характеристикам электрических машин (определения режимов, моментов и некоторые другие).

Терминология, относящаяся к определениям разновидностей электрических машин, приведена в ОСТ 3886, причем этот стандарт, утвержденный еще в 1931 г. и содержащий лишь 39 терминов, охватывающих только лишь часть известных разновидностей электрических машин и их совокупностей, давно устарел и не отвечает современным требованиям.

В 1940 г. проф. В. А. Толвинским по поручению завода «Электросила» им. С. М. Кирова был разработан проект стандарта «Наименования и определения электрических машин», который должен был заменить ОСТ 3886. Однако, эта работа не была обсуждена и не получила завершения в связи с начавшейся войной.

В 1940—1941 гг. Комитетом технической терминологии Академии наук СССР также была разработана и выпущена для широкого обсуждения работа по терминологии электрических машин.

В этой работе приведены термины, относящиеся к основным и специальным электрическим машинам, к основным частям электрических машин, расчетным величинам и коммутации (всего 114 терминов). Часть этой работы, относящаяся к терминологии основных и специальных электрических машин, также, по сути дела, должна была заменить ОСТ 3886. Однако и эта работа до сего времени не завершена.

Публикуемый в настоящем номере проект стандарта на терминологию электрических ма-

шин составлен электромашиностроительным заводом им. Калинина по заданию Министерства электропромышленности СССР. Проект составлен специально выделенной заводом комиссией под руководством проф. Р. А. Лютера на основании материалов, представленных проф. В. А. Толвинским.

Основная цель, поставленная перед авторами проекта, может быть кратко сформулирована следующим образом: дать унифицированную терминологию, охватывающую, по возможности, все практические разновидности электрических машин и базирующуюся на определенной, заранее разработанной, теоретической схеме. При этом должны быть использованы, по возможности, существующие термины. В тех же случаях, когда таких терминов нет или они слишком громоздки, должны быть составлены новые возможно краткие термины, четко отображающие характерные признаки определяемого понятия.

При подготовке проекта учтены отзывы ряда организаций, приславших свои замечания по первоначальной редакции проекта. Редакция проекта, представленная Министерством электропромышленности, в переработанном виде утверждена ВКС. В первоначальную редакцию проекта был включен перечень наименований практических разновидностей электрических машин и их совокупностей (свыше 100 кратко сформулированных наименований). Этот перечень желательно сохранить в виде приложения к основному тексту стандарта.

Проект, содержащий 76 основных терминов, охватывает наиболее распространенные разновидности электрических машин и их совокупностей.

Рядом организаций, приславших свои замечания по проекту, отмечалось, что авторы в основном справились с поставленной перед ними задачей и что данный проект после его широкого обсуждения и утверждения в качестве Государственного общесоюзного стандарта сможет явиться базой, на основе которой будет строиться дальнейшая работа по установлению единой терминологии электрических машин.

¹ Отменен ВКС с 1 марта 1946 г.

Проект стандарта „Машины электрические. Терминология“

Постановлением Всесоюзного комитета стандартов (ВКС) от 30 декабря 1945 г. за № 5689 принят в качестве проекта представленный Министерством электропромышленности проект стандарта на терминологию электрических машин. После широкого обсуждения данный проект намечается к утверждению в качестве рекомендуемого стандарта. Срок представления в ВКС отзывов по проекту истекает 1 июля 1947 г. Учитывая важность и актуальность установления единой системы основных терминов по электрическим машинам и необходимость тщательного отбора и четкой формулировки терминов, редакция публикует с разрешения ВКС при Совете Министров СССР проект данного стандарта с тем, чтобы получить отклики и замечания по проекту от широкого круга организаций и отдельных специалистов, работающих в области электрических машин.

СССР Всесоюзный Комитет Стандартов при Совете Министров СССР	ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	Проект ГОСТ
	Машины электрические. Терминология	Взамен ОСТ 3886
		Электротехника Е43

Настоящий проект стандарта намечается к утверждению в качестве рекомендуемого. Отзывы по проекту стандарта должны быть представлены во Всесоюзный комитет стандартов при Совете Министров СССР (Москва, Тверской бульвар, 18) не позднее 1 июля 1947 г.

Настоящий стандарт устанавливает терминологию электрических машин, выполненных на принципе электромагнитной индукции с вращательным движением, а также совокупностей таких машин (электрогенераторные агрегаты, электромашинные агрегаты, каскадные соединения электрических машин).

Стандарт предназначен для применения в технических документах, учебниках, справочниках и пособиях.

В графе «Термин» помещены термины, рекомендуемые (основные) для определяемого понятия. Наравне с ними допускается применение параллельных терминов, а в тех случаях, когда по контексту исключена возможность недоразумений, также сокращенных терминов*.

Основные термины указаны прописными буквами,¹ па-

раллельные—строчными, сокращенные—строчными, заключенными в скобки, например: основной термин—«ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ ГЕНЕРАТОР», параллельный—«Электрический генератор», сокращенный — («Генератор»).

Термины каждого подраздела имеют свою порядковую нумерацию, а для того, чтобы в стандарте не было двух терминов с одинаковыми номерами, перед номером термина, отделяясь от него черточкой, стоит номер подраздела настоящего стандарта (например 2-01), причем нумерация подразделов в стандарте сквозная.

Некоторые добавочные термины, уточняющие основной термин, введены в примечания.

Для облегчения нахождения нужного термина к стандарту приложен алфавитный указатель терминов.

№ по пор.	Термин	Определение термина
-----------	--------	---------------------

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ (ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ)

1-01 электрическая машина (Электромашинная)	Энергопреобразовательный механизм с вращательным движением (вращательная пара), выполненный на принципе электромагнитной индукции и предназначенный: а) либо для преобразования механической энергии в электрическую;
--	--

№ по пор.	Термин	Определение термина
-----------	--------	---------------------

б) либо для преобразования электрической энергии в механическую;

в) либо для преобразования электрической энергии одной системы в электрическую энергию другой системы;

г) либо для регулирования режимов работы внешней электрической цепи, присоединенной к машине

Внесен Министерством электропромышленности СССР

Утвержден Всесоюзным комитетом Стандартов, как проект
30 декабря 1945 г.

¹ В журнале основные термины напечатаны полужирным шрифтом.

Прим. Редакции.

№ по пор.	Термин	Определение термина	№ по пор.	Термин	Определение термина
1-02	нормальная электрическая машина	Электрическая машина, выполненная в соответствии с требованиями действующего в момент ее изготовления стандарта и предназначенная для широкого промышленного применения, т. е. выполненная без учета каких-либо специальных требований	2-06	электрома- шинный ком- пенсатор Электрический компенсатор (Компенсатор)	Электрическая машина, предназна- ченная для генерирования или по- требления реактивной электрической мощности в той электрической цепи, к которой она присоединена
1-03	специализи- рованная элек- трическая ма- шина	Электрическая машина, выпол- ненная для какой-либо отрасли про- мышленности или для какой-либо области применения, в соответствии с требованиями действующего в мо- мент изготовления электрической ма- шины стандарта для таких машин, но без учета требований, выходящих за рамки стандарта (специальных техни- ческих условий) Примеры специализированных ма- шин: а) для определенных отраслей промышленности: текстильный элек- трический двигатель, металлургиче- ский электрический двигатель; б) для отдельных областей при- менения: крановый электрический двигатель, трамвайный электрический двигатель, прокатный электрический двигатель, сварочный электрический генератор	2-67	электрома- шинный возбу- дитель Электрический возбудитель (Возбудитель)	Электрическая машина, предна- значенная для возбуждения другой электрической машины, т. е. для соз- дания в ней магнитного потока, не- обходимого для осуществления энер- гопреобразовательного процесса на принципе электромагнитной индукции
1-04	специальная электрическая машина	Электрическая машина, выпол- ненная по специальным техническим условиям. Примеры специальных машин: вер- тикальные двигатели для привода центрофуг, подвесных насосов и т. п., двигатели для врубных машин, ма- шины для специальных лабораторных установок.	3. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА		
2. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО НАЗНАЧЕНИЮ			3-01	электриче- ская машина постоянного то- ка (Машина постоян- ного тока)	Электрическая машина, у кото- рой электрическая энергия, участву- ющая в энергопреобразовательном процессе, является при установив- шемся режиме работы энергией по- стоянного тока
2-01	электрома- шинный генера- тор Электрический ге- нератор (Генератор)	Электрическая машина, предна- значенная для преобразования меха- нической энергии в электрическую	3-02	электриче- ская машина переменного тока (Машина перемен- ного тока)	Электрическая машина, у кото- рой электрическая энергия, участву- ющая в энергопреобразовательном процессе, является при установив- шемся режиме работы энергией пе- ременного тока
2-02	электриче- ский двигатель Электродвигатель (Двигатель)	Электрическая машина, предна- значенная для преобразования элек- трической энергии в механическую	3-03	однофазная электрическая машина (Однофазная ма- шина)	Электрическая машина перемен- ного тока, у которой переменный ток однофазный
2-03	электрома- шинный преоб- разователь Электрический преобразователь (Преобразователь)	Электрическая машина, предна- значенная для преобразования элек- трической энергии одной системы в электрическую энергию другой си- стемы, либо той же системы, но с изменением какого-либо характери- зующего систему признака	3-04	многофазная электрическая машина (Многофазная ма- шина)	Электрическая машина перемен- ного тока, у которой переменный ток многофазный
2-04	электрома- шинный бустер Электрический бустер (Бустер)	Электрическая машина, предна- значенная для изменения напряжения той электрической цепи, к которой она присоединена	3-05	трехфазная электрическая машина (Трехфазная ма- шина)	Многофазная электрическая ма- шина, у которой переменный ток трехфазный
2-05	электрома- шинный уравни- тель Электрический уравнитель (Уравнитель)	Электрическая машина, предна- значенная для выравнивания нагрузок в плечах многопроводной электриче- ской сети	3-06	универсаль- ная электриче- ская машина	Электрическая машина, выпол- ненная для работы генератором или двигателем на постоянном и пере- менном токе и предназначенная для присоединения к сети постоянного и к сети переменного тока либо одно- временно, либо разновременно
4. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА			4-01	коллекторная электрическая машина посто- янного тока (Коллекторная ма- шина постоян- ного тока)	Электрическая машина постоян- ного тока, основанная на принципе биполярной индукции (в активных проводниках якоря индуктируется э. д. с., переменная по направлению, выпрямляемая при помощи коллекто- ра)
			4-02	униполярная электрическая машина посто- янного тока (Униполярная ма- шина постоян- ного тока)	Электрическая машина постоян- ного тока, основанная на принципе униполярной индукции (в активных проводниках якоря индуктируется э. д. с., постоянная по направлению)

№ по пер.	Термин	Определение термина	№ по пер.	Термин	Определение термина
4-03	коллекторная динамоэлектрическая машина постоянного тока	Коллекторная электрическая машина постоянного тока, возбуждаемая электромагнитами постоянного тока	5-04	коллекторная асинхронная электрическая машина переменного тока	Асинхронная электрическая машина переменного тока, у которой благодаря наличию коллектора скорость вращения не зависит от частоты переменного электрического тока, участвующего в энергопреобразовательном процессе
	Коллекторная динамомашина постоянного тока (Машина постоянного тока)			(Коллекторная машина переменного тока)	
4-04	коллекторная магнитоэлектрическая машина постоянного тока	Коллекторная электрическая машина постоянного тока, возбуждаемая постоянными магнитами	5-05	синхронная электрическая машина одиночного питания	Синхронная электрическая машина переменного тока, у которой электрическая энергия, участвующая в энергопреобразовательном процессе (рабочая энергия), подводится только к одной из ее частей, составляющих вращательную пару
	Коллекторная машина постоянного тока с постоянными магнитами			(Синхронная машина одиночного питания)	
4-05	униполярная динамоэлектрическая машина постоянного тока	Униполярная электрическая машина постоянного тока, возбуждаемая электромагнитами постоянного тока	5-06	синхронная электрическая машина двойного питания	Синхронная электрическая машина переменного тока, у которой рабочая электрическая энергия подводится к обеим ее частям, составляющим вращательную пару
	Униполярная динамомашина постоянного тока (Униполярная машина постоянного тока)			(Синхронная машина двойного питания)	
4-06	униполярная магнитоэлектрическая машина постоянного тока	Униполярная электрическая машина постоянного тока, возбуждаемая постоянными магнитами	5-07	синхронная динамоэлектрическая машина	Синхронная электрическая машина одиночного питания, возбуждаемая электромагнитами постоянного тока
	Униполярная машина постоянного тока с постоянными магнитами			(Синхронная машина)	
5. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА			5-08	синхронная магнитоэлектрическая машина	Синхронная электрическая машина одиночного питания, возбуждаемая постоянными магнитами
5-01	синхронная электрическая машина переменного тока	Электрическая машина переменного тока, у которой скорость вращения жестко связана точно пропорциональной зависимостью с частотой переменного электрического тока, участвующего в энергопреобразовательном процессе (вращение происходит точно в такт частоте, т. е. синхронно)		Синхронная машина с постоянными магнитами	
	(Синхронная машина)		5-09	реактивная синхронная электрическая машина	Синхронная электрическая машина одиночного питания, возбуждение которой происходит за счет реактивной составляющей тока якоря
				(Реактивная синхронная машина)	
5-02	асинхронная электрическая машина переменного тока	Электрическая машина переменного тока, у которой скорость вращения не связана точно пропорциональной зависимостью с частотой переменного электрического тока, участвующего в энергопреобразовательном процессе (вращение происходит не в такт частоте, т. е. асинхронно)	5-10	короткозамкнутая асинхронная электрическая машина	Асинхронная электрическая машина переменного тока, выполненная с короткозамкнутой обмоткой ротора
	(Асинхронная машина)			(Короткозамкнутая асинхронная машина)	
5-03	бесколлекторная асинхронная электрическая машина переменного тока	Асинхронная электрическая машина переменного тока, у которой вследствие отсутствия коллектора энергопреобразовательный процесс возможен только при несинхронном вращении	5-11	асинхронная электрическая машина с контактными кольцами	Асинхронная электрическая машина переменного тока, выполненная с ротором, у которого обмотка выведена на контактные кольца
	(Асинхронная машина)			(Асинхронная машина с контактными кольцами)	

№ по пор.	Термин	Определение термина
-----------	--------	---------------------

6. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО ОСНОВНЫМ КОНСТРУКТИВНЫМ ПРИЗНАКАМ

а) Виды машин по расположению оси вращения в пространстве

6-01 горизонтальная электрическая машина	Электрическая машина, выполненная с горизонтальным расположением оси вращения в пространстве
6-02 вертикальная электрическая машина	Электрическая машина, выполненная с вертикальным расположением оси вращения в пространстве

б) Виды машин по взаиморасположению статора и ротора

6-03 внутриворотная электрическая машина	Электрическая машина, выполненная с внешним статором и внутренним ротором
6-04 внешнероторная электрическая машина	Электрическая машина, выполненная с внешним ротором

в) Виды машин по кинематическим признакам

6-05 электрическая машина одиночного вращения	Электрическая машина, у которой одна из рабочих частей, составляющих вращательную пару, неподвижна, а другая совершает вращательное движение
6-06 электрическая машина двойного вращения	Электрическая машина, у которой обе рабочие части, составляющие вращательную пару, совершают вращательное движение не только относительно друг друга, но и относительно конструктивной основы, определяющей неизменное положение геометрической оси вращательной пары в пространстве

7. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО СПОСОБАМ ЗАЩИТЫ

7-01 открытая электрическая машина	Электрическая машина, выполненная без специальных приспособлений для предохранения от случайного прикосновения к вращающимся и к токоведущим частям, а также не имеющая специальных приспособлений для предотвращения попадания внутрь машины посторонних предметов
7-02 закрытая электрическая машина	Электрическая машина, у которой внутреннее пространство отделено от внешней среды, но не настолько плотно, чтобы машину можно было считать герметической.
7-03 защищенная электрическая машина	Электрическая машина, снабженная специальными приспособлениями для предохранения от случайного прикосновения к ее вращающимся и токоведущим частям, а также для предотвращения попадания внутрь машины посторонних предметов

№ по пор.	Термин	Определение термина
-----------	--------	---------------------

7-04 каплезащищенная электрическая машина

Защищенная электрическая машина, снабженная приспособлениями для предохранения ее внутренних частей от попадания капель влаги, падающих отвесно

7-05 брызгозащищенная электрическая машина

Защищенная электрическая машина, снабженная приспособлениями для предохранения от попадания внутрь ее водяных брызг, падающих под углом до 45° к вертикали с любой стороны

7-06 водозащищенная электрическая машина

Защищенная электрическая машина, выполненная таким образом, что при обливании ее водой из брандспойта при определенных условиях вода не проникает внутрь машины

7-07 взрывобезопасная электрическая машина

Закрытая электрическая машина, выполненная таким образом, что она может противостоять взрыву внутри ее газов, которые могут там накопиться, и не допускает воспламенения взрывчатых или горючих газов, содержащихся в окружающей среде при искрении или взрыве внутри электрической машины

7-08 герметическая электрическая машина

Закрытая электрическая машина, у которой все отверстия закрыты настолько плотно, что при определенном наружном давлении исключается всякое сообщение между внутренним пространством машины и газовой средой или жидкостью, окружающей машину извне

7-09 газонаполненная электрическая машина

Герметическая электрическая машина, внутреннее свободное пространство которой заполнено соответствующим газом, имеющим давление большее, чем газовая среда или жидкость, окружающая машину извне

7-10 электрическая машина с защитными кольцами

Открытая или защищенная электрическая машина, выполненная со специальными приспособлениями, закрывающими контактные кольца ротора

Примечание. Специальная защита колец может быть охарактеризована следующими дополняющими термин 7-10 терминологическими элементами к слову „кольцами“: „закрытыми“, „закрытыми продуваемыми“, „герметическими закрытыми“, „закрытыми с подводом воздуха повышенного давления“, „закрытыми взрывобезопасно“.

8. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО СПОСОБАМ ОХЛАЖДЕНИЯ

8-01 естественно охлаждаемая электрическая машина	Электрическая машина, не имеющая приспособлений для усиления ее охлаждения
8-02 вентилируемая электрическая машина	Электрическая машина, снабженная приспособлениями для усиления ее охлаждения
8-03 электрическая машина с самовентиляцией	Вентилируемая электрическая машина с вентилирующими приспособлениями на ее вращающейся части
Самовентилируемая электрическая машина	

№ по пор.	Термин	Определение термина
8-04	электрическая машина с независимой вентиляцией Независимо вентилируемая электрическая машина	Вентилируемая электрическая машина, с вентиляционными устройствами, не связанными с вращающейся частью машины
8-05	продуваемая электрическая машина	Вентилируемая электрическая машина, снабженная для охлаждения вентиляционными устройствами, прогоняющими воздух через внутренние части машин. Примечание. „Продуваемая независимо вентилируемая электрическая машина“ может называться: „независимо продуваемая электрическая машина“
8-06	обдуваемая электрическая машина	Вентилируемая электрическая машина, снабженная для охлаждения вентиляционными устройствами, обдувающими наружные части машины Примечание. „Обдуваемая независимо вентилируемая электрическая машина“ может называться: „независимо обдуваемая электрическая машина“
8-07	электрическая машина с проточной вентиляцией	Продуваемая электрическая машина, вентиляция которой производится по открытому циклу, т. е. все время воздухом внешней среды
8-08	электрическая машина с замкнутой вентиляцией	Продуваемая электрическая машина, вентиляция которой производится все время одним и тем же объемом воздуха, который циркулирует по замкнутому циклу через внутренние части машины и специальные воздухоохладители
8-09	электрическая машина с водородным охлаждением	Электрическая машина с замкнутой вентиляцией, охлаждаемая водородом (вместо воздуха).
8-10	электрическая машина с водяным охлаждением	Электрическая машина, у которой в качестве непосредственно охлаждающей ее среды используется вода Примечание. Одновременно машина может иметь и охлаждение воздухом

II. СОВОКУПНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (АГРЕГАТЫ)

9. ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

9-01	электрогенераторный агрегат (Агрегат)	Совокупность соединенных между собой механически одной или нескольких электрических машин и первичного двигателя любого типа (теплого, гидравлического или ветрового), предназначенная для генерирования электрической энергии Примечание. Электрогенераторные агрегаты различаются в зависимости от того, какой первичный двигатель применяется в данном агрегате
------	---	---

№ по пор.	Термин	Определение термина
9-02	электромашиный агрегат (Агрегат)	Совокупность механически и электрически или только механически соединенных между собой двух или нескольких электрических машин, предназначенная для работы в одном из собственных электрической машины энергетических режимов Примечание. Совокупность электрической машины и механически соединенного с ней электрического возбудителя, или электрического бустера, или пускового двигателя называется „электрической машиной“, а не „электромашиным агрегатом“ Электромашинные агрегаты различаются в зависимости от того, для какой цели они предназначены: для выравнивания нагрузок в электрических сетях, для возбуждения электрических машин и т. д.
9-03	электромашиный каскад Каскадный агрегат (Каскад)	Совокупность двух или нескольких электрических машин, в которой электрическая энергия, подведенная к рабочей обмотке какой-либо из двух частей, составляющих вращательную пару одной из этих машин, частично передается индукционным путем обмотке другой части той же машины, где преобразуется в механическую энергию, а частично передается рабочей обмотке одной из двух частей, составляющих вращательную пару второй электрической машины, причем последняя может: а) либо целиком превращать получаемую электрическую энергию в механическую; б) либо аналогично первой машине передавать дальнейшей или дальнейшим машинам каскадного соединения

10. ВИДЫ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

10-01	электрический турбинный агрегат (Турбоагрегат)	Электрогенераторный агрегат, у которого первичным двигателем является турбина любого типа (паровая, газовая или гидравлическая). Примечание. В зависимости от системы тока входящего в агрегат электрического генератора следует пользоваться терминами: „турбоагрегат постоянного тока“, „трехфазный синхронный турбоагрегат“, „однофазный синхронный турбоагрегат“, „трехфазный асинхронный турбоагрегат“
10-02	электрический паротурбинный агрегат (Паротурбоагрегат)	Электрический турбинный агрегат, у которого первичным двигателем является паровая турбина. Примечания. 1. Генератор, входящий в этот агрегат, называется „электрический паротурбинный генератор“ или сокращенно: „турбогенератор“. 2. См. примечание к термину 10-01 с заменой терминологии „турбоагрегат“ термином „паротурбоагрегат“
10-03	электрический газотурбинный агрегат (Газотурбоагрегат)	Электрический турбинный агрегат, у которого первичным двигателем является газовая турбина Примечания: 1. Генератор, входящий в этот агрегат, называется „электрический газотурбинный генератор“ 2. См. примечание к термину 10-01 с заменой терминологии „турбоагрегат“ термином „газотурбоагрегат“

№ по пор.	Термин	Определение термина
10-04	электрический гидротурбинный агрегат (Гидроагрегат)	<p>Электрический турбинный агрегат, у которого первичным двигателем является гидравлическая турбина</p> <p>Примечания: 1. Генератор, входящий в этот агрегат, называется „электрический гидротурбинный генератор“ или сокращенно: „гидрогенератор“</p> <p>2. См. примечание к термину 10-01 с заменой терминологического „турбоагрегат“ терминологическим „гидроагрегат“</p>
10-05	электрический дизельный агрегат (Дизельагрегат)	<p>Электрогенераторный агрегат, у которого первичным двигателем является двигатель Дизеля.</p> <p>Примечания: 1. Генератор, входящий в этот агрегат, называется „электрический дизельный генератор“ или сокращенно: „дизельгенератор“</p> <p>2. См. примечание к термину 10-01 с заменой терминологического „турбоагрегат“ терминологическим „дизельагрегат“</p>
10-06	электрический паромашинный агрегат (Паромашинный агрегат)	<p>Электрогенераторный агрегат, у которого первичным двигателем является паровая машина (поршневая)</p> <p>Примечания: 1. Генератор, входящий в этот агрегат, называется „электрический паромашинный генератор“ или сокращенно: „паромашинный генератор“</p> <p>2. См. примечание к термину 10-01 с заменой терминологического „турбоагрегат“ терминологическим „паромашинный агрегат“</p>
10-07	электрический газодвигательный агрегат (Газодвигательный агрегат)	<p>Электрогенераторный агрегат, у которого первичным двигателем является газовый двигатель (поршневой)</p> <p>Примечания: 1. Генератор, входящий в этот агрегат, называется „электрический газодвигательный генератор“ или сокращенно: „газодвигательный генератор“</p> <p>2. См. примечание к термину 10-01 с заменой терминологического „турбоагрегат“ терминологическим „газодвигательный агрегат“</p>

№ по пор.	Термин	Определение термина
10-08	электрический ветродвигательный агрегат (Ветроагрегат)	<p>Электрогенераторный агрегат, у которого первичным двигателем является ветряной двигатель</p> <p>Примечания: 1. Генератор, входящий в этот агрегат, называется „электрический ветродвигательный генератор“ или сокращенно: „ветрогенератор“</p> <p>2. См. примечание к термину 10-01 с заменой терминологического „турбоагрегат“ терминологическим „ветроагрегат“</p>

11. ВИДЫ ЭЛЕКТРОМАШИНЫХ АГРЕГАТОВ

11-01	электроагрегат	Электроагрегат, предназначенный для выполнения электроагрегатной работы (для преобразования электрической энергии в механическую).
11-02	электропреобразовательный агрегат Электроагрегат	Электроагрегат, предназначенный для электропреобразования механической работы
11-03	электроуравнительный агрегат (Уравнительный агрегат)	Электроагрегат, предназначенный для выравнивания нагрузок в плечах многопроводной электрической сети
11-04	электровозбудительный агрегат (Возбудительный агрегат)	Электроагрегат, предназначенный для возбуждения одной или нескольких электрических машин
11-05	электробустерный агрегат (Бустерный агрегат)	Электроагрегат, предназначенный для изменения (повышения или понижения) напряжения той электрической цепи, к которой он присоединен

Алфавитный указатель терминов

Числа обозначают номера терминов.
Прописными буквами указаны основные термины; 1 строчными—параллельные; строчными, заключенными в скобки,—сокращенные.

Звездочкой у номеров отмечены дополнительные термины, встречающиеся в примечаниях.

Запятая, стоящая после некоторых слов, указывает на то, что при применении данного термина слова, стоящие после запятой, должны предшествовать словам, находящимся до запятой: например, термин „Агрегат, бустерный“ следует читать: „Бустерный агрегат“.

Термины, состоящие из двух имен существительных, помещены в алфавите соответственно слову, стоящему в именительном падеже.

А

(Агрегат)	9-01, 9-02
(Агрегат, бустерный)	11-05
(Агрегат, ветродвигательный)	10-08
(Агрегат, возбудительный)	11-04
(Агрегат, газодвигательный)	10-07
Агрегат, каскадный	9-03
Агрегат, однофазный синхронный газодвигательный	10-07*

* См. примечание на стр. 72. Редакция.

Агрегат, однофазный синхронный паромашинный	10-06*
(Агрегат, паромашинный)	10-06
Агрегат постоянного тока, газодвигательный	10-07*
Агрегат постоянного тока, паромашинный	10-06*
Агрегат, трехфазный асинхронный газодвигательный	10-07*
Агрегат, трехфазный асинхронный паромашинный	10-06*
Агрегат, трехфазный синхронный газодвигательный	10-07*
Агрегат, трехфазный синхронный паромашинный	10-06*
(Агрегат, уравнительный)	11-03
Агрегат, электрический ветродвигательный	10-03
Агрегат, электрический газодвигательный	10-07
Агрегат, электрический газотурбинный	10-08
Агрегат, электрический гидротурбинный	10-04
Агрегат, электрический дизельный	10-05
Агрегат, электрический паромашинный	10-06
Агрегат, электрический паротурбинный	10-02
Агрегат, электрический турбинный	10-01
Агрегат, электробустерный	11-05
Агрегат, электровозбудительный	11-04
Агрегат, электрогенераторный	9-01

Агрегат, электродвигательный	11-01
Агрегат, электромашинный	9-02
Агрегат, электропреобразовательный	11-02
Агрегат, электроуравнительный	11-03

Б

(Бустер)	2-04
Бустер, электрический	2-04
Бустер, электромашинный	2-04

В

Ветроагрегат, однофазный синхронный	10-08*
Ветроагрегат, постоянного тока	10-08*
Ветроагрегат, трехфазный асинхронный	10-08*
Ветроагрегат, трехфазный синхронный	10-08*
(Ветрогенератор)	10-08*
(Возбудитель)	2-07
Возбудитель, электрический	2-07
Возбудитель, электромашинный	2-07

Г

(Газотурбоагрегат)	10-03
Газотурбоагрегат, однофазный синхронный	10-03*
Газотурбоагрегат, постоянного тока	10-03*
Газотурбоагрегат, трехфазный асинхронный	10-03*
Газотурбоагрегат, трехфазный синхронный	10-03*
(Генератор)	2-01
(Генератор, газодвигательный)	10-07*
(Генератор, паромашинный)	10-06*
Генератор, электрический	2-01
Генератор, электрический ветродвигательный	10-08*
Генератор, электрический газодвигательный	10-07*
Генератор, электрический газотурбинный	10-03*
Генератор, электрический гидротурбинный	10-04*
Генератор, электрический дизельный	10-05*
Генератор, электрический паромашинный	10-06*
Генератор, электрический паротурбинный	10-02*
Генератор, электромашинный	2-01
(Гидроагрегат)	10-04
Гидроагрегат, однофазный синхронный	10-04*
Гидроагрегат постоянного тока	10-04*
Гидроагрегат, трехфазный асинхронный	10-04*
(Гидрогенератор)	10-04*

Д

Двигатель	2-02
(Двигатель-генератор)	11-02
Двигатель-генератор, электрический	11-02
Двигатель, электрический	2-02
(Дизельагрегат)	10-05
Дизельагрегат, однофазный синхронный	10-05*
Дизельагрегат постоянного тока	10-05*
Дизельагрегат, трехфазный асинхронный	10-05*
Дизельагрегат, трехфазный синхронный	10-05*
(Дизельгенератор)	10-05*
Динамомашинка постоянного тока, коллекторная	4-03
Динамомашинка постоянного тока, униполярная	4-05
Динамомашинка, синхронная	5-07

К

(Каскад)	9-03
Каскад, электромашинный	9-03
(Компенсатор)	2-06
Компенсатор, электрический	2-06
Компенсатор, электромашинный	2-06

М

(Машина, асинхронная)	5-02, 5-03
Машина, брызгозащищенная электрическая	7-05
Машина, вентилируемая электрическая	8-02
Машина, вертикальная электрическая	6-02
Машина, взрывобезопасная электрическая	7-07
Машина, внешнероторная электрическая	6-04
Машина, внутрироторная электрическая	6-03
Машина, водозащищенная электрическая	7-06
Машина, газонаполненная электрическая	7-09
Машина, герметическая электрическая	7-08
Машина, горизонтальная электрическая	6-01
Машина двойного вращения, электрическая	6-06
(Машина двойного питания, синхронная)	5-06
Машина двойного питания, синхронная электрическая	5-06
Машина, естественно-охлаждаемая электрическая	8-01
Машина, закрытая электрическая	7-02
Машина, защищенная электрическая	7-03
Машина, каплезащищенная электрическая	7-04
(Машина, короткозамкнутая асинхронная)	5-10
Машина, короткозамкнутая асинхронная электрическая	5-10
(Машина, многофазная)	3-04
Машина, многофазная электрическая	3-04
Машина, независимо вентилируемая электрическая	8-04
Машина, независимо обдуваемая электрическая	8-06*
Машина, независимо продуваемая электрическая	8-05*
Машина, нормальная электрическая	1-02
Машина, обдуваемая независимо вентилируемая электрическая	8-06*
Машина, обдуваемая электрическая	8-06
Машина одиночного вращения, электрическая	6-05
(Машина одиночного питания, синхронная)	5-05
Машина одиночного питания, синхронная электрическая	5-05
(Машина, однофазная)	3-03
Машина, однофазная электрическая	3-03
Машина, открытая электрическая	7-01
(Машина переменного тока)	3-02
Машина переменного тока, асинхронная электрическая	5-02
Машина переменного тока, бесколлекторная асинхронная электрическая	5-03
(Машина переменного тока, коллекторная)	5-04
Машина переменного тока, коллекторная асинхронная электрическая	5-04
Машина переменного тока, синхронная электрическая	5-01
Машина переменного тока, электрическая	3-02
(Машина постоянного тока)	3-01, 4-03
(Машина постоянного тока, коллекторная)	4-01
Машина постоянного тока, коллекторная динамоэлектрическая	4-03
Машина постоянного тока, коллекторная магнитоэлектрическая	4-04
Машина постоянного тока, коллекторная электрическая	4-01
Машина постоянного тока с постоянными магнитами, коллекторная	4-04
Машина постоянного тока с постоянными магнитами униполярная	4-06
(Машина постоянного тока, униполярная)	4-02, 4-05

Машина постоянного тока, униполярная динамоэлектрическая	4-05
Машина постоянного тока, униполярная магнитоэлектрическая	4-06
Машина постоянного тока, униполярная электрическая	4-02
Машина постоянного тока, электрическая	3-01
Машина, продуваемая независимо вентилируемая электрическая	8-05*
Машина, продуваемая электрическая	8-05
(Машина, реактивная синхронная)	5-09
Машина, реактивная синхронная электрическая	5-09
Машина с водородным охлаждением, электрическая	8-09
Машина с водяным охлаждением, электрическая	8-10
Машина с замкнутой вентиляцией, электрическая	8-08
Машина с защищенными кольцами герметически закрытыми, электрическая	7-10*
Машина с защищенными кольцами закрытыми взрывобезопасно, электрическая	7-10*
Машина с защищенными кольцами закрытыми продуваемыми, электрическая	7-10*
Машина с защищенными кольцами закрытыми с подводом воздуха повышенного давления, электрическая	7-10*
Машина с защищенными кольцами закрытыми, электрическая	7-10*
Машина с защищенными кольцами, электрическая	7-10
(Машина с контактными кольцами, асинхронная)	5-11
Машина с контактными кольцами, асинхронная электрическая	5-11
Машина с независимой вентиляцией, электрическая	8-04
Машина с постоянными магнитами, синхронная	5-08
Машина с проточной вентиляцией, электрическая	8-07

Машина с самовентиляцией, электрическая	8-03
Машина, самовентилируемая электрическая	8-03
(Машина, синхронная)	5-01, 5-07
Машина, синхронная динамоэлектрическая	5-07
Машина, синхронная магнитоэлектрическая	5-08
Машина специализированная электрическая	1-03
Машина, специальная электрическая	1-04
(Машина трехфазная)	3-05
Машина, трехфазная электрическая	3-05
Машина, универсальная электрическая	3-06
Машина, электрическая	1-01

П

(Паротурбоагрегат)	10-02
Паротурбоагрегат, однофазный синхронный	10-02*
Паротурбоагрегат постоянного тока	10-02*
Паротурбоагрегат, трехфазный асинхронный	10-0*
Паротурбоагрегат, трехфазный синхронный	10-02*
(Преобразователь)	2-03
Преобразователь, электрический	2-03
Преобразователь, электромашинный	2-03

Т

(Турбоагрегат)	10-01
Турбоагрегат, однофазный синхронный	10-01*
Турбоагрегат, постоянного тока	10-01*
Турбоагрегат трехфазный асинхронный	10-01*
Турбоагрегат, трехфазный синхронный	10-01*
(Турбогенератор)	10-02*

У

(Уравнитель)	2-05
Уравнитель, электрический	2-05
Уравнитель, электромашинный	2-05

Э

Электродвигатель	2-02
(Электромашина)	1-01



Сельская электрификация

В Министерстве земледелия СССР. В целях укрепления и усиления руководства делом электрификации сельского хозяйства Всесоюзная хозяйственная контора по монтажу и эксплуатации электрических установок реорганизована в Главное управление сельской электрификации Министерства земледелия СССР. Во всех республиках и областях Союза созданы тресты и конторы по сельской электрификации. При Главсельэлектро организована контора по типовому проектированию сельскохозяйственных электрических установок. В ближайшее время намечается создание треста по рационализации сельскохозяйственных электроустановок и организации их эксплуатации (Оргсельэлектро).

В Министерстве технических культур СССР. Для руководства делом электрификации в районах разведения технических культур создан отдел сельской электрификации.

Во Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. Ленина секция механизации сельского хозяйства реорганизована в секцию механизации и электрификации сельского хозяйства. В состав членов секции вошли многие руководящие научные работники по сельской электрификации. При секции организована постоянная комиссия по научным проблемам электрификации сельского хозяйства.

Учебный фильм по мелким гидроэлектростанциям. С целью популяризации передового опыта по строительству мелких гидроэлектростанций в сельском хозяйстве в настоящее время готовится специальный учебный фильм.

В Московском доме ученых. В Московском доме ученых начала работать вновь организованная секция по сельской электрификации. В плане работ секции на текущий год намечена организация ряда докладов на наиболее актуальные темы по электрификации сельского хозяйства СССР и за границей для научно-технической общественности.

Передовые тресты по сельской электрификации. ВЦСПС и Министерство земледелия СССР, рассмотрев итоги Всесоюзного социалистического соревнования предприятий и организаций по сельской электрификации за 1945 г. признал победителями в соревновании следующие тресты Сельэлектро и решили:

1. Оставить переходящее Красное Знамя ВЦСПС и Министерства земледелия СССР с выдачей первых денежных премий за Молотовским и Свердловским трестами Сельэлектро.

Вручить переходящее Красное Знамя ВЦСПС и Министерства земледелия СССР с выдачей первых денежных премий Украинскому и Горьковскому Сельэлектро.

2. Выдать вторые денежные премии Ярославскому тресту и Удмуртской конторе Сельэлектро.

3. Выдать третью премию Ленинградскому тресту Сельэлектро.

В Свердловской области за 1945 г. было электрифицировано 1 007 колхозов и все 38 МТС, имеющиеся в области. В течение года было построено 116 мелких гидроэлектростанций, 340 тепловых станций и большое число

подстанций от крупных электрических станций на общую мощность 8 870 kW. Три района—Манчажский, Егоршинский и Верх-Пышминский стали районами сплошной электрификации сельского хозяйства. Организации области взяли на себя обязательство осуществить электрификацию остальных 50% всех колхозов области и тем самым сделать Свердловскую область первой, областью сплошной электрификации.

В Азербайджанской ССР, располагающей исключительными возможностями для сельской электрификации в виде тысяч горных рек и множества перепадов на оросительных каналах, которые могут быть использованы в качестве дешевых источников электроэнергии, в 1946 г. построены 62 малых гидроэлектростанций.

В Московской области в настоящее время работают 60 сельскохозяйственных электростанций. В 1946 г. строятся 100 новых гидроэлектростанций. Кроме того, более 300 колхозов и 14 МТС будут присоединены к существующим электрическим сетям Мосэнерго.

В Эстонской ССР до войны существовало 216 кооперативных электрических товариществ, которые обслуживали 11 тыс. электрифицированных крестьянских хозяйств. Немцы разрушили многие электростанции, вывели из строя сотни километров воздушных электрических линий и вывезли лучшее электрооборудование в Германию. В настоящее время все электрическое хозяйство восстанавливается. В Таллине приступил к работе вновь организованный трест Эстонсельэлектро. К концу 1946 г. вступят в эксплуатацию: 41 гидроэлектростанция, 32 тепловых электростанции и 25 трансформаторных подстанций от крупных электрических сетей. На работы по сельской электрификации правительством республики отпущено 18 млн. руб.

В Винницкой области (Украинская ССР) в работу по осуществлению широкой электрификации сельского хозяйства включились сотни промышленных предприятий области. Железнодорожники Винницкой железной дороги помогают строить 20 сельских электростанций, работники сахарной промышленности взяли шефство над строительством 35 колхозных гидроэлектростанций, работники спиртозаводов обязались помочь в строительстве 15 колхозных гидроэлектростанций, связисты области готовят оборудование и материалы для 10 мелких электростанций и т. д.

В Ивановской области в трудных условиях военного времени было электрифицировано 20 колхозов и для этой цели построено 10 гидроэлектростанций. В 1946 г. развернулось строительство более 100 мелких гидроэлектростанций, которые позволят дать электрическую энергию 300 колхозам области.

Для сплошной электрификации сельского хозяйства области потребуется мощность в 30 тыс. kW, причем эта мощность покрывается мелкими гидроэлектростанциями в размере 9 тыс. kW, тепловыми электростанциями на местном топливе в размере 5 тыс. kW и подстанциями от сетей Ивэнерго в размере 16 тыс. kW.

Широкой известностью в области пользуется сельская гидроэлектростанция на р. Молохте, открытие которой

состоялось в суровые февральские дни 1942 г. От гэс освещены 25 общественных и хозяйственных помещений колхозов (школы, лечебницы, сельсовет, радиоузел и др.) и 115 домов колхозников. Электроэнергия от гэс приводит в движение 6 молотилок, 2 насосные установки, мельницу и лесопилку. За один год станция выработала 74 тыс. кВт электроэнергии, из которых 52 тыс. кВт были израсходованы на молотьбу и освещение и около 20 тыс. кВт на мельницу и лесопилку.

В автономной республике Коми в 1946 г. строится 22 сельских электростанций. Из них 14 гидроэлектростанций и 8 тепловых электростанций. 53 колхоза республики и 11 МТС получают в текущем году электроэнергию.

В Ярославской области за 1945 г. было построено и пущено в эксплуатацию 24 гидроэлектростанции мощностью 565 кВт и 7 тепловых электростанций на общую мощность 120 кВт. Электроэнергию получили от колхозных

электростанций и от сетей Ярэнерго 78 колхозов с 165 населенными пунктами. За один год было электрифицировано 5 МТС, 73 молотильных пункта, 31 мельница, 569 животноводческих помещений, 44 школы, 43 клуба, 27 больниц, 49 детских площадок и яслей, 65 колхозных контор и около 7 000 домов колхозников.

В Тамбовской области в текущем году строится 21 колхозная гидроэлектростанция. Для этих станций генераторы выпускает Тамбовский завод «Ревтруд».

В Челябинской области развернулись большие работы по сельской электрификации от существующих электросетей высокого напряжения Челябинэнерго. Для обслуживания сельских потребителей в текущем году будет построено 1 380 км линий электропередачи напряжением 10 кВ и 270 трансформаторных подстанций. Кроме того, строятся 70 мелких гидроэлектростанций. Все это дает возможность электрифицировать в 1946 г. 10 районных центров, 53 МТС, 27 совхозов и 780 колхозов.



Всесоюзный конкурс 1945 г. на лучшее предложение по экономии электрической и тепловой энергии

Закончился Всесоюзный конкурс на лучшее предложение по экономии электрической и тепловой энергии, объявленный Госинспекцией по промэнергетике и энергонадзору при МЭС СССР на основании Постановления ГОКО от 31 мая 1945 г.

К организации и проведению конкурса было привлечено Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетики (ВНИТОЭ). Были приняты меры к широкой информации и популяризации конкурса: свыше 300 000 плакатов и проспектов с условиями конкурса были разосланы предприятиям и учреждениям; многочисленные публикации и статьи о конкурсе были помещены в центральных и местных газетах и технических журналах. Подробные информации об организации и ходе конкурса были сделаны также на собраниях и конференциях отделений, секций и низовых организаций ВНИТОЭ, а также на общегородских и областных конференциях энергетиков, имевших место за период проведения конкурса в Москве, Ленинграде, Киеве, Ростове и/Дону, Калинин, Свердловске, Тбилиси и других городах. Энергосбыты совместно с областными отделениями ВНИТОЭ приняли активное участие в конкурсе. Некоторыми энергосбытами (например Ленэнерго) были разработаны специальные темники, содержавшие перечень наиболее актуальных вопросов по экономии энергии, над которыми рекомендовалось работать изобретателям и рационализаторам.

Прием предложений согласно условиям конкурса закончился 15 ноября 1945 г. Общее количество поступивших предложений достигло 1 077, среди которых большое количество — иногородних предложений. В качестве крайних точек, откуда были получены предложения, можно назвать: на востоке — Владивосток и Хабаровск; на западе — Ригу, Таллин, Львов; на юге — Сочи, Ереван, Фрунзе; на севере — Мурманск, Мончегорск и др.

Наряду с весьма подробно и тщательно обоснованными предложениями на конкурс поступили предложения на одном листе, содержащие только одну мысль или идею.

Самая юная участница конкурса, ученица 3-го класса Алма-Атинской средней школы № 52, Нина Славская прислала дельное предложение, заключающееся в автоматическом включении и выключении электронагревательных бытовых приборов при постановке и снятии с них нагреваемых предметов.

Все разделы энергетики так или иначе затронуты присланными предложениями. Большое количество предложений связано с рационализацией технологических процессов в самых разнообразных отраслях промышленности:

металлургической машиностроительной, химической, нефтяной, авиационной, текстильной, пищевой и др.

В утвержденных и опубликованных условиях конкурса была приведена основная тематика вопросов, подлежащих рассмотрению на конкурсе, а именно:

а) рационализация энергопотребления в технологических процессах производства различных отраслей промышленности; б) внедрение более экономичных режимов работы и повышения к. п. д. энергоемких агрегатов; в) использование отходящих и отработанных энергоносителей (тепло, воздух, вода, газ) и энергоносителей более низких параметров; г) сокращение потерь в электрических и тепловых сетях, электропечах, электротранспорте и других видах устройств и оборудования; д) применение технических новшеств, новых конструкций или усовершенствования существующего оборудования, аппаратов, приборов и схем управления; е) улучшение эксплуатации и контроля за техническим состоянием энергетического оборудования.

Таким образом, обобщая, можно сказать, что предметом рассмотрения на конкурсе явились все предложения, связанные с экономией выработанной энергии (во всех ее видах) и с использованием отбросных энергоносителей. Вопросы же самой выработки энергии — топливоиспользование, топочные процессы, первичные двигатели и т. п. — из условий конкурса были исключены для того, чтобы ограничить и без того достаточно широкую тематику конкурса.

Все поступившие предложения прошли предварительную экспертизу. К участию в последней было привлечено свыше ста авторитетных специалистов из различных областей энергетики.

На соискание 83 установленных премий было выдвинуто 194 предложения, получивших предварительную положительную оценку экспертов.

Рассмотрение предложений и присуждение премий состоялось на заседаниях жюри конкурса 28 февраля 1, 2, 5 и 8 марта 1946 г. в составе: инж. А. А. Максимов (председатель жюри), начальник Госинспекции по промэнергетике и энергонадзору при МЭС СССР, инж. А. К. Шадрин (ответственный секретарь), зам. председателя Московского отделения ВНИТОЭ, члены: академик **К. И. Шенфер**, инж. А. В. Митягин — председатель ЦК профсоюза рабочих электростанций, инж. Е. А. Джапаридзе — зам. министра черной металлургии, инж. С. И. Лезнов — начальник энергонадзора Госинспекции при МЭС СССР, инж. П. В. Фурдуев — начальник управления Госплана СССР, Ю. Л. Рыжнев — главный энергетик МХП, инж. В. М. Кleshko —

зам. главного энергетика МЦМ, доктор техн. наук, проф. Н. А. Семенов, инж. Е. Ф. Акулов, инж. И. В. Краснов, доктор техн. наук, проф. А. Т. Голован и инж. В. И. Иванов.

Первые премии—три по 15 000 руб. каждая присуждены:

1. Коллективу автозавода им. Сталина, представившему в семи книгах описание разработанных и внедренных мероприятий по экономии энергии. Подробно описанные и иллюстрированные предложения могут быть классифицированы по следующим основным разделам: а) предложения, связанные с рационализацией технологических процессов, приводящих также и к экономии энергии; б) предложения по рациональной эксплуатации оборудования; в) предложения по рационализации непосредственно энергетического хозяйства.

Все предложения глубоко продуманы, проверены на практике и дают большую экономию электроэнергии, исчисляемую многими миллионами киловаттчасов.

Все предложения могут быть применены с некоторыми модификациями на большинстве машиностроительных заводов.

2. Коллективу завода «Уралмаш» за представленные материалы, характеризующие экономию электроэнергии в результате рациональной эксплуатации и усовершенствования электросварочного оборудования и внедрения новой техники электродуговой сварки — автоматической сварки металлов.

В основном предложения сводятся к: а) переходу на сварку при пониженном напряжении 40—42 В вместо обычно применяемых 65 В; б) переходу с однофазных сварочных агрегатов на многофазные с ликвидацией промежуточной трансформации; в) переходу на трехпроводную схему у агрегатов постоянного тока.

Внедрение указанных предложений на одном только заводе «Уралмаш» дает годовую экономию электроэнергии 3 000 000—3 500 000 кВт·ч. Общехозяйственное значение рассматриваемых предложений, повышающих к. п. д. сварочных агрегатов на 15—20% в масштабе всего Союза, следует оценить во много десятков млн. кВт·ч.

3. М. М. Лавриненко — за представленное предложение «Управление двумя двигателями одной станцией управления при спуско-подъемных операциях в бурении с большим значением коэффициента мощности при любых нагрузках».

Электрический привод механизмов, предназначенных для производства спуско-подъемных операций при бурении нефтяных скважин, предусматривал применение двухмашинного агрегата, состоящего из двух асинхронных двигателей, работающих параллельно, и двух отдельных станций управления. График нагрузки имеет переменный характер — периоды малых нагрузок чередуются с периодами высоких нагрузок. Средневзвешенный коэффициент мощности этих установок весьма мал, а эксплуатация затруднена и ненадежна.

Сущность предложенной т. Лавриненко новой схемы электропривода заключается в том, что при работе привода в области малых нагрузок оба двигателя включаются последовательно, а при работе в области высоких нагрузок — параллельно. Предложение т. Лавриненко, несомненно, весьма просто, оригинально и эффективно. Экономия энергии благодаря улучшению коэффициента мощности при внедрении предложения на всех нефтяных промыслах Союза будет определяться в несколько млн. кВт·ч. Кроме того, значительно уменьшится аварийность электрооборудования и снизится стоимость станций управления. В настоящее время предусмотрено широкое внедрение предложения т. Лавриненко в нефтяную промышленность.

Вторые премии пять по 10 000 руб. каждая присуждены:

1. Сотрудникам управления канала «Москва-Волга» тт. Д. Ф. Агафонову, А. М. Румянцеву, Л. С. Кускову и И. Н. Дименту, представившим работу «Рационализация водноэнергетического хозяйства», включающую описание рационализаторских мероприятий, проведенных за годы Отечественной войны на канале «Москва-Волга». Практический эффект от внедрения ука-

занных мероприятий оказался очень высоким. Годовая экономия электроэнергии, составляющая 100—120 млн. кВт·ч, достигнута путем: а) сокращения потребления электроэнергии на собственные нужды канала; б) рационального использования внутренних ресурсов энергоносителя в системе сооружений канала; в) повышения мощности оборудования с целью увеличения выработки электроэнергии.

К числу наиболее эффективных мероприятий, разработанных и проверенных на практике, относятся: 1) использование мертвого объема водораздельного бьефа; 2) изменение режима обводнения р. Москвы; 3) повышение уровня воды в Ивановском водохранилище; 4) увеличение мощности турбин в период весеннего паводка сверх нормальной; 5) превращение пропеллерных насосов в генераторы электрической энергии.

Получение большого энергетического эффекта от предложенных мероприятий оказалось возможным только в системе канала «Москва-Волга», однако, основная рационализаторская мысль авторов, несомненно, может быть использована и в других гидроэнергосистемах. Особенно это относится к предложениям по увеличению мощности турбин в период весеннего паводка и к обратимости пропеллерных насосов.

2. Н. Л. Каганову и Л. А. Стравинскому за представленную ими работу «Экономия электроэнергии при точечной сварке». Авторами собран и обработан материал по технологии точечной сварки и эксплуатации контактных машин.

Большая научно-исследовательская работа, проведенная авторами на заводе им. Ухтомского, дала на этом заводе около 60% экономии электроэнергии, что подтверждается соответствующим актом. Годовая экономия электроэнергии при полной реализации предложения в промышленности составит внушительную цифру порядка 120—150 млн. кВт·ч.

3. Коллективу Горьковского автозавода им. Молотова за представленную работу «нагрев и поверхностная закалка инструмента индукционным методом токами высокой частоты».

Применение токов высокой частоты для закалки инструмента и других видов термической обработки является одним из новейших и прогрессивных методов термообработки, дающих значительную экономию энергии и других цеховых расходов — транспорта, рабочей силы и т. д.

4. С. Ф. Копьеву, Е. Я. Соколову, С. М. Петрову, Н. А. Бородинскому, А. Г. Гельперину, Б. А. Строганову, А. У. Пуговкину и А. А. Соколову за предложение «Новая система использования мятого пара». Сущность предложения заключается в применении смешивающего подогрева воды мятым паром взамен поверхностного подогрева воды.

5. Б. В. Громову и В. Д. Будон за предложение «Новый способ очистки растворов от кобальта при электролизе цинка». Сущность предложения заключается в следующем: для очистки растворов от весьма вредной для процесса электролиза примеси кобальта авторами был разработан и внедрен простой и эффективный способ промышленного осаждения кобальта ксантогенами щелочных металлов калия и натрия.

Применение этого способа дало возможность значительно снизить на Челябинском цинковом заводе удельный расход электроэнергии на электролиз цинка.

Экономия энергии составляет только на одном заводе около 10 млн. кВт·ч в год.

Третьи премии десять по 5 000 руб. каждая присуждены:

1. Б. В. Сазанову — автору предложения «Рациональная схема использования отходящего тепла на металлургических заводах».

2. А. Я. Левшину, Н. В. Гончарову, Б. А. Баринину, П. И. Швецову, И. В. Бургсдорфу — авторам предложения «Модификация силиума жидкими солями».

3. Б. А. Новикову — автору предложения «Прибор для измерения распределения токов в электродах электролитных ванн». Предлагается конструкция прибора «электрошупа», дающего возможность быстро с достаточной практической точностью определить силу тока, проходящего по электроду.

Предложение подлежит внедрению на всех электролитных заводах. При пользовании прибором достигается грамотный контроль за состоянием контактного хозяйства и правильностью токораспределения и, как следствие этого, достигается значительная экономия электроэнергии.

4. Коллективу завода авиационной промышленности, представившему перечень мероприятий, связанных с обработкой дюралевых сплавов, разработанных и внедренных на указанном заводе: а) сокращение энергопотребления в нагревательных колодах; б) проката цугом на стане ДУО; в) рационализация нагрева в конвейерных печах; г) сокращение расхода электроэнергии на отжиг.

Суммарная экономия электроэнергии от внедрения всех мероприятий на этом заводе составила 27,7% от общего расхода энергии на 1 т продукции.

Мероприятия, проведенные на заводе № 150, подлежат внедрению на родственных заводах по обработке цветных металлов.

5. А. И. Ролику — автору предложения «Рекуперация тепловой энергии электроотжигательных печей».

В предложении содержится описание ряда мероприятий, разработанных и частично осуществленных в термическом цехе одного машиностроительного завода. В цехе установлены три шахтных печи типа «Хома». Экономия электрической энергии около 1 млн. кВт·ч достигнута на этом заводе в результате: а) уменьшения тепловых потерь печей путем устройства дополнительной теплоизоляции; б) сокращения потерь на нагрев тары путем бестарной загрузки печей; в) уменьшения тепловых потерь путем ускорения цикла выгрузка-загрузка; г) сокращения тепловых потерь за счет перехода на работу с двумя печами вместо трех — перевод одной печи из горячего резерва в холодный; д) сокращения расхода энергии в печах путем применения рекуперации тепла.

Описанные в предложении мероприятия с успехом могут быть применены полностью или частично в очень многих термических цехах наших заводов, что даст экономии энергии, исчисляемую несколькими десятками миллионов киловатт·часов.

6. Б. М. Струнскому — автору предложения «Устройство защитных экранов для короткой сети электропечей».

Асбестовая защита шин короткой сети мощных руднотермических печей от теплоизлучения колошника заменяется по данному предложению экраном из железной рамки с перекрытием из листового асбеста или тонкого листового железа. Этот экран предохраняет шины от высокой температуры колошника, не препятствуя вместе с тем их естественному охлаждению. Температура шин снижается и джоулевы потери в них уменьшаются.

Предложение внедрено на трех печах Челябинского ферросплавного завода, в результате чего получена экономия электроэнергии в размере 1 млн. кВт·ч в год. Предложение с успехом может быть применено на всех заводах, имеющих рудно термические печи.

7. М. М. Бабичу и М. Д. Бершицкому — авторам предложения «Реконструкция печей Таммана».

Годовая экономия энергии от реконструкции составила на одном только заводе около 1,5 млн. кВт·ч.

8. Б. В. Лебедеву — автору предложения «Использование тепла конденсации водяных паров, уносимых углекислотой из диссоциатора углекислотных установок».

9. З. В. Топуриа и В. М. Тимофееву — авторам пред-

ложения «Новая инверсная схема мощного каскада для радиопередатчиков».

Предложенная схема возбуждения входного каскада коротковолновых передатчиков внедрена на Московском передающем радиоцентре НКС. Экономия электроэнергии получается весьма значительная — на одном только передатчике РУ—60—11 600 руб. в месяц.

Применение указанной схемы намечено в мощных передающих радиоустановках (генераторах высокой частоты), предназначенных для промышленных и научно-экспериментальных целей.

10. Н. А. Морозову — автору предложения «Экономия топлива в химическом процессе, как результат использования тепла реакции».

Остальные предложения, отмеченные в конкурсе, в значительной части представляют несомненный и большой интерес и являются весьма эффективными по размерам ожидаемой экономии энергии в результате их внедрения.

76 предложений, представляющих интерес, но требующих доработки для участия в конкурсе 1946 г., получили денежное поощрение.

Несмотря на достаточно широкий охват конкурсом всех областей народного хозяйства страны, следует признать, что не все отрасли промышленности в равной степени приняли участие в закончившемся конкурсе. На первом месте по количеству представленных и получивших признание предложений стоит, несомненно, металлообрабатывающая и машиностроительная промышленность. Далее следует черная и цветная металлургия.

Слабее представлены химическая, нефтяная, авиационная, пищевая промышленность. Совсем слабо представлены текстильная, легкая промышленности, транспорт (железнодорожный и городской) и коммунальное хозяйство.

Следует отметить весьма слабое участие в конкурсе научно-исследовательских институтов и учреждений. Подавляющее большинство предложений поступило с производства, от коллективов и отдельных работников различных заводов и промышленных предприятий.

Подводя итоги конкурса, можно признать, что он прошел с несомненным успехом и дал значительное количество ценных предложений, внедрение которых может дать стране большую экономию энергии. Необходимо лишь проявление самого энергичного и активного участия министерств в скорейшем внедрении относящихся к ним принятых предложений.

Однако, значение конкурса далеко не исчерпывается внедрением принятых предложений. Значение конкурса заключается также в том, что в процессе его проведения творческая мысль многочисленных кадров советских энергетиков была сосредоточена на вопросах экономии энергии.

В историческом выступлении товарища И. В. Сталина 9 февраля 1946 г. четко сформулированы грандиозные задачи, стоящие перед нашей страной в области развития и укрепления ее военно-экономической мощи. Осуществление поставленных задач в значительной мере будет зависеть от своевременного и достаточного обеспечения промышленности электрической и тепловой энергией. Экономия энергии остается задачей огромной государственной важности, а проводимые ежегодные конкурсы на лучшее предложение по экономии электрической и тепловой энергии должны явиться одним из весьма действенных мероприятий.

Инж. А. К. ШАДРИН

Отв. секретарь жюри конкурса,
заместитель председателя МОНИТОЗ



Конкурс на соискание премии имени академика Л. И. Мандельштама

Академия наук СССР согласно постановлению правительства от 5 февраля 1945 г. об учреждении премии имени академика Л. И. Мандельштама объявляет в 1946 г. конкурс на соискание премии имени академика Л. И. Мандельштама за лучшую работу в области радио, выполненную в период 1944—1946 гг.

Размер премии—20 000 руб.

Премии имени академика Л. И. Мандельштама могут быть удостоены ученые труды советских граждан, авторских коллективов и советских научных учреждений за оригинальную работу в области радио.

Работы на соискание премии имени академика Л. И. Мандельштама могут представляться научными обществами, научно-исследовательскими институтами, высшими

учебными заведениями, ведомствами, общественными организациями и отдельными гражданами.

Работы представляются в Отделение физико-математических наук Академии наук СССР (Москва 17, Пыжевский пер., 3) или в Отделение технических наук Академии наук СССР (Москва 26, М. Харитоньевский пер., 4), с надписью «На соискание премии имени академика Л. И. Мандельштама за лучшую работу в области радио», не позднее 1 октября 1946 г.

Работы представляются на русском языке, в 3 экземплярах, напечатанные на пишущей машинке, или типографским способом, с приложением кратких автобиографических сведений о кандидате на премию, с перечнем основных научных работ и изобретений.

Присуждение премии состоится в ноябре 1946 г.



Диссертации

Редакция журнала «Электричество» приступает к опубликованию кратких сведений о диссертациях, защищенных за последние годы по специальностям в области вопросов электричества.

В настоящем номере помещаются краткие данные о диссертациях на соискание ученой степени кандидата технических наук, защищенных в ученых советах Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова (1942—1945 гг.) и Всесоюзного электротехнического института (1943—1945 гг.). По диссертациям, о содержании которых удалось получить сведения, даны аннотации.

Редакция обращается с просьбой к ученым советам научно-исследовательских институтов, высших технических учебных заведений и университетов, систематически присылать сообщения о всех защищаемых в области вопросов электричества диссертациях, с сопровождением основных данных по диссертациям краткими аннотациями.

Московский энергетический институт им. Молотова

В МЭИ защищены следующие диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук:

Ю. М. Гадиев защитил 9 июня 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Перспективы применения частотной модуляции на длинных, средних и коротких волнах, при радиовещании и связи».

Официальные оппоненты: проф. С. Я. Турлыгин и проф. С. Э. Хайкин.

Произведена оценка достоинств и недостатков частотной модуляции в различных областях ее применения по сравнению с применяющейся в настоящее время амплитудной модуляцией в радиовещании и связи.

Г. Г. Марквардт защитил 24 июня 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Влияние динамических факторов на работу сети и новые методы ее расчета».

Официальные оппоненты: кандидат техн. наук, доц. П. Н. Шляхто и инж. И. И. Власов.

Дан новый метод расчета контактной сети электрифицированного железнодорожного транспорта—трамвая и троллейбуса; метод вносит ряд уточнений и учитывает факторы, не принимавшиеся ранее во внимание и оказывающие существенное влияние на работу сети.

В. М. Блок защитила 7 августа 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Выбор оптимальных схем питательных сетей 6 и 10 kV».

Официальные оппоненты: кандидат техн. наук, доц. И. Я. Гумин и инж. П. В. Савельев.

Исходя из некоторых упрощающих и обобщающих задач предпосылок, найдены технико-экономические обоснования для выбора оптимального количества питательных пунктов для городских сетей 6 и 10 kV. Работа имеет

целью облегчить проектирование путем выбора небольшого количества рациональных вариантов питательных сетей, подлежащих технико-экономическому сравнению.

Е. Р. Гальперин защитил 21 августа 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Сопротивление обмотки вариометров на переменном токе».

Официальные оппоненты: кандидат техн. наук, доц. М. А. Перекалин и кандидат техн. наук, доц. В. С. Пантюшин.

Н. С. Курбатова защитила 21 августа 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Переходные процессы в цепях с вентилями».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Н. Ларионов и доктор техн. наук проф. Е. В. Нитусов.

Ю. В. Корицкий защитил 9 сентября 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Тепловое старение бумажной изоляции».

Официальные оппоненты: проф. Е. Ф. Комарков и кандидат техн. наук, доц. Б. М. Тареев.

На основе экспериментального материала выявлены и обоснованы причины теплового старения бумажной изоляции электрических машин и трансформаторов и сделаны практические выводы об условиях, улучшающих работу бумажной изоляции.

В. Л. Фабрикант защитил 9 сентября 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Фильтры напряжения отрицательной последовательности».

Официальные оппоненты: кандидат техн. наук, доц. А. М. Федосеев и кандидат техн. наук, доц. В. В. Ясинский.

Рассмотрены технические свойства различных схем для получения напряжения отрицательной последовательности в месте установки релейной защиты при различных видах коротких замыканий и сети.

П. В. Фурдуев защитил 21 октября 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Основные вопросы теории электропривода для механизмов с переменным статическим моментом и переменным моментом инерции».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд и кандидат техн. наук А. Т. Голован.

Н. Н. Якимов защитил 13 ноября 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Трехфазный преобразователь Бушера и его применение для передачи энергии постоянным током».

Официальные оппоненты: доктор технических наук, проф. Е. В. Нитусов и кандидат техн. наук, доц. М. А. Перекалин.

И. И. Соколов защитил 25 ноября 1942 г. в совете института диссертацию на тему: «Опыт модернизации самолетных фар».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд, доктор техн. наук, проф. В. В. Мешков.

На основе экспериментального материала подвергаются анализу светотехнические свойства различных ламп накаливания при применении их в самолетных фарах и в результате определяется наиболее совершенный тип лампы.

З. С. Вознесенская защитила 29 января 1943 г. в совете института диссертацию на тему: «Отвод тепла газовой средой в лампах накаливания и его влияние на процесс их перегорания».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд и кандидат техн. наук, доц. Г. А. Тягунов.

Д. Д. Зарин защитил 29 января 1943 г. в совете института диссертацию на тему: «Разработка и исследование конструкций вертикальных 10-kV кабелей для Дворца Советов».

Официальные оппоненты: кандидат техн. наук, доц. В. А. Привезенцев и кандидат техн. наук Н. Н. Войденов.

Е. А. Ляхов защитил 29 января 1943 г. диссертацию на тему оборонного значения.

Официальные оппоненты: проф. Ахматов и генерал-майор Горохов.

Г. В. Зевеке защитил 9 марта 1943 г. в совете электромеханического института диссертацию на тему: «Анализ релейных защит синхронных генераторов».

Официальные оппоненты: кандидат техн. наук, доц. И. И. Соловьев и инж. В. В. Майялов.

С. С. Коган защитил 23 марта 1943 г. в совете радиотехнического факультета диссертацию на тему: «Отрицательная и положительная обратная связь в системах многократной телефонии».

Официальные оппоненты: проф. Г. А. Левин и доц. В. К. Виторский.

И. И. Меньшиков защитил 23 марта 1943 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Исследование эбонита и резиновых электроизделий».

Официальные оппоненты: проф. Е. Ф. Комарков и кандидат техн. наук Б. М. Тареев.

А. А. Булгаков защитил 13 апреля 1943 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Авторегулирование электроприводов с управляемыми выпрямителями».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров и кандидат техн. наук, доц. Д. П. Морозов.

В. И. Королькова защитила 13 апреля 1943 г. в совете электроэнергетического факультета диссертацию на тему: «Электротравматизм и борьба с ним в промышленности».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. К. Минов и доктор техн. наук, проф. А. Т. Голован.

Э. С. Лившиц защитил 13 апреля 1943 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Два новых метода радиоизмерений с применением взаимной индуктивности».

Официальные оппоненты: проф. Г. А. Левин и кандидат техн. наук, доц. В. К. Виторский.

Б. М. Гуткин защитил 1 июня 1943 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «К теории электронных следящих систем малой мощности».

Официальные оппоненты: проф. Г. А. Левин и кандидат техн. наук, доц. А. А. Соколов.

Р. А. Нилендер защитил 1 июня 1943 г. в совете электроэнергетического факультета диссертацию на тему: «Технико-экономические предпосылки развития промышленности источников света в восстановительный период».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд и доктор техн. наук, проф. А. П. Иванов.

Е. М. Синельников защитил 24 августа 1943 г. в совете института диссертацию на тему: «Теория преобразования постоянного тока в переменный».

Официальные оппоненты: член-корреспондент Академии наук СССР, проф. К. А. Круг и доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов.

А. Г. Ивахненко защитил 21 сентября 1943 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Исследование и расчет нелинейных автоматических синхронно-следящих систем».

Официальные оппоненты: проф. Г. А. Левин и ст. научный сотрудник А. В. Михайлов.

Е. С. Штырен защитил 19 октября 1943 г. диссертацию на тему оборонного значения.

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, Л. Д. Розенберг и кандидат техн. наук, доц. В. А. Котельников.

А. В. Корицкий защитил 30 ноября 1943 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Конструирование трансформаторов».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров и инж. Б. Б. Гельперин.

И. В. Беляев защитил 15 февраля 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Работа асинхронного двигателя при переменной частоте».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Т. Голован и кандидат техн. наук, доц. Н. В. Горохов.

Дан анализ работы трехфазного асинхронного двигателя при трех основных режимах регулирования его скорости: с постоянным моментом на валу, с постоянной мощностью и с моментом, изменяющимся по квадратичному закону. Полученные аналитическим путем зависимости проверены на опытной установке.

В. Е. Боголюбов защитил 15 февраля 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Исследование нестационарных процессов при помощи трубки Броуна».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов и кандидат техн. наук, доц. Г. С. Борчанинов.

Предложена схема, служащая для исследования, нестационарных процессов при помощи запаянной электроно-лучевой трубки. Прибор позволяет исследовать переходные процессы без всяких искажений, обычно вызываемых активными сопротивлениями, индуктивностями или емкостями, имеющимися в схеме прибора. В ряде случаев прибор позволяет исследовать переходные процессы при напряжении и токе, близких к рабочим, так как позволяет коммутировать большую мощность. Прибором можно производить коммутацию исследуемых цепей со сравнительно высокой (порядка килогерц) частотой переключений через строго определенные промежутки времени.

А. И. Долгинов защитил 15 февраля 1944 г. в совете электроэнергетического факультета диссертацию на тему: «Исследование схем защиты подстанций на моделях».

Официальные оппоненты: проф. П. Г. Грудинский, кандидат техн. наук А. А. Акопян.

Экспериментально на моделях определены защитные зоны подстанционных разрядников для различных схем замещения подстанций при набегающих с линии передачи волнах различных форм и амплитуд. Результаты исследования могут быть использованы при решении общих задач координации изоляции и грозовой защиты подстанций.

В. Ф. Майоров защитил 25 февраля 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Магнитострикционный метод и приборы для измерения давления».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов и кандидат техн. наук А. А. Фельдбаум.

Дана теория магнитострикционного метода измерения давлений, выведены формулы, определяющие чувствительность датчика, и приведены результаты экспериментального исследования различных сплавов для датчика. Диссертантом разработан прибор для измерения динамических нагрузок.

П. А. Петров защитил 14 марта 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Условия эксплуатации и выбор экономически наиболее выгодного режима генераторной лампы».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Н. А. Никитин и кандидат техн. наук, доц. В. К. Виторский.

На основе анализа причин и характера аварий генераторных ламп и на основе экспериментальных работ найден наиболее выгодный режим работы нити накала лампы и установлен метод определения оптимального срока службы лампы.

И. А. Сыромятников защитил 14 марта 1944 г. в совете электроэнергетического факультета диссертацию на тему: «Определение располагаемой мощности синхронных машин при несимметричных нагрузках».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. П. С. Жданов и доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет.

Даны новые методы экспериментального исследования теплового режима машины при несимметричной нагрузке и предложены способы определения дополнительных потерь. Дан способ определения расчетным путем располагаемой мощности генератора в зависимости от величины дополнительных потерь, допустимого нагрева обмотки возбуждения и степени несимметрии.

В. Д. Мажуга защитил 25 апреля 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Вопросы пуска и колебаний синхронных машин».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов и доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет.

Исследованы асинхронный пуск синхронных двигателей; качания синхронных генераторов, приводимых дизелями при параллельной работе их с мощной системой; качания синхронных двигателей, вращающих воздушные компрессоры, а также вибрации роторов турбогенераторов в области критических скоростей.

Б. И. Станиславский защитил 25 апреля 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «О точности и устойчивости в электрических счетно-решающих схемах».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. С. А. Лебедев и кандидат техн. наук, доц. Ф. Е. Темников.

Исследованы вопросы точности работы счетно-решающих механизмов и схем: выяснены некоторые условия, влияющие на точность отдельных электрических элементов механизмов, причины и условия, вызывающие статические погрешности, и условия динамической точности и устойчивости различных счетно-решающих автоматических схем.

Л. П. Мелешкина защитила 9 мая 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Сеточная цепь ртутного выпрямителя и двухсеточный ртутный выпрямитель».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф.

А. М. Бамдас и кандидат физико-математических наук, доц. Г. А. Тягунов.

Дан теоретический анализ и проведено экспериментальное исследование сеточного узла и сеточной цепи многоанодных односеточных ртутных выпрямителей, а также экспериментальное исследование работы двухсеточного ртутного выпрямителя.

В. И. Орлов защитил 6 июня 1944 г. диссертацию на тему оборонного значения.

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Д. Белькинд и доктор техн. наук, проф. Н. А. Карякин.

Т. П. Козляковская защитила 4 июля 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Исследование механизма эмиссии оксидных катодов».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. Н. А. Капцов и доктор физико-математических наук, проф. В. А. Фабрикант.

Рассмотрены современные теории механизма эмиссии оксидных катодов и экспериментально изучены свойства этих катодов, связанные с теоретическими вопросами и с некоторыми запросами практики. Рассмотрены влияние кристаллической структуры оксида на эмиссионные свойства простых катодов и влияние способов изготовления на свойства сложных прессованных оксидных катодов. Исследованы процессы активизации и деактивизации оксидных катодов под влиянием различных факторов, и процессы диффузии бария в оксиде и испарения с поверхности катода.

Н. А. Ламский защитил 4 июля в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Освещение работ на текстильных фабриках».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд, доктор техн. наук, проф. В. В. Мешков.

На основании проведенных многочисленных обследований действующих осветительных установок текстильных фабрик указываются их обычные недостатки в светотехническом и электротехническом отношениях и рекомендуются мероприятия частичного устранения последних, обеспечивающие повышение освещенностей рабочих поверхностей на 30—70% и улучшающие качество освещения. Рекомендуются наиболее выгодные системы освещения текстильных машин и сравниваются флуоресцентное освещение с освещением лампами накаливания, причем выявляются выгоды первого.

Н. И. Коновалов защитил 20 июня 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Простые способы установления энергетических показателей работы асинхронных двигателей».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Т. Голован и доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов.

Даны простые, удобные для практического применения и достаточно точные для практических целей методы определения коэффициентов загрузки, полезного действия и мощностей асинхронного двигателя.

В. А. Ильин защитил 4 июля 1944 г. диссертацию на тему оборонного значения.

Официальные оппоненты: проф. Г. А. Левин и проф. Г. А. Угер.

Н. К. Свистов защитил 4 июля 1944 г. диссертацию на тему оборонного значения.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. С. Х. Хайкин и инж. Ю. Б. Кобзарев.

Я. М. Губер защитил 4 августа 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Вопросы экономики серийно-массового электромашиностроения».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров и доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет.

Дана критика технического уровня массовых серий асинхронных двигателей от 1 до 100 kW и рекомендуются для разработки новые серии с лучшими эксплуатационными показателями, за счет некоторого увеличения расходного материала.

В. К. Козлов защитил 4 августа 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Влияние анизотропии на свойства диэлектриков».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов и кандидат техн. наук, доц. В. А. Привезенцев.

Исследованы причины возникающей иногда нестабильности емкости бумажных конденсаторов, пропитанных галоваксом. Автором выявлено, что при кристаллизации из расплава в электрическом поле изменяется диэлектрический коэффициент вещества, чему способствует некоторое количество посторонних примесей. Опытная проверка полностью подтвердила теоретические выводы и дала возможность установить рациональный режим электротермической обработки конденсаторов.

Л. Я. Соболева защитила 4 августа 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Опыт получения диэлектрика на основе двуокиси титана пропиткой керамических пластин из двуокиси титана органическими пластиками».

Официальные оппоненты: проф. Е. В. Комарков и кандидат техн. наук, доц. Н. Г. Дроздов.

Найдены методы изготовления пористой керамики из двуокиси титана и пропитки ее органическими пластиками: бакелитовым лаком, моностиролом, галоваксом, оксидифенилформальдегидной смолой, парафином, кремний-органическим лаком и компаундом, и измерены величины диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь полученных диэлектриков.

С. А. Гинзбург защитил 14 ноября 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Приборы частотно-импульсного телеизмерения».

Официальные оппоненты: проф. К. Б. Карандеев и кандидат техн. наук А. В. Фремке.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование приборов частотно-импульсного телеизмерения с охватом всего комплекса приборов, датчиков, сумматоров и приемников. Разработан индукционный дифференциальный датчик напряжения, изменяющий скорость от нуля до номинальной величины при изменении напряжения на нем от 55—120 В с погрешностью в пределах $\pm 1,3\%$. Разработан датчик неэлектрических величин, скорость которого не зависит от величины напряжения и частоты, а лишь от сопротивления в его цепи. Погрешность датчика лежит в пределах $\pm 0,75\%$. Разработаны сумматоры различных типов.

Л. Л. Декабрун защитил 14 ноября 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Силовой следящий привод».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Т. Голован и доктор техн. наук, проф. Е. В. Нигусов.

Дан анализ причин погрешности в работе следящего привода с электрическим исполнительным двигателем, зависящей от нагрузки и предложено в качестве управляемой величины выбирать скорость исполнительного двигателя при постоянном значении момента трогания. При этом уравнения движения исполнительного органа становятся нелинейными. Приведен анализ работы следящего привода, построенного на предложенном автором принципе, при различных видах нагрузки. Результаты эксперимента совпали с теоретическими выводами.

Я. М. Червоненкис защитил 14 ноября 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Форма кривой тока и напряжения при передаче энергии постоянным током высокого напряжения».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. И. Бабат и кандидат техн. наук, доц. Н. Н. Якимов.

Рассмотрены особенности расчета мощных выпрямительных и инверторных установок для целей передачи энергии постоянным током. Рассмотрены существующие методы улучшения форм кривых тока и напряжения при выпрямлении и инвертировании и анализируются область применения каждого из них для условий передачи энергии постоянным током. Анализируется вопрос точности компенсации гармоник в двенадцатифазных системах разных типов.

Л. М. Шницер защитил 14 ноября 1944 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Нагрузочная способность масляного трансформатора».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров и доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет.

Дан метод учета износа изоляции трансформатора при неравномерной его нагрузке и показано, что введение такого учета позволяет широко использовать перегрузочную способность трансформатора без ущерба для его нормального срока службы. Дан метод определения допустимых кратковременных и длительных перегрузок трансформаторов, исходя из установленного срока службы трансформатора и режима его работы.

З. Я. Клейман защитил 26 декабря 1944 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Электрические методы измерения воздушного потока».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. А. А. Померанцев и кандидат техн. наук, доц. Ф. Е. Темников.

Дан анализ существующих методов термоанемометрии и разработаны новые электрические методы измерения скорости воздушного потока: электромагнитный, ферродинамический и термоэлектрический. Кроме того, улучшено качество теплового анемометра путем применения термоэлектрического метода обнаруживания изменений температуры термонити. Возможные области применения разработанных приборов: электромагнитного — аэродинамические лаборатории, метеорологические станции и др.; ферродинамического — на самолете и в лабораториях; термоэлектрического — в метеорологии, на аэродинамике, в вентиляционной технике и др.

Н. О. Быкова защитила 23 января 1945 г. в совете радиотехнического факультета диссертацию на тему: «Воздействие напряжения меняющейся частоты на селективные системы».

Официальные оппоненты: проф. Г. А. Левин и кандидат техн. наук, доц. В. Н. Мильштейн.

Произведен анализ и дано количественное определение процессов, происходящих в одном или нескольких связанных между собой резонансных контурах в результате воздействия на них переменных э. д. с., частота которых изменяется в широком диапазоне, по сравнению с полосой пропускания системы. Предложен метод расчета селективных систем при воздействии на них э. д. с. переменной частоты. Экспериментальная проверка показала совпадение опытных данных с результатами расчета.

Г. И. Васильев защитил 16 марта 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Исследование конструктивных и эксплуатационных недостатков трамвайных двухосных вагонов и установление основных принципов их рационального конструирования».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. К. Минов и кандидат техн. наук М. М. Стемпневский.

Изучены эксплуатационные недостатки существующих трамвайных вагонов и предложена на перспективу серия трамвайных вагонов новейшей конструкции с высокими динамическими качествами, состоящая из двухосного бестележного вагона; четырехосного вагона; двойного и тройного сочлененных вагонов. На переходный период предложено использование трамвайных моторных вагонов на отдельных двухосных тележках, с внесением коренных конструктивных изменений, устраняющих недостатки существующих двухосных вагонов.

М. С. Рябов защитил 16 марта 1945 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Изменения в осветительных установках промышленных предприятий, в связи с применением флуоресцентных ламп».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. В. Мешков и доктор физико-математических наук, проф. В. А. Фабрикант.

Дано сопоставление характеристики флуоресцентных ламп и ламп накаливания; предложены методы проектирования установок с флуоресцентными лампами и выявлены задачи промышленности по изготовлению флуоресцентных ламп и принадлежностей к ним.

Н. Н. Шумская защитила 13 апреля 1945 г. в совете радиотехнического факультета диссертацию на тему: «Испытание антенной системы с управляемой диафрагмой направленности».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Г. Аренберг и проф. А. Н. Казанцев.

Проведены испытания приемной антенной системы (с управляемой диафрагмой направленности вертикальной плоскости), состоящей из четырех двойных ромбических антенн. Изложены соображения о необходимости применения большего числа антенн в системе при использовании ее на магистральных линиях радиосвязей.

И. Г. Мамонкин защитил 11 мая 1945 г. в совете радиотехнического факультета диссертацию на тему: «Метод расчета разборчивости русской речи в самолетных каналах связи».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. С. Н. Ржевский и доктор техн. наук, проф. Н. И. Рубцов.

Выведены основные соотношения, связывающие понятность речи с разборчивостью отдельных слов, слогов и звуков; установлен объективный критерий качества самолетных каналов связи с точки зрения разборчивости переговоров; определено влияние электрических характеристик канала на разборчивость речи и дан метод расчета понятности речи, учитывающий способ съема ее с горла, влияние электрических характеристик канала, влияние шума и перегрузок уха. Экспериментальная проверка метода показывает его пригодность для расчета самолетных каналов связи.

И. С. Маршак защитил 11 мая 1945 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Электрический пробой газов при атмосферном давлении».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. В. А. Фабрикант и доктор физико-математических наук, проф. Б. Н. Клярфельд.

В разделе, посвященном начальной стадии пробоя газа при атмосферном давлении, рассмотрено сопоставление выводов из классической и стримерной теории со всеми основными экспериментальными фактами, в частности, с результатами экспериментов, проведенных автором. Экспериментальным изучением явлений искры, питаемой источником очень большой мощности, и экспериментальным выявлением закономерностей, характеризующих насыщенный разряд, показано, что предлагаемая теория качественно правильно отображает действительный механизм пробоя в этой стадии.

Н. Т. Коробан защитил 8 июня 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Основы выбора электродвигателей для самолетных механизмов».

Официальные оппоненты: генерал-майор инженерно-авиационной службы, академик В. С. Кулебакин и доктор техн. наук, проф. А. Н. Ларионов.

Обоснована необходимость применения электрических приводов для самолетных механизмов, проведен краткий сравнительный анализ электрического привода с гидравлическим, пневматическим и ручным приводами и установлены преимущества первого. Проведено экспериментальное определение нагрузочных диаграмм основных самолетных механизмов. Работа дает возможность производить выбор электродвигателей для самолетных механизмов, удовлетворяя основным требованиям достижения минимального веса и надежной эксплуатации.

Ф. А. Ступель защитил 8 июня 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Реле защиты и автоматики».

Официальные оппоненты: проф. П. Г. Грудинский и кандидат техн. наук, Б. К. Буль.

А. Н. Валерьянов защитил 6 июля 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Приближенный метод определения величин потенциала и плотности блуждающих токов, наведенных в подземных канализациях токами трамвая».

Официальные оппоненты: кандидат техн. наук В. Е. Боголюбов и кандидат техн. наук Г. Г. Марквардт.

Разработан приближенный, но достаточно точный для практических условий метод расчета величин потенциала и плотности блуждающих токов, наведенных в подземных металлических канализациях и в рельсовой сети токами трамвая и другими установками постоянного тока, у которых в качестве обратного провода для тока

используются рельсы. Рассмотрены сущность и особенности электролитических процессов, происходящих в земле, в условиях, когда металлические канализации и рельсовая сеть применяются в качестве электродов, погруженных в некоторый раствор электролита. Проведено сравнение предлагаемого приближенного метода с точным методом Gibrot и показано достаточно близкое и приемлемое для практики совпадение результатов расчета по обоим методам.

В. А. Изъюров защитил 6 июля 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Система ремонта трамвайных вагонов».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд и кандидат техн. наук А. Г. Фридлянд.

Предложена новая агрегатно-профилактическая система ремонта трамвайных вагонов. Даны теоретическое обоснование и метод выбора сроков ремонта для всех типов трамвайных вагонов. Обоснована новая система осмотра вагонов.

И. И. Кодкинд защитил 6 июля 1945 г. в совете электроэнергетического факультета диссертацию на тему: «Разработка регуляторов напряжения для компаундированных синхронных генераторов».

Официальные оппоненты: проф. П. Г. Грудинский и кандидат техн. наук Л. В. Цукерник.

Проведен анализ простейших систем токового компаундирования синхронных генераторов и показано, что они обладают рядом существенных недостатков. Для устранения этих недостатков разработана система упрощенного электронного регулятора напряжения и дана методика расчета отдельных его элементов. Приведены результаты испытаний регулятора в лабораторных условиях на мощном гидрогенераторе и показано, что предложенная система регулирования обеспечивает большую устойчивость работы генератора и разрешает поставленные перед автоматическим регулятором задачи более простыми и эксплуатационно надежными средствами, чем это достигается существующими типами автоматических регуляторов напряжения.

Ю. Ф. Алексеев защитил 27 июля 1945 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Расчет оптических характеристик люминесцирующего слоя».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. А. И. Ахиезер и кандидат техн. наук Д. А. Шкловер.

Дана теория свечения люминесцирующего слоя порошка, освещаемого с одной стороны ультрафиолетовым светом. Разработан метод применения этой теории к вычислению выхода видимого излучения из замкнутой люминесцирующей полости, освещаемой изнутри ультрафиолетовым светом, и к вычислению коэффициента полезного действия этой полости.

Г. И. Длужневский защитил 27 июля 1945 г. в совете электрофизического факультета диссертацию на тему: «Зеркальный светильник для флуоресцентных ламп».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд и кандидат техн. наук М. С. Рябов.

Даны методы расчета освещенности светильниками общего освещения, расчета профиля цилиндрических светильников и расчета широкоизлучающих зеркальных светильников для флуоресцентных ламп.

И. Г. Герценштейн защитил 14 июля 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Исследование пробоя силовых кабелей с бумажной изоляцией».

Официальные оппоненты: член-корреспондент Академии наук СССР Б. М. Вул и кандидат техн. наук П. Н. Горшков.

Экспериментально исследованы разные виды пробоя силовых кабелей, их моделей и кабельных бумаг. Выяснен механизм пробоя и рассеивание характеристик пробоя силовых кабелей.

А. М. Быстров защитил 2 ноября 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Исследование схем эластичной синхронной связи асинхронных двигателей через редуктор частоты».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов и кандидат техн. наук, доц. А. С. Сандлер.

Исследована схема эластичной синхронной связи асинхронных двигателей через редуктор частоты, предложенная доктором техн. наук, проф. Е. В. Нитусовым и автором. Проведен подробный анализ геометрических мест токов приводных двигателей и тока редуктора частоты. Даны выражения синхронизирующего момента электрической и механической мощности и момента на валу редуктора частоты. Основные положения теоретических исследований подтверждены проверкой на экспериментальной установке.

Ф. А. Горяинов защитил 2 ноября 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Трехфазно-однофазные преобразователи для электрической сварки».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Б. П. Анаров и доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов.

Исследованы статические и вращающиеся преобразователи однофазного тока в трехфазный, применяемые для уравнивания несимметрии нагрузки, создаваемой однофазными сварочными аппаратами. Дана теория, метод расчета и конструкция нового вращающегося уравнивателя.

А. И. Руцкий защитил 2 ноября 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Нагрев железных однополосовых шин электрическим током».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Я. Буйлов и доктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич.

Исследовано поведение железных шин распределительных устройств при протекании по ним переменного тока промышленной частоты. Экспериментально установлены закономерности изменения скин-эффекта, активного сопротивления магнитной проницаемости, линейной плотности тока, в зависимости от токовой нагрузки и температуры электрического нагрева. Дан метод точного и приближен-

ного практического расчета железных шин для распределительных устройств.

С. Н. Федоткин защитил 2 ноября 1945 г. в совете электротехнического факультета диссертацию на тему: «Метод разработки и изготовления зеркальных светильников для освещения магистральных улиц».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд и доктор техн. наук, проф. Н. А. Карякин.

Разработан зеркальный светильник с составной оптикой, с помощью которого можно получить на поверхности улицы требуемую освещенности 4—6 Лх. Дан аналитический способ получения оптимальных кривых светораспределения светильников и расчета зеркальной составной оптики светильника.

И. И. Шустер защитил 16 ноября 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Исследование электрических двигателей для авиационных гироскопических устройств».

Официальные оппоненты: академик К. И. Шенфер и доктор техн. наук, проф. А. Н. Ларионов.

Предложена методика проектирования гироскопов с короткозамкнутым ротором и массивным ротором.

В. Ф. Марков защитил 21 декабря 1946 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «К вопросам об электроавтоматизации боевых гусеничных машин».

Официальные оппоненты: проф. М. К. Кристи и кандидат техн. наук, доц. Ю. М. Галкин.

А. Д. Степанов защитил 21 декабря 1945 г. в совете электромеханического факультета диссертацию на тему: «Автоматическое регулирование электротрансмиссий в гусеничных машинах».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов и инж. М. М. Синайский.

*Кандидат техн. наук, доц. Г. С. БОРЧАНИНОВ
Ученый секретарь ученого совета МЭИ.*



Всесоюзный электротехнический институт¹

В ученом совете ВЭИ защищены следующие диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук:

Е. Г. Кормакова защитила 28 июня 1943 г. диссертацию на тему: «Электронные умножители, в которых электронные потоки фокусируются сетками».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. В. А. Фабрикант и проф. С. Э. Хайкин.

В рассмотренных электронных умножителях размеры эмиттеров и конуса сетки подобраны путем исследования электростатических ослей системы методом электролитической ванны и затем построения траекторий электронов графическим методом. На основании этих исследований и анализа характеристик умножителей установлены такая форма и размеры эмиттеров и сетки, что коэффициент рассеяния электронов не превышает 1%. Параметры умножителей вполне отвечают требованиям звукового кино. За время работы умножители показали приемлемые эксплуатационные качества. Разработан метод серийного производства умножителей.

Б. Р. Лазаренко защитил 28 июня 1943 г. диссертацию на тему: «Инверсия электрической эрозии металлов и методы борьбы с разрушением электрических контактов».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. С. Займовский и доктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич.

В процессе исследования разработана теория инверсии электрической эрозии, которая указала на возможность использования электрической эрозии с большим экономическим эффектом для нужд промышленности. Приводится описание ряда новых электроэрозионных методов обработки металлов. Экспериментально доказано существование границ инверсии, а также пограничных областей—дугового и искрового разряда. Дано описание визуальной установки, с помощью которой на работающем реле может быть быстро определена граница инверсии для данного реле и указаны мероприятия, обеспечивающие длительную работу контакта без разрушения. Разработан прибор—эрозиограф, который еще упростил и автоматизировал процесс снятия границ инверсии. С помощью визуального метода построены кривые границы инверсии, дающие указание на выбор наиболее рациональной схемы, среды или металла контактов, при которых отсутствует сваривание контактов и явление образования кратера на одном из контактов и нароста на другом и обеспечивается длительная работа контактной системы.

А. С. Бучинский защитил 10 августа 1943 г. диссертацию на тему: «Исследование и усовершенствование модуляционной характеристики кинескопа».

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, проф. В. А. Фабрикант и кандидат техн. наук В. Л. Крейцер.

Как было показано Кальманом, в связи с существующими параметрами различных частей телевизионного тракта для правильной передачи градаций изображения является желательным экспоненциальный вид модуляционной характеристики кинескопов. Проведенный анализ по-

¹ Данные по ряду диссертаций, защищенных в ВЭИ, см. также Электричество, № 8, 1945.

казывает, что характеристики существующих кинескопов в своей рабочей части хорошо удовлетворяют требованию, поставленному Кальманом. На основании исследования причин, определяющих форму модуляционной характеристики и полученных при этом количественных данных, выдвигается новый способ увеличения крутизны, выражающейся в увеличении числа модулирующих электродов. Попутно показываются те требования, которые должны быть соблюдены в геометрических размерах и электрическом режиме модулирующего устройства в целом.

А. М. Мелькумов защитил 9 мая 1944 г. диссертацию на тему: «Высоковольтные предохранители с кварцевым наполнением».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич** и доктор техн. наук, проф. **Л. И. Сиротинский**.

Рассмотрен процесс отключения предохранителем с кварцевым песком. Установлено, что выгодно применять плавкие проволоки возможно малого диаметра, получая необходимое сечение путем применения нескольких параллельных проволок. Выяснено, что наиболее эффективными мерами снижения тепловой нагрузки предохранителя до безопасных пределов является применение плавких вставок либо с растворителем, либо с капсулой, ухудшающей теплоотдачу с небольших участков плавкой проволоки. В результате исследований установлено, что эффективной мерой снижения перенапряжений является либо применение плавких проволок переменного по длине сечения, либо применение вспомогательных проволок переменного по длине сечения с искровыми промежутками, включенных параллельно главным плавким проволокам. Оба метода дают снижение перенапряжений почти вдвое. Разработана конструкция серии предохранителей на 3—6—10—35 kV с отключающей способностью свыше 200—250 тыс. kVA, отключающих токи короткого замыкания в 0,005—0,007 sec.

без каких-либо внешних эффектов и без достижения токами полной их величины.

Результаты работы применены также для увеличения отключающей способности существующих предохранителей Мосэнерго с 15 до 200 тыс. kVA.

В. П. Савельев защитил 18 декабря 1945 г. диссертацию на тему: «Исследование дугогасящих свойств искровых промежутков вентильных разрядников».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. **Л. И. Сиротинский** и доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич**.

До последнего времени переходные процессы в искровых промежутках вентильных разрядников во время гашения дуги сопровождающего тока оставались неизученными и проверка дугогасящих свойств производилась путем громоздких испытаний в отдельных точках сетей 6—35—110 kV готовых конструкций разрядников. Подвергнуты экспериментальному изучению переходные процессы при возникновении и обрыве дуги сопровождающего тока. Основная задача исследований—измерение восстанавливающейся прочности искрового промежутка, для чего применен катодный осциллограф с горячим катодом типа КОП-912 на напряжение 5 kV.

Для оценки восстанавливающегося напряжения рассмотрены типовые схемы установки разрядников в сетях. Сопоставление восстанавливающегося напряжения и восстанавливающейся прочности разрядника выявило наличие большого запаса прочности, что может служить основанием для пересмотра существующих конструкций в сторону их упрощения и уменьшения габаритов и для рационального проектирования новых типов разрядников.

*Кандидат техн. наук И. С. КУНЦ
Учзный секретарь ученого Совета ВЭИ*



Новая литература по электрификации сельского хозяйства

Вышли из печати:

Руководящие указания по проектированию и строительству электроустановок в сельском хозяйстве. Литограф. изд., 1945 г.

Книга составлена коллективом работников Главсельэлектро и Всесоюзного института механизации и электрификации сельского хозяйства и предназначена для инженерно-технического персонала трестов и контор по сельской электрификации. Книга содержит руководящие указания по составу и объему проектов малых сельскохозяйственных гидроэлектростанций; по подсчету нагрузок и потребления электроэнергии силовыми и осветительными потребителями; по выбору мощности генераторов и трансформаторов; оборудованию электростанций и подстанций; по строительству высоковольтных линий электропередач и низковольтных воздушных сетей; защита подстанций и линий от перенапряжений; по нормативам по проектированию электроосвещения; рекомендуемые схемы коммутации электростанций; проектирование сетей в связи с вопросом о потерях и колебаниях напряжения; совместной подвеске на общих опорах проводов высокого и низкого напряжения и др.

Альбом гидроэлектрических станций малой мощности. Литограф. изд., 1945 г.

Разработан Центральным проектным инженерным институтом Красной Армии. В пояснительной записке к альбому даны необходимые сведения по гидрологическим изысканиям, по выбору и расчету гидротехнических, гидромеханических и электротехнических устройств станций малой мощности. Гидротехническая часть альбома включает: примерные схемы устройства гЭС, чертежи устройства регуляторов, подводящих и отводящих сооружений гЭС.

Гидромеханическая часть альбома содержит чертежи: различных конструкций гидротурбины, отдельных ее деталей, могущих быть выполненными на местах, и турбопоставы для непосредственного провода от турбины. Здесь же даны сведения о количестве материалов и о затрате времени на изготовление. В электротехнической части альбома приведены необходимые справочные таблицы и чертежи по электрическому оборудованию гЭС, по сооружению столбовых (мачтовых) трансформаторных подстанций, линий электропередачи высокого (6 kV) и низкого 220/380 V напряжения. В конце альбома даны примеры по ряду конкретных гидроэлектростанций малой мощности.

Проф. Д. Я. Соколов. Деревянная турбина пропеллерного типа для гЭС малой мощности. Сельхозгиз, 1945 г.

В описательной части книги и в чертежах, приложенных к книге, даются подробные практические указания по изготовлению на местах силами колхозников деревянных турбин пропеллерного типа мощностью до 30—40 л. с. Одновременно в книге содержатся указания, по установке, монтажу и эксплуатации таких деревянных турбин.

Правила эксплуатации сельскохозяйственных электрических установок. Литограф. изд. Главсельэлектро, 1946 г.

В книге содержатся все основные правила и нормы по эксплуатации сельских электростанций малой и сред-

ней мощности, трансформаторных подстанций, линий электропередачи высокого напряжения и воздушных сетей низкого напряжения, потребительских установок. Правила касаются как гидротехнических сооружений, так и механического и электрического оборудования. Правила в основном исходят из существующих правил, составленных для промышленных установок, но вместе с тем они содержат и много новых материалов и указаний применительно к условиям сельской электрификации.

Правила одобрены Министерством электростанций СССР и утверждены министром земледелия Союза ССР.

Находятся в печати:

Руководящие указания по составлению планов электрификации сельского хозяйства областей и районов Союза.

Книга составлена коллективом работников Всесоюзного научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ) и Энергетического института Академии наук СССР под редакцией Н. А. Сазонова и М. Ф. Разумова.

Содержание книги включает вопросы, касающиеся порядка и методологии составления карты энергетических ресурсов области и района, определения характера и объема развития энергопотребления, составления энергетических балансов и основных технико-экономических параметров сельской электрификации. В книге приведены необходимые справочные материалы и даны формы таблиц по составлению исходных данных.

Для облегчения в пользовании рекомендуемыми таблицами и методами составления планов приведены примеры по отдельным конкретным районам. Руководство рассчитано на инженерно-технический персонал трестов и контор по сельской электрификации руководящих работников плановых и земельных органов.

Справочник по сельской электрификации. Содержит общие справочные сведения и разделы: сельскохозяйственные электрические станции; электрические трансформаторные подстанции сельскохозяйственного типа; линии электропередачи высокого напряжения, применяемые в практике сельской электрификации, воздушные линии низкого напряжения; внутренняя проводка в помещениях сельскохозяйственного назначения и жилых помещениях, электрические двигатели и электропривод в сельском хозяйстве и др.

Справочник составлен коллективом работников Главсельэлектро, Всесоюзного института механизации и электрификации сельского хозяйства и Московского института механизации и электрификации им. Молотова под общей редакцией Н. А. Сазонова и И. М. Шидарева.

Сельский электромонтер. Учебник для школ по подготовке сельских электромонтеров, составленный по программе, утвержденной Министерством земледелия Союза ССР.

Книга кроме учебных материалов содержит обширный справочный материал и может служить пособием для широких кругов работников по сельской электрификации.

Н. С



Применение электроэнергии в сельском хозяйстве зарубежных стран

(Обзор)

В настоящем обзоре приводятся некоторые фактические данные о развитии технического применения электроэнергии в сельских районах зарубежных стран; автор не ставил своей задачей дать технико-экономический анализ путей современного развития электрификации сельского хозяйства за границей, что может явиться темой специальной работы.

Общие данные. В таблице приведены данные, характеризующие развитие сельской электрификации зарубежных стран. По довоенным данным на первом месте по процентному охвату сельского хозяйства электрификацией стояли страны с наибольшей плотностью населения, как Голландия и Франция. В США—доля электрифицированных ферм к 1944 г. достигла 43% (в 1934 г. она составляла всего лишь 10,9%).

Электрификация сельского хозяйства в зарубежных странах

Страна	Число электрифицированных хозяйств		Потребление электроэнергии сельским хозяйством	
	% от общего числа хозяйств	год	млн kWh в год	год
Голландия	98,0	1935	—	—
Франция	90,0	1939	822	1942
Германия	87,0	1941	1 000	1936
Дания	85,0	1939	—	—
Швеция	75,0	1940	283	1943
Чехословакия	61,5	1937	—	—
США	43,0	1944	3 650	1945
Англия	20,0	1939	—	—
Канада	19,8	1941	—	—

Следует отметить, что в США сложилась совершенно особая система распределения электроэнергии в сельском хозяйстве, принципиально отличная от сложившейся в течение десятилетней коммунальной и пригородной системы электроснабжения, которая в общем почти без изменений используется до сих пор в сельском хозяйстве Западной Европы. Особенности распределения электроэнергии в США рассматривались в специальных обзорах [Л. 1].

Сельская электрификация США специфична не только характером распределения электроэнергии, но также и применением ее в сельском хозяйстве. Удельное потребление в США значительно выше, чем в Западной Европе. Например, в довоенной Германии потребление электроэнергии было порядка 250 kWh на одно хозяйство в год, в США около 1 000 kWh на ферму в год. Наряду с этим силовая производственная нагрузка в США значительно ниже, чем в Европе, что определяется, в первую очередь развитием механизации сельского хозяйства на базе тепловых тракторов, которых было в 1944 г. 2,1 млн. Тракторы широко используются на стационарной работе и являются серьезным конкурентом электродвигателей. В сельском хозяйстве США очень широко также применяются стационарные двигатели внутреннего сгорания, производство которых за 1944 г. составило 717 тыс. шт. В связи с этим только 20% электрифицированных ферм США (т. е. менее 10% от их общего числа) имели электродвигатели, причем в подавляющем большинстве небольшой мощности— $\frac{1}{8}$ ÷ $\frac{1}{2}$ л. с. В довоенной Германии, где тракторов имелось лишь несколько десятков тысяч штук, электродвигатели применялись больше чем в половине хозяйств. Однако, суммарная энерговооруженность сельского хозяйства Германии была в 4 с лишним раза ниже, чем в США.

Высокий уровень удельного потребления электроэнергии в США, как будет показано ниже, обусловлен, главным образом, бытовым потреблением фермеров. По имеющимся данным, только 10—30% электроэнергии (исключая фермы, расположенные в орошаемых районах Калифорнии) использовалось в фермах США на производственные нужды. Это обстоятельство, конечно, сильно сказывается на рентабельности и эффективности сельской электрификации.

В Европе и в Америке создано очень большое количество машин и аппаратов для целей электрификации сельскохозяйственного производства. В Америке, в частности, известно свыше 320 таких машин и аппаратов. Однако, очень небольшая часть из них имеет действительно массовое применение и дает в настоящее время серьезный производственный эффект. Ниже рассмотрены виды применения электроэнергии в сельском хозяйстве, которые действительно имеют массовое распространение, либо могут получить его в недалеком будущем.

Электродвигатели. Уже отмечалось относительно незначительное применение электродвигателей на фермах США. В 1944 г. их было немногим больше 0,5 млн. шт. Исходя из условий распределения электроэнергии по американским фермам, все сельскохозяйственные электродвигатели мощностью до 10 л. с. изготавливаются однофазными. Двигатели мощностью до 1 л. с., а в последнее время несколько выше 1 л. с., изготавливаются конденсаторными, остальные же репульсионно-индукционными. Свыше 90% всех электродвигателей имеют мощность $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ л. с. и могут включаться в обычную осветительную сеть. Они

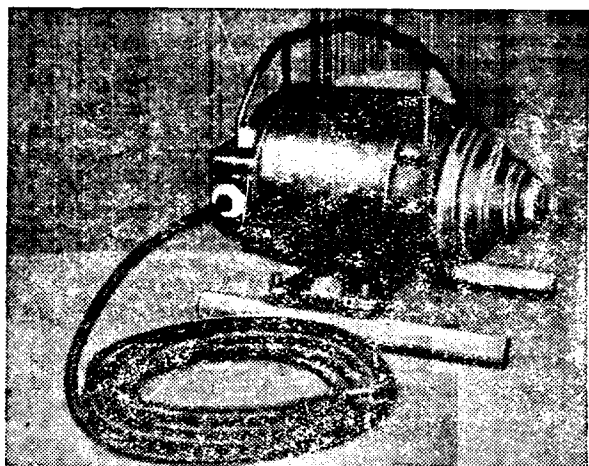


Рис. 1. Однофазный переносный электродвигатель с 4-ступенчатым шкивом.

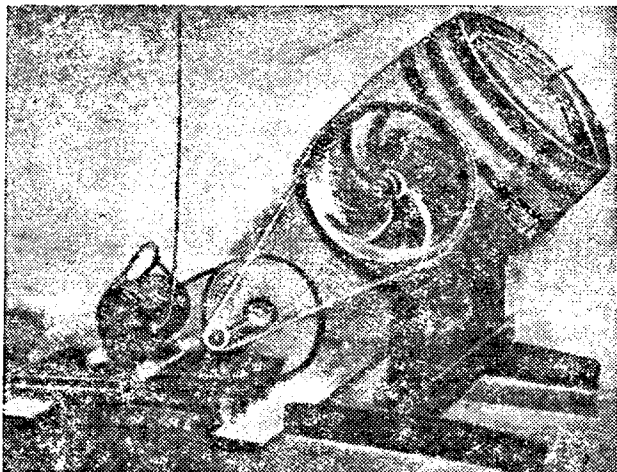


Рис. 2. Однофазный переносный электродвигатель мощностью $\frac{1}{2}$ л. с. в качестве привода маслобойки.

изготавливаются переносными и снабжаются ступенчатыми шкивами для возможности привода машин с различным числом оборотов (рис. 1). Несмотря на малую мощность, эти двигатели являются серьезным подспорьем для фермера при выполнении большого числа операций, требующих обычно мускульной силы человека. Сюда относится привод маслобоек (рис. 2), сепараторов, веялок, сортировок зерна, яблок, картофеля, станков примитивной фермерской мастерской и т. д. Выпускаются даже специальные кукурузные молотилки, силосорезки, корнерезки, бетономешалки и другие машины с потребляемой мощностью до 1 л. с.

Электродвигатели мощностью 5—7,5 л. с. применяются только на крупных фермах США. Как правило, они выполняются передвижными и монтируются на специальных тележках с кабельным питанием (рис. 3), обслуживая поочередно значительное количество сельскохозяйственных машин. Для возможности привода машин с различным числом оборотов используются сменные шкивы. Двигатели мощностью 5—7,5 л. с. дают возможность электрифицировать более энергоемкие процессы сельского хозяйства, как, например, крупные силосорезки с подачи силосной массы в башню вентилятором (рис. 4). Этот же двигатель используется для привода лебедок для подъема сена на сеновалы, а также для прессования сена, дробления кормов, циркулярных пил для распила древесины и т. д.

В европейских странах в сельском хозяйстве используются в подавляющем большинстве случаев трехфазные электродвигатели напряжением 380 В, причем относительное, а в ряде стран и абсолютное количество их больше, чем в США. Например, в Германии в 1939 г. было 1560 тыс. электродвигателей, в том числе 300 тыс. мощностью более 6 л. с. Однако, использование электродвигателей в Германии весьма низкое и составляло в среднем 100 ч в год, так как применялись они в основном для сезонных процессов полеводства.

Электромотыльба. Привод молотилок электродвигателями является основным производственным потребителем сельского хозяйства Западной Европы. В Германии была электрифицирована одна треть всех мелких молотилок (мощностью 4—6 л. с.), кроме того, 8 тыс. сложных молотилок (28—50 л. с.) из общего количества их 70 тыс. Мотыльба в этих странах производится в закрытых помещениях, в мелких хозяйствах до января, в крупных даже до марта месяца.

В США и Канаде электромотыльба почти не применяется. Это объясняется широким применением комбайнов, а также использованием тракторов и двигателей внутреннего сгорания для привода молотилок. Для американских молотилок однофазный двигатель мощностью 10 л. с. недостаточен, а двигатель большей мощности требует трехфазного питания, что в условиях американских ферм весьма дорого и невыгодно.

Орошение. В засушливых районах орошение является исключительно эффективным потребителем. Орошение повы-

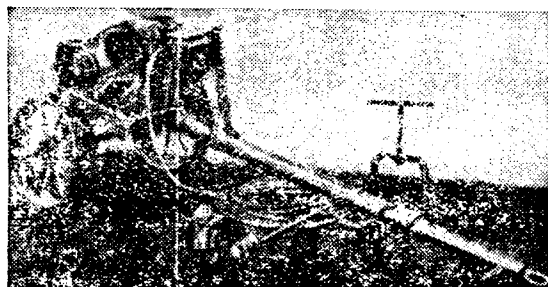


Рис. 3. Передвижной электродвигатель мощностью 5—7,5 л. с., смонтированный на тележке вместе с пусковой и защитной аппаратурой.

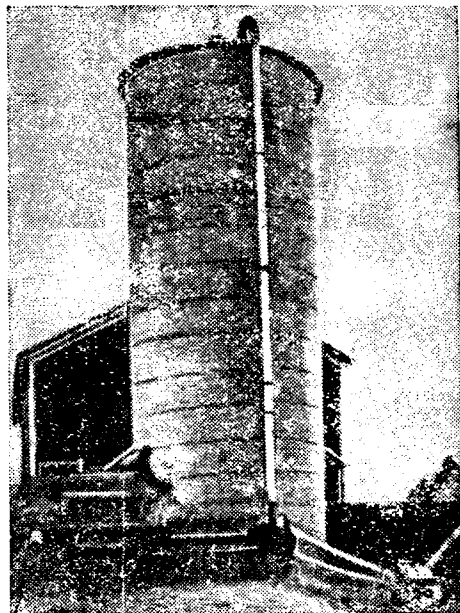


Рис. 4. Силосорезка, подающая силосную массу в башню вентилятором с приводом от передвижного электродвигателя.

шает урожайность культур в 2 раза, а иногда и больше. В то же время это весьма энергоемкий потребитель. Орошение одного гектара требует до тысячи киловаттчасов в год. В США около 30% (1 млрд kWh) всей электроэнергии, потребляемой сельским хозяйством, используется для целей орошения, причем в основном только в одном штате—Калифорния.

В европейских странах орошение применяется в значительно меньших масштабах. Например, в Италии расход на электроорошение составлял по довоенным данным около 70 млн. kWh в год, в Германии, несмотря на все попытки развития орошения, только 30—35 млн. kWh в год. Во Франции орошение применяется лишь на мелких огородах и виноградниках и обслуживается маломощными двигателями в 2—3 л. с.

Водоснабжение. Электронасосные установки для удовлетворения водой бытовых и производственных нужд жилищно-коммунальных хозяйств весьма эффективны. Они позволяют экономить значительное количество рабочей силы и средств, и к тому же наличие водопровода улучшает санитарно-гигиенические условия и повышает продуктивность скота. Однако, в США только 20% электрифицированных ферм имеют электронасосные установки; они обслуживают в первую очередь бытовые нужды фермеров (кухня, ванна и т. д.).

Электродойка. Установки для электромеханического доения коров электрифицируют одну из важных и тяжелых операций молочного животноводства. Производительность труда при электродойке повышается почти в два

раза. Несмотря на это, в Германии, например, электродойка успеха не имела. В 1933 г. в этой стране было только 21 800 электродойльных машин. Позднее количество доильных машин даже уменьшилось примерно в 2 раза. В то же время в США, особенно за годы войны, количество электродойльных машин быстро росло и в 1944 г. достигло 500 тыс. шт. В 1944 г. промышленностью США было произведено 248 тыс. электродойльных машин, в том числе 124 тыс. передвижных, рассчитанных на доение одной коровы, 55 тыс. передвижных, рассчитанных на одно-временную дойку двух коров, и 60 тыс. вакуумных, т. е. с трубопроводом, проложенным вдоль коровника и со стационарным вакуумным насосом.

Производственное электроосвещение. Электрическое освещение имеет не только культурное, но и важное производственное значение. Например, испытания, проведенные на 922 фермах 40 штатов США показали, что на проведение работ на усадьбах ферм, имевших керосиновое освещение, требовалось в среднем 3,4 часа в день, а при электрическом освещении 1,9 часа в день. Электрическое освещение применяется также для чисто производственных нужд. В США получило значительное распространение освещение в зимнее время птичников; за счет этого имеет место повышение выхода яиц. Больше 10% электрифицированных ферм имеет освещение птичников, повышающее продуктивность птицы с ноября по март на 25—45%, при установленных мощностях освещения всего 2—3 Вт/м².

В Японии в 1937 г. около 400 тыс. электрических ламп использовалось в шелководстве, для борьбы с мотыльками-вредителями на полях и даже для приманивания рыбы ночью к местам ловли. Опыты показали, что на рисовых и табачных плантациях достаточно мощность световых ловушек для мотыльков-вредителей в 60 Вт/га.

Электрообработка почвы. В этом направлении сделаны только первые шаги. В США, где на полях безраздельно господствует тепловой трактор, не велось и не ведется никаких серьезных работ в области электрификации обработки почвы. Установки по электропахоте осуществлялись в Западной Европе при кабельном способе питания. Наибольшее количество установок по электропахоте перед войной было в Италии. В 1936 г. там работало около 200 электропахотных агрегатов, большей частью канатно-лебедочного типа. Имелись специальные предприятия по выпуску электроплугов, электролебедок и электротракторов колесного и гусеничного типов. Во Франции имелось до 20 хозяйств с электролебедками для пахоты мощностью 50—100 л. с. каждая. В провинции Иль-де-Франс общество по электропахоте использовало на обработке сахарной свеклы 8—9 агрегатов. Использовались лебедки весом по 4,5 т с основными двигателями по 45 л. с. и по 10 л. с. на самопередвижение. Производительность агрегата 250—300 га в год.

В Новой Зеландии инж. Кэмп еще в 1932 г. сконструировал и изготовил электротракторы с кабельным питанием. В 1940 г. выпущено 5 машин усовершенствованной конструкции, которые работают по настоящее время, обрабатывая в год по 800 га. Мощность двигателей на них 20—25 л. с., длина кабеля 460 м, т. е. от одного присоединения они могут обрабатывать 10—13 га.

В английской технической печати указывалось на возможность обработки 10% всей пашни Британских островов электротракторами конструкции Кэмпа, для чего потребовалось бы 3 500 машин.

Электрообогрев почвы. Технически вопрос электрообогрева парников разрешен сравнительно давно. Специальный нагревательный кабель, имеющий жилу из материала высокого сопротивления, асбестовую изоляцию и свинцовое покрытие укладывается в грунт парников. Однако, при существующих ценах на электроэнергию применение электрообогрева парников в массовом масштабе экономически невыгодно даже от гидроэлектростанций, поэтому общая площадь их не поднималась выше 2 га в Швеции, 1,6 га в Германии, 0,19 га во Франции и т. д.

Мелкие производственные потребители. Наряду с перечисленными выше основными электрическими устройствами находят себе применение различные мелкие приборы и аппараты, часто изготавливаемые самими фермерами. Сюда можно отнести брудера для поросят простейшего типа в виде ящика с лампой мощностью 150 Вт в качестве на-

гревателя. Простейшие элеваторы-подъемники при мощности всего 1/4—1/2 л. с. дают возможность нагружать 6—8 т/ч при длине подъемника до 7 м и значительно облегчают погрузочно-разгрузочные работы. В США широко применяются электрифицированные изгороди. Изгороди изготовляются из голого провода, в который дается напряжение, безопасное для животных. Если животное попытается выйти за пределы огороженного участка, оно, коснувшись провода, получает болезненное электрическое воздействие, и обычно такие попытки больше не повторяются.

Из мелких потребителей можно еще отметить выпускаемый американской промышленностью набор специальных ламп с различным составом спектра, в том числе ламп, уничтожающих бактерии в воздухе, а также в молоке и других сельскохозяйственных продуктах.

Как упоминалось выше, в сельском хозяйстве США бытовая нагрузка является основной. Почти все электрифицированные фермы (80—90%) имеют электрические утюги и радиоприемники. Две трети электрифицированных ферм снабжены стиральными машинами. Эти машины облегчают стирку, сокращают в три раза потребное для этой цели время и удлиняют срок службы белья. Третья часть электрифицированных ферм имеет холодильники и 25% ферм—пылесосы.

В Западной Европе бытовая нагрузка в сельских местностях развита значительно слабее, чем в Америке, но и там достаточно широко использовались простейшие бытовые приборы—утюги, плитки и др.

Перспективы развития сельской электрификации. Вторая мировая война, естественно, приостановила развитие сельской электрификации в Западной Европе и привела к разрушению большого количества сельских электростанций. В США развитие сельской электрификации также замедлилось. В 1939—1940 гг. там было присоединено к электрическим сетям 11,8% ферм, в 1941—1942 гг.—6,9%, а в 1943—1944 гг.—только 2,2%.

В ближайшие годы, конечно, нельзя ожидать значительного развития сельской электрификации в разрушенной войной Западной Европе. В США администрации по сельской электрификации (REA) представлены конгрессом крупные средства—300 млн. долларов на год (кончающийся 30 июня 1946 г.)—в качестве кредита фермерам на электрификацию. Это почти в 2 раза превышает довоенные кредиты. Поэтому можно ожидать дальнейшего увеличения числа электрифицированных ферм США.

Заключение. Приведенные материалы показывают, что в ряде зарубежных стран электроэнергия находит все более широкое применение в сельских местностях, однако внедрение электроэнергии непосредственно в сельскохозяйственное производство происходит медленно. Массовое распространение получили, главным образом, приборы и аппараты, электрифицирующие лишь очень небольшое число производственных процессов сельского хозяйства. Наиболее энергоемкие процессы, например обработка почвы и уборка урожая, не электрифицированы. В общем балансе потребления электроэнергии сельское хозяйство имеет ничтожно малый удельный вес—в среднем порядка 1,5%. В условиях развития сельского хозяйства капиталистических стран с господством частного землевладения по понятным причинам не могут быть использованы все преимущества электрической энергии, способной при ее широком использовании во много раз повысить производительность сельскохозяйственного труда.

Кандидат с.-х. наук И. А. БУДЗКО

Литература.

1. И. А. Будзко. Обзор. Электричество, № 10, 1944; П. Г. Грудинский. Обзор. Электричество, № 4, 1946.
2. Отчеты администрации по сельской электрификации США (REA) с 1937 по 1944.
3. Журналы; El. World, Rural Electrification News, El. Review, The Electrician за 1938—1945.

Полностью электрифицированные фермы. *El. Rev.*, стр. 183—186, № 3133, 1945.

Четыре фермы различного направления в Норсамберленде (Англия) могут быть примером широкой электрификации сельскохозяйственного производства. Они снабжаются энергией по воздушной линии длиной 6 км при напряжении 20 kV через два воздушных трансформаторных пункта по 50 kVA и один—25 kVA.

Первая ферма имеет электродвигатель 18 л. с., 1 400 об/мин, приводящий молотилку, а также молотковую зернодробилку. Кроме того, имеется жмыходробилка с двигателем 3 л. с. и клубнерезка с двигателем 0,75 л. с., который также приводит машину для сортировки томатов. На ферме установлен электрозапарник кормов для свиней емкостью 350 kg с мощностью нагревателя 8,4 kW. Имеется три электроинкубатора, один на 18 000 мест с шестью нагревательными элементами по 500 W и вентилятором с двигателем 0,5 л. с. и два на 900 мест каждый, имеющие два нагревательных элемента по 250 W и двигатель вентилятора мощностью 0,25 л. с. Цыплята после инкубатора содержатся в электробрудерах (искусственных наседках) с мощностью нагревателей 5,5 kW. В жилом доме установлены: стиральная машина с котлом мощностью 3 kW, электроплита мощностью 2,75 kW, электрокипяльник 1 kW, радиаторы 3,5 kW, утюг 500 W и кофеевник 400 W. Освещение фермы имеет мощность 4 kW. Годовое потребление энергии фермой достигает 42 тыс. kWh в год.

На второй ферме электродвигатель 25 л. с., 1 000 об/мин приводит молотилку с барабаном шириной 1,35 m и зернодробилку. Имеются две клубнерезки по 0,75 л. с. и сортировка помидоров с двигателем также 0,75 л. с. Вентилятор зерносушилки производительностью 1 t зерна в час приводится двигателем мощностью 5 л. с. В жилом доме также имеются радиаторы, электрокипяльники и утюги. Мощность освещения 6 kW. Годовое потребление энергии фермой 6,3 тыс. kWh.

Третья—животноводческая, ферма имеет стадо в 35 дойных коров. Она оборудована электродойкой с двигателем 1,5 л. с., паровым котлом с электронагревателем мощностью 15 kW, стерилизатором 1,5×1,2×0,9 m и подогревателем воды емкостью 76 l мощностью 2 kW. Электродвигатель 18 л. с. приводит молотилку и веялку. Кроме того, имеются мельница с двигателем 3 л. с., клубнерезка 0,75 л. с., сортировка томатов 0,75 л. с., два радиатора, электрокипяльник и утюг. Мощность освещения 3 kW. Годовое потребление энергии фермой 22,8 тыс. kWh.

На четвертой ферме установлены двигатели 25 л. с. при 1 500 об/мин—для молотбы; два для сортировки томатов по 0,75 л. с.; для клубнерезки 0,75 л. с.; а также электроплита 2,5 kW, холодильник 0,75 л. с., радиаторы 3,75 kW, электрокипяльник 1 kW и утюг 550 W. Мощность освещения 3,5 kW. Годовое потребление электроэнергии фермой составляет 3 тыс. kWh.

V. L. England. Большая электрифицированная ферма Edison El. Inst. Bull., стр. 15 и 16, январь, 1945.

Расположенная неподалеку от Бриджетона (США) ферма Сибрук является крупнейшим в мире, после совхозов СССР, механизированным хозяйством. Обрабатываемая площадь фермы составляет 12 тыс. ha. Основная продукция фермы—овощи (горох, фасоль, бобы, шпинат, репа). Из всей продукции 70% замораживается в свежем виде, 25% высушивается и 5% консервируется в банках. Хозяйство фермы во время сезона обслуживают 7,5 тыс. рабочих, 415 грузовых автомашин, 116 тракторов, 4 самолета для борьбы с вредителями путем опрыскивания и опыления и т. д.

Электрооборудование фермы состоит из 1 000 электродвигателей общей мощностью 13 745 л. с. В том числе двигатели для компрессоров холодильников имеют мощность 1 965 л. с.; для ирригации полей—680 л. с. для сушилок 500 л. с., для водоснабжения—600 л. с. Остальные 10 тыс. л. с. обслуживают перерабатывающий

овощи завод. Максимум нагрузки составляет 3,5 тыс. kW, а в зимнее время—1,2 тыс. kW. Энергоснабжение осуществляется напряжением 35 kV через подстанцию мощностью 3,5 тыс. kVA. По территории фермы распределение электроэнергии производится напряжением 4 kV. Кроме основной нагрузки на полях фермы расположен ряд станций по очистке гороха от стручков суммарной мощностью 1 500 л. с. Их энергоснабжение осуществляется от местных электросетей. Потребление энергии на ферме составляло 15 млн. kWh в год. В 1945 г. ожидается дальнейшее увеличение нагрузки на 2,5 тыс. л. с. за счет расширения предприятия по переработке овощей.

Создание промышленными, бытовыми и сельскими потребителями хорошо балансируемой нагрузки. *El. Rev.*, стр. 251—255, № 3535, 1945.

В Йорке (Великобритания) мощности промышленных и бытовых потребителей энергосистемы почти одинаковы. Кроме того, серьезной нагрузкой является сельская зона площадью 250 km². В сельской зоне электрифицировано 2 425 потребителей (72% от общего числа). Суммарная нагрузка их составляет 2 900 kW при потреблении электроэнергии 2,79 млн. kWh в год. Затруднения с рабочей силой вызвали в последние годы значительное увеличение потребления электроэнергии на фермах. До войны использовались в основном только соломорезки, корнерезки, насосы для подачи воды и бытовые приборы. В последнее время большой популярностью начали пользоваться электродоильные машины, а также электрические стерилизаторы молока. Новым потребителем, имеющим большое будущее, являются сушилки для травы. Установка для сушки травы на одной из ферм имеет вентилятор с двигателем 15 л. с., мельницу для размолота сена с двигателем 60 л. с. и двигатель 10 л. с. для подогревателя. Пресс для сеной муки приводится электродвигателем 6 л. с. Ферма имеет собственный трансформаторный пункт с трансформатором мощностью 75 kVA. Главной причиной широкого распространения сельскохозяйственных потребителей является очень низкая стоимость электроэнергии.

Энергоснабжение осуществляется от паротурбинной электростанции, работающей на угольном топливе. На станции более двадцати лет работают два агрегата по 6 000 kW и один 3 500 kW. В 1941 г. установлен агрегат мощностью 20 000 kW. Предполагается установка второго агрегата той же мощности. Кроме того, имеется малая гидроэлектростанция, построенная в 1923 г. с напором 3,3—3,6 m. На станции работают один гидрогенератор 540 kW и один в 210 kW. Они вырабатывают в год 2—2,5 млн. kWh электроэнергии.

Распределение электроэнергии в городе производится напряжением 6,6 kV, а в сельских районах напряжением 11 kV. Сеть 11 kV образует кольцо, питающееся от трех повысительных подстанций.

Рост применения электродоильных машин. *The Electrician*, стр. 415, № 3493, 1945.

Общее число электродоильных машин, применяющихся в сельском хозяйстве Англии, возросло с 29 505 в 1942 г. до 37 770. Благодаря их использованию на больших фермах сокращается потребность в рабочей силе. Кроме того, значительно повышаются гигиенические качества молока. Опасения относительно большой сложности эксплуатации электродоильных машин, а также вредном влиянии их на животных оказались неосновательными. Потребление электроэнергии для доения колеблется от 0,5 до 0,75 kWh на одну дойную корову в неделю. На одной ферме с поголовьем от 50 до 60 коров в течение двухлетнего периода наблюдений потребление электроэнергии для доения колебалось от 18 до 26 kWh в неделю.

Электрическая сушка зерна. *El. Times*, стр. 61-62, № 3513, 1945 и стр. 331, № 3537, 1945; *The Electrician*, стр. 359 № 2787, 1945.

Электрическая сушка зерна может стать серьезным потребителем электроэнергии в сельских районах Англии. Одна из описываемых установок для сушки производительностью около тонны зерна в час имеет мощность нагревательных элементов 171 kW. Нагреватель разделен на две трехфазные группы мощностью 99 kW и 72 kW. Температура горячего воздуха для сушки поддерживается автоматически в пределах около 43°С.

Вентилятор, обеспечивающий циркуляцию воздуха, приводится электродвигателем мощностью 15 л. с. В течение 1944 г. установкой высушено 260 t зерна. Расход электроэнергии на сушку колебался от 60 до 303 kWh/t зерна в зависимости от начальной влажности. При среднем сьеме 7% влажности расход энергии составляет 129 kWh/t зерна.

R. Mallet. Заземление в сельских районах. *El. Rev.* стр. 503-505, № 3515, 1945.

Проблема зануления и заземления сельских низковольтных сетей является весьма серьезной в тех районах Англии, где отсутствует водопровод и кабельные линии. Обычный способ выполнения заземлителей в виде вертикально забитых в землю труб или стержней дает хорошие результаты для нормальных грунтов. Однако, в районах, где почвенный слой составляет лишь 0,6—0,9 m, а под ним лежит мел, песок или гравий, вертикальные заземлители неэффективны. В одном из районов с тяжелыми почвенными условиями была принята следующая система заземления открытых сельских трансформаторных пунктов. Все не токоведущие металлические части соединяются между собой и с заземляющим стержнем, забитым в грунт под рукояткой выключателя. От нулевой точки трансформатора идет изолированный провод вниз по опоре и под землей на 3 m от опоры. Здесь он соединяется с заземляющим медным голым проводом сечением 31 mm², расположенным горизонтально на глубине 0,45 m. Длина заземляющего провода составляет 36,5 m. Он прокладывается по прямой линии не ближе чем на 3 m от опор. В самых тяжелых условиях такая система заземления дает удовлетворительные результаты.

Рефераты составлены кандидатом с.-х. наук И. А. БУДЗКО



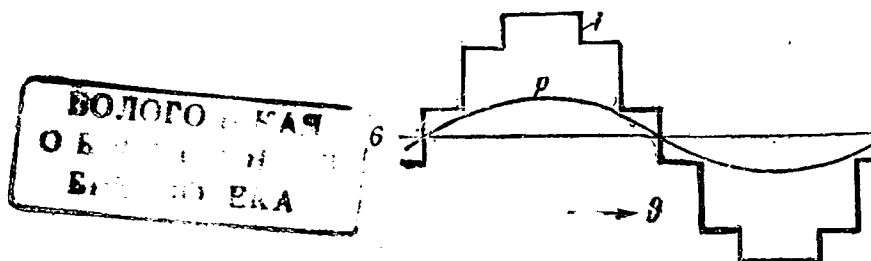
ПОПРАВКИ

В статье А. Я. Буйлова «Основные типы современных выключателей высокого напряжения» (*Электричество*, № 5, 1946) на стр. 16, левый столбец, 6 строка сверху, следует читать: „Начатые до войны и продолжавшиеся в период войны работы...“

В статье А. К. Потужного и С. М. Фертка „Загущание блуждающих волн очень высокого напряжения в 100-kV линии электропередачи“ (*Электричество*, № 6, 1946), на стр. 52, левый столбец, 14 строка сверху, следует читать: „волнам 1/5 и 1,5/40 мсес, а также...“; на стр. 57, левый столбец, 14 строка сверху после слова „пробега“ следует вставить: „до 5 km несколько возрастал, а затем на пути...“; на стр. 57, в подписи к рис. 10, следует исключить выражение „ $U_{om} = -1740$ и $U_{om} = +1670$ kV“.

В статье Б. М. Шляпошникова (*Электричество*, № 6, 1946), на схемах рис. 3 (стр. 63) и рис. 7 (стр. 64) присоединение анодных делителей и уравнительного реактора отмечено треугольником (▼), должно быть отмечено точкой.

Кривая 6 на рис. 4 той же статьи (стр. 62) должна иметь следующий вид:



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

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

Основан в 1880 году Русским
техническим обществом

12 номеров в год
по 12 печ. листов

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников в широкой области исследования и применения электричества и освещает основные теоретические и практические проблемы, связанные с развитием всех отраслей электротехники и электрификации СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Академик Б. Е. Веденеев (отв. редактор), член-корр. АН СССР А. И. Берг, д-ктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич, доктор техн. наук, проф. А. А. Глазунов, член-корр. АН СССР М. П. Костенко, академик В. Ф. Миткевич, академик Н. Д. Папалекси, доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров, канд. техн. наук И. А. Сыромятников, инж. А. И. Товстопапов, член-корр. АН СССР М. А. Шателен. Ответственный секретарь редакционной коллегии инж. Я. А. Климовицкий

В журнале принимают участие:

- Доктор техн. наук, проф. А. Е. Алексеев, доктор техн. наук, проф. К. А. Андрианов, доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров, член-корр. АН СССР В. К. Аркадьев, доктор техн. наук, проф. Р. Л. Аронов, доктор техн. наук, проф. Г. И. Атабеков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Бабат, доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд, доктор техн. наук, проф. В. В. Болотов, доктор техн. наук, проф. С. М. Брагин, член-корр. АН СССР И. С. Брук, академик С. И. Вавилов, академик Б. А. Введенский, член-корр. АН СССР В. И. Вейц, академик А. В. Винтер, член-корр. АН СССР В. П. Вологдин, доктор техн. наук, проф. А. А. Воробьев, член-корр. АН СССР Б. М. Вул, доктор техн. наук, проф. А. А. Вульф, доктор техн. наук, проф. А. А. Горев, канд. техн. наук П. Н. Горшков, проф. П. Г. Грудинский, доктор техн. наук, проф. Л. И. Гутенмахер, проф. Д. В. Ефремов, доктор техн. наук, проф. П. С. Жданов, доктор техн. наук, проф. А. М. Залесский, доктор техн. наук, проф. А. Г. Иосифьян, академик А. Ф. Иоффе, доктор техн. наук, проф. И. Л. Каганов, инж. Е. Я. Казовский, доктор техн. наук, проф. П. Л. Калантаров, доктор техн. наук, проф. М. Д. Каменский, инж. Е. Г. Комар, член-корр. АН СССР В. И. Коваленков, академик Г. М. Кржижановский, инж. Ю. С. Кронгауз, член-корр. АН СССР К. А. Круг, академик В. С. Кулебакин, действительный член АН УССР С. А. Лебедев, канд. техн. наук М. И. Левин, доктор техн. наук, проф. С. О. Майзель, доктор техн. наук, проф. Э. А. Меерович, доктор техн. наук, проф. М. М. Михайлов, доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов, доктор техн. наук, проф. Л. Р. Нейман, академик В. П. Никитин, доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов, доктор техн. наук, проф. Л. М. Писотровский, доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов, доктор техн. наук, проф. В. К. Попов, проф. В. А. Привезенцев, инж. И. И. Ратгауз, доктор техн. наук, проф. С. А. Ринкевич, доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд, проф. Е. А. Руссаковский, канд. с.-х. наук Н. А. Сазонов, доктор техн. наук, проф. Л. И. Сиротинский, доктор техн. наук, проф. И. С. Стекольников, канд. техн. наук Б. М. Тареев, проф. Б. А. Телешев, доктор техн. наук, проф. П. М. Тиходеев, доктор техн. наук, проф. В. А. Толвинский, доктор физ.-мат. наук, проф. В. А. Фабрикант, доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет, доктор техн. наук, проф. Е. Г. Шрамков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Штурман, доктор техн. наук, проф. Н. Н. Щедрин и др..

Подписная цена на год 96 руб.

Подписка принимается в отделениях „Союзпечати“ и на почте

Подписку можно также направлять по адресу:

Москва, Шлюзовая набережная, 10—Госэнергоиздат.

При внесении годовой платы, хотя и не в начале года, подписчикам доставляются все вышедшие в 1946 г. номера журнала.