

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

*25-летие со дня образования Госу
по электрификации Росс*

Основа экономической мс

Д. Г. ЖИМЕРИ

Народный комиссар электростанций СССР

25 лет тому назад — 21 февраля 1920 года — по предложению В. И. Ленина была образована комиссия, которой было поручено составить первый государственный план развития всего народного хозяйства на новейшей технической основе электрификации страны.

В Государственную комиссию по электрификации России (ГОЭЛРО) были привлечены крупнейшие специалисты. К концу 1920 г. комиссией был разработан и представлен на утверждение VIII Всероссийского Съезда Советов «План электрификации РСФСР», получивший одобрение и утверждение Съезда. План ГОЭЛРО предусматривал широкое развитие электрификации страны с охватом всех основных промышленных центров, со строительством в них крупнейших электростанций, объединенных между собой в энергетические системы.

Одновременно план предусматривал подъем всего народного хозяйства, перевооруженного на новой технической базе — базе электрификации.

Значение этого плана было высоко оценено В. И. Лениным и Н. В. Сталиным.

В. И. Ленин считал план ГОЭЛРО «второй программой партии». Владимир Ильич неоднократно подчеркивал особое значение для молодой Советской республики осуществления плана ГОЭЛРО.

Товарищ Сталин охарактеризовал план ГОЭЛРО, как мастерский набросок действительно единого и действительно государственного хозяйственного плана без кавычек».

Такая оценка плана ГОЭЛРО вытекала из сущности ленинско-сталинского учения о построении социализма в нашей стране и необходимости создания прочной экономической базы социалистического общества.

В 1913 году Россия занимала по выработке электроэнергии одно из последних мест, отставая даже от таких стран, как Норвегия и Швейцария. Подъем народного хозяйства и его техническое перевооружение, индустриализацию страны возможно было осуществить без электрификации.

План ГОЭЛРО предусматривал сооружение в течение 15 лет 30 новых электростанций, из них 10 гидроэлектростанций, и расширение существующих общей мощностью 750 тыс. киловатт.

Осуществление великого ленинско-сталинского плана электрификации страны началось в годы хозяйственной раздачи, в период, когда молодая Советская республика не занимала вооруженную борьбу за свое существование. Ещё в создании комиссии ГОЭЛРО было предусмотрено к сооружению Волховской гидроэлектростанции и Каширской тепловой электростанции.

Уже к 1928 г. намётки плана ГОЭЛРО были значительно перекрыты: мощность электростанций увеличилась до 1 905 тыс. квт. К этому времени были сооружены следующие электростанции: Каширская на подмосковном угле (1922 г.), «Красный Октябрь» на торфе (1922 г.), Кизеловская на местном угле (1924 г.), Горьковская ГРЭС на торфе (1925 г.), Шатурская имени В. И. Ленина на торфе (1925 г.). В 1926 году в строй вошли Штеровская ГРЭС на антрацитом штыбе, Узбекская гидроэлектростанция Боз-Су и Волховская ГЭС имени Ленина. В следующем году вошли в строй: на Урале — Егоршинская и Кушвинская ГРЭС и гидроэлектростанция ЗаГЭС. Кроме того к 1928 году были пущены новые мощные агрегаты на старых электростанциях.

В годы сталинских пятилеток энергетическая база страны развивалась вместе с бурно растущей промышленностью; и к началу Отечественной войны СССР прочно занял и по производству электроэнергии второе место в Европе и третье место в мире, опередив такие страны, как Англия, Франция, Япония и др.

Электрификация СССР позволила широко внедрить электроэнергию во все отрасли народного хозяйства. В 1935 г. коэффициент электрификации основных отраслей промышленности увеличился: в угольной и химической промышленности — до 94%, в машиностроении — до 95%, в цветной металлургии — до 98%. Широкое применение электричества позволило перевооружить промышленность, создать новые отрасли производства (электросталей, ферросплавов, алюминия, магния) и резко увеличить производительность труда.

В Отечественной войне с гитлеровской Германией советский народ одержал экономическую победу над врагом. Базой этой великой победы явилась наша социалистическая промышленность, достигшая своего высокого уровня на основе электрификации.

В соответствии с указаниями В. И. Ленина планом ГОЭЛРО предусматривалось строительство гидроэлектростанций и электростанций на базе местных топлив с широким использованием торфа, местных низкосортных углей, топливных отбросов. По использованию торфа, как топлива для электростанций, СССР вышел на первое место; торфяные электростанции сжигают ежегодно миллионы тонн торфа, заменяя им высокоценное топливо. Наши крупнейшие электростанции работают на местных, низкосортных, многозольных и влажных бурых углях и штыбах. Таковы мощные Каширская и Сталиногорская ГРЭС, сжигающие подмосковный уголь, Зуевская, Штеровская и Шахтинская ГРЭС, Каменская ТЭЦ и ряд других, работающих на антрацитовых штыбах. За годы войны на Урале были сооружены две крупнейшие электростан-

ции страны — Красноярская ТЭЦ и Челябинская ТЭЦ, — эти станции целиком работают на низкосортных многозольных челябинских углях.

В годы сталинских пятилеток были сооружены крупнейшие гидроэлектростанции: Днепровская, Свирская, Тавакская, Комсомольская и ряд других. Строительство гидроэлектростанции не прекращалось и в годы Отечественной войны. Особенно серьезного размаха оно достигло в Ташкентском районе, где было сооружено 5 гидроэлектростанций. Это обеспечило промышленное развитие Ташкентского района и превращение его в один из индустриальных центров страны.

Одновременно с развитием энергетики шло развитие теплофикации страны и теплоснабжения промышленности.

Теплоэлектроцентрали, сочетая выработку электроэнергии с отпуском тепла, дают бесспорные технические и экономические преимущества по сравнению с раздельной выработкой тепла и электроэнергии. Во всех крупных городах СССР — Москве, Ленинграде, Харькове, Киеве, Ростове — были проведены серьезные работы по теплоснабжению (паром и горячей водой) жилых домов и промышленных предприятий.

Развитие энергетики за истекшие 25 лет шло не только по пути количественного роста. Одновременно происходили серьезные сдвиги в перевооружении советской энергетики на новой технической основе. За это время наша промышленность освоила и на электростанциях были смонтированы и пущены в работу мощные турбины в 25, 50 и 100 тыс. киловатт и котельные агрегаты паропроизводительностью 90, 120 и 200 тонн пара в час.

С ростом и развитием электрических станций в СССР образовались мощные энергетические системы в Москве, Днепропсе, на Урале, в Приднепровье и других районах. Одновременно в соответствии с общими наметками плана ГОЭЛРО происходило их объединение. В данное время объединены: Горьковская, Ивановская, Ярославская и Московская энергосистемы, Ростовская, Донбасская и Приднепровская энергосистемы. Объединение энергосистем даёт возможность с большой выгодой использовать резервы мощности электростанций.

Внедрение технически совершенных агрегатов и строительство теплоэлектроцентралей благоприятно сказалось на технико-экономических показателях работы электростанций. Если в 1913 г. районные электростанции расходовали на выработку киловатт-часа 1060 граммов топлива, то в 1941 г. расход составлял всего 580 граммов. В период Отечественной войны советские энергетики добились дальнейшего улучшения технико-экономических показателей. В 1944 году расход топлива сократился до 572 граммов на выработанный киловатт-час.

Отечественная война поставила перед энергетиками чрезвычайно важные задачи: нужно было быстро демонтировать и доставить вглубь страны турбины, котлы и другое энергетическое оборудование, ускоренными темпами развернуть строительство электростанций в новых районах для обеспечения бурно растущих потребностей военной промышленности. Работники наших электростанций и электросетей самоотверженно выполняли эту работу. В тыл было отправлено более 11 тысяч вагонов оборудования. Значительная часть его была использована при строительстве новых электростанций на Урале и в Сибири.

За период 1941—44 гг., в результате строительства новых и расширения существующих станций установленная

мощность электростанций Урала, Новосибирска, Ташкента, Казани возросла почти в два раза, Омска, Куйбышева, Крайнды и Красноярска — в три и более раз, Кузбасса — почти в два раза и т. д.

Начиная с 1942 г., вслед за победоносным наступлением нашей дообестной Красной Армии советские энергетики приступили к восстановлению разрушенных фашистскими варварами электростанций. Восстановление энергетического хозяйства электростанции все нарастающими темпами. Так, в 1941 было восстановлено почти в два раза больше мощностей, чем в 1942 году. К концу 1944 г. было введено в эксплуатацию 35 районных электростанций и среди них Зуевская и Сталинградская ГРЭС мощностью до 150 тыс. киловатт, Волховская ГРЭС на полную довоенную мощность. Пущены в работу электростанции Ростова, Приднепровья, Одессы, Николаева, Львова, Каменска и ряда других городов.

Огромную работу прделали энергетики-сетевики. Они восстановили все разрушенные немецко-фашистскими захватчиками магистральные линии электропередачи и распределительные сети и подстанции.

Успехи, достигнутые при восстановлении электростанций и сетей, являются результатом самоотверженного труда советских людей. На Зуевской ГРЭС 3 мощных турбины с 50 тыс. киловатт были собраны в рекордно короткий срок из частей различных машин; на Северо-Донецкой ГРЭС турбогенератор в 10 тыс. киловатт был смонтирован за 15 дней вместо нормальных 30—40 дней.

Советские специалисты при восстановлении электростанций решали ряд сложных технических вопросов. Немцы взорвали 130 барабанов паровых котлов. Враги рассчитывали на то, что сварка барабанов не может быть применена, завод, производящий барабаны котлов, разрушен. Задачу восстановления взорванных барабанов с помощью сварки блестяще разрешили советские энергетики — инженеры Красnodарской, Шахтинской и Зуевской ГРЭС. Этот опыт был перенесен и на все другие электростанции.

За истекшие 25 лет советская энергетика прошла слауный путь развития. Партия, правительство и товарищи Сталин поставили перед советскими энергетиками новые задачи. Основная из них — быстрое восстановление разрушенных немецко-фашистскими варварами электростанций на новой технической базе. Уже к концу 1945 г. надо довести мощность электростанций до довоенного уровня. Советские энергетики должны неустанно обеспечивать прирост новых мощностей и полностью удовлетворять растущие нужды всех отраслей народного хозяйства.

За ближайшие два года нужно построить до 40 гидр электростанций, используя огромные водные ресурсы СССР и около 30 тепловых электростанций.

Советским энергетикам предстоит решить задачу более широкого внедрения пара высокого давления и температур автоматизировать многие процессы на электростанциях. Это позволит, наряду с сокращением количества обслуживающего персонала, обеспечить дальнейшее и еще большее снижение расходов топлива и электроэнергии.

Военная промышленность, народное хозяйство требуют бесперебойного электроснабжения страны нужным количеством электроэнергии высокого качества. Советские энергетики, под руководством партии Ленина—Сталина, достигнув новых успехов и с честью решают поставленные перед ними задачи.

220-летие Академии наук СССР

В связи с исполнившимся 220-летием Академии наук СССР Совет Народных Комиссаров СССР создал юбилейный комитет под председательством президента Академии В. Л. Комарова. В состав комитета вошли А. А. Байков, В. П. Волгин, Н. Д. Зелинский, Л. А. Орбели (заместители председателя), Н. Г. Бруевич (ответственный секретарь), А. И. Абрикосов, В. М. Алексеев, И. П. Бардин, А. Н. Бах, С. Н. Бернштейн, А. А. Богомолец, Н. Н. Бурденко, С. И. Вавилов, Е. С. Варга, В. А. Веснин, Б. Е. Веденеев, И. М. Виноград, Н. А. Вознесенский, А. Я. Вышинский, Н. Ф. Гама-

лея, Б. Д. Греков, С. А. Зернов, А. Ф. Иоффе, П. Л. Капица, С. В. Кафтанов, И. Ю. Крачковский, А. Н. Крылов, Т. Д. Лысенко, И. И. Мещанинов, Н. А. Морозов, Н. И. Мухелишвили, А. Н. Несмеянов, В. А. Обручев, И. А. Орбели, В. П. Подемкин, Л. И. Прасолов, Д. Н. Прянишников, Н. Н. Семёнов, А. Н. Толстой, А. Е. Фаворский, А. Е. Ферсман, Е. А. Чудаков.

На комитет возложены подготовка и проведение празднования 220-летнего юбилея Академии, которое по решению Совнаркома СССР состоится мае 1945 года. (ТАСС).

УКАЗ

ПРЕЗИДИУМА ВЕРХОВНОГО СОВЕТА СССР

О награждении академика Веденева Б. Е. орденом Ленина

За выдающиеся заслуги в области энергетики, в связи с 60-летием со дня рождения, наградить академика Веденева Бориса Евгеньевича орденом Ленина.

Председатель Президиума Верховного Совета СССР М. КАЛИНИН

Секретарь Президиума Верховного Совета СССР А. ГОРКИН

Москва, Кремль. 1 января 1945 г.



Академик ВЕДЕНЕВ Б. Е.

Борис Евгеньевич Веденев

К 60-летию со дня рождения

Научная общественность нашей страны вместе с широкими кругами советских энергетиков в январе 1945 г. отметила шестидесятилетие академика Бориса Евгеньевича Веденева, выдающегося ученого, инженера-гидротехника и одного из передовых деятелей ленинско-сталинской электрификации СССР.

Борис Евгеньевич Веденев родился 2 января 1885 г. в г. Тифлисе (Тбилиси) в семье инженера-путейца. По окончании средней школы Борис Евгеньевич поступил в Петербургский институт инженеров путей сообщения, который окончил в 1909 г. со званием инженера-гидротехника. После окончания института, в период заграничной командировки, Б. Е. Веденев изучал электротехнику и начал работать в области гидроэнергетики. По возвращении на родину он принимал участие в разработке одного из первых вариантов использования энергии Днепровских порогов. Дальнейшие годы практической инженерной деятельности Б. Е. посвящены главным образом изысканиям, проектированию и строительству судовых морских портов на Дальнем Востоке и в районе Мурманска.

Широкая творческая работа Б. Е. Веденева, всецело направленная к укреплению хозяйственной и оборонной мощи нашей родины, развернулась главным образом в годы после Великой Октябрьской социалистической революции.

С первых же дней претворения в жизнь великого ленинско-сталинского плана электрификации страны начинается второй основной этап деятельности Бориса Евгеньевича, как руководящего инженера, ученого и государственного деятеля. Начиная с 1920 г., Б. Е. Веденев принимает участие в строительстве Волховской гЭС, а по завершении Волховстроя в 1927 г. переходит на сооружение нового крупнейшего объекта гидроэнергетики — Днепровской гидроэлектростанции, где он является главным инженером и заместителем начальника строительства.

Имя Б. Е. Веденева неразрывно связано со строительством Днепровской гидроэлектрической станции. В частности, на Днепрострое он выдвинул и осуществил оригинальную схему производства строительных работ, которая, выгодно отличаясь от предложенных иностранных консультаций, ускорила и облегчила сооружение плотины и здания гЭС.

После успешного завершения Днепростроя Б. Е. Веденев становится во главе руководства крупным гидроэнергостроительством.

На протяжении всей своей широкой инженерной деятельности Борис Евгеньевич уделяет время научной и педагогической работе. В годы строительства Волховской гЭС он преподавал в Ленинградском институте инженеров путей сообщения; в 1923 г. в этом же институте он заведует кафедрой гидросиловых установок и опубликовывает одно из первых в СССР руководств по вопросам гидроэнергетики; позже он —

профессор по кафедре утилизации водной энергии в Московском инженерно-строительном институте им. Куйбышева.

Исключительно выдающаяся инженерная и научная деятельность Б. Е. Веденева в области энергетики послужила основанием для избрания его в 1932 г. действительным членом Академии наук СССР. В стенах Академии наук Б. Е. принимает деятельное участие в работах ученых советов Энергетического института им. Кржижановского и Секции по научной разработке проблем водного хозяйства.

Дарование Б. Е. Веденева, как ученого и инженера, крайне разносторонне. Он является крупнейшим специалистом в области строительного искусства, в деле возведения ответственных гидротехнических сооружений и одновременно признанным авторитетом в таких сложных вопросах, как развитие электроэнергетического хозяйства основных промышленных районов страны. Только немногим передовым ученым свойственно такое сочетание глубокой научной эрудиции с многосторонним практическим опытом.

В годы Великой Отечественной войны с немецко-фашистскими захватчиками Б. Е. Веденев, являясь заместителем члена Государственного Комитета Обороны, заместителем народного комиссара электростанций СССР и председателем Технического совета НКЭС, проводит большую работу по мобилизации энергетики восточных районов на нужды обороны, по дальнейшему развертыванию гидроэнергостроительства и по восстановлению ДнепрогЭС и других объектов энергетического хозяйства, разрушенных врагом.

Б. Е. Веденев одновременно ведет большую общественно-политическую работу. Он является Депутатом Верховного Совета Союза ССР от Карело-финской ССР — страны белого угля, членом Чрезвычайной Государственной Комиссии по установлению и расследованию злодеяний немецко-фашистских захватчиков и их сообщников и причиненного ими ущерба, председателем Всесоюзного совета научных инженерно-технических обществ, ответственным редактором журнала «Электричество».

За крупные заслуги в области энергетики правительство наградило Б. Е. Веденева тремя орденами Ленина и орденом Трудового Красного Знамени. Многолетняя творческая деятельность Бориса Евгеньевича в науке и технике отмечена Сталинской премией первой степени.

Приветствуя в лице Бориса Евгеньевича Веденева выдающегося деятеля электрификации СССР, ученого и патриота, от всей души желаем ему здоровья на многие годы и дальнейших успехов в его огромной и плодотворной работе.

М. А. Шателен, А. В. Винтер, Г. М. Кржижановский, В. Ф. Миткевич, К. И. Шенфер, В. И. Вейц, Б. А. Телешев.

В современной светотехнике, где применение люминесценции знаменует собой важный этап развития электрических источников света и перехода к новым эффективным методам генерации света,— проблемы экономии электроэнергии и рационализации освещения в значительной мере определяются масштабами использования люминесценции. Имея в виду необходимость широкого ознакомления читателей с вопросами люминесценции, редакция помещает статьи академика С. И. Вавилова, а также доктора физико-математических наук В. А. Фабриканта, инж. В. И. Долгополова и инж. Ф. А. Бутаевой по этим вопросам.

Несколько слов о понятии и значении люминесценции

Академик С. И. ВАВИЛОВ

Люминесценция давно стала достоянием науки. Ею занимались Галилей, Бойль, Ньютон, Эйлер, Бошкович, наш соотечественник академик В. В. Петров,—и все же ее следует считать совсем молодой дисциплиной. Основная причина такого положения дела в том, что понимание люминесценции, хотя бы в самых общих чертах, стало возможным только со времени открытия квантовых свойств света и вещества, т. е. с начала XX века.

С другой стороны, серьезные технические применения люминесценции могли реализоваться лишь на основе новых физических и технических результатов в других областях. Люминесцентный анализ практически встал на ноги со времени появления стекла Вуда и доступной электрической ртутной лампы. Люминесцентные лампы приобрели технические права гражданства лишь с тех пор, как удалось преодолеть трудности изготовления ртутных ламп низкого давления. Светящиеся составы постоянного действия (если не говорить об ураниловых соединениях и минералах) не могли существовать раньше открытия радия, а применения люминесценции в светомаскировке, телевидении, радиолокации, ночном видении родились только вместе с самими этими техническими областями.

Коротко говоря, развитие люминесценции тормозилось отсутствием правильного теоретического стержня и больших технических применений. В наше время есть то и другое, и естественно начался быстрый рост нашей области.

Первая Международная конференция по вопросам люминесценции состоялась в 1936 г. в Варшаве, вторая, собранная Фарадеевским обществом,— в 1938 г. в Оксфорде. По условиям военного времени мы, к сожалению, не могли рассчитывать на участие наших иностранных коллег на настоящей сессии.

Потребность в обсуждении вопросов люминесценции велика, она диктуется обилием и в то же время малой согласованностью работ в этой области. Я хотел бы с самого начала обсудить вопрос, можно сказать, о первом слове нашей науки, о том, что следует называть *люминесценцией*.

Это приходится сделать потому, что даже по этому вопросу единого мнения нет. В многочисленных современных книгах и статьях можно найти весьма разнообразные и иногда очень причудливые определения люминесценции. В этом нетрудно убедиться. Я ограничусь одним примером. Н. Риль в книге «Физика и технические применения люминесценции», вышедшей в 1941 г., с первых же строк пишет следующее:

«Основное различие температурного излучения и люминесценции состоит в том, что поглощаемое

люминесцирующим телом «возбуждающее» излучение переходит не в тепловой запас тела, а удерживается в форме потенциальной энергии, которая затем без окольной дороги тепловых атомных колебаний снова излучается частично или полностью в виде люминесценции».

Это определение Риль, несмотря на то, что многое в нем правильно, все же внутренне противоречиво, так как в температурном излучении частые элементарные процессы излучения обязательно будут происходить непосредственно после возбуждения без промежуточного перехода возбуждения энергию молекулярных колебаний. Иными словами по Рилью часть температурного излучения в сущности соответствует люминесценции.

Методологическим пороком определения Риль является кроме того вообще апелляция к элементарным процессам, далеко не всегда доступным прямому или косвенному измерению. Трудно понять, почему Риль предпочитает свое явно дефектное определение классическому и безупречному определению Видемана. Опираясь на теорему Кирхгофа, согласно которой равновесное температурное излучение любого тела равно произведению излучения черного тела при той же температуре на поглонительную способность тела, Видеман определяет люминесценцию как избыток излучения тела над указанным температурным излучением. Это определение точно, не противоречиво и опирается на свойство, непосредственно измеримое, т. е. монохроматическую интенсивность. Оно ясно отделяет температурное излучение от всех других видов световой радиации не по элементарным актам, ибо эти акты, вообще говоря, те же самые в люминесценции и в температурном излучении, но по термодинамическому признаку. Температурное излучение отвечает таким превращениям энергии в световую, которые (в случае равновесия между теплом и радиацией) сопровождаются максимальным возрастанием энтропии, в то время как при идеальном люминесцентном процессе изменения энтропии вообще может не происходить.

Казалось бы вполне можно остановиться и согласиться на видемановском определении люминесценции. У этого определения, однако, имеется большой практический недостаток — излишняя широта. В него укладываются и такие случаи излучения, которые по физической сущности очень далеки от привычной люминесценции. В видемановское определение входят, как легко видеть, все случаи отражения и рассеяния света, в частности, комбинационное рассеяние, а также своеобразное явление, изученное П. А. Черенковым и состоящее в видимом свечении в среде при движении в ней электронов со скоростями, превышающими фазовую скорость света.

¹ Вступительная речь к докладам по вопросам люминесценции на сессии Отделения физико-математических наук Академии наук СССР (октябрь 1944 г.).

У нас никто не отнимает права называть люминесценцией круг явлений во всю видемановскую широту. Однако всякий физик, много лет занимающийся люминесценцией, чувствует, что при таком определении воедино складываются процессы, которые мы привыкли резко разделять.

Мы знаем пять признаков, эмпирически вполне характеризующих излучение, это—интенсивность, спектр, поляризация, когерентность² и длительность послесвечения. Интенсивность уже применена для выделения температурного излучения, спектр может быть чрезвычайно разнообразным и во всяком случае явился бы весьма сложным и громоздким признаком классификации, то же самое следует сказать относительно поляризации. Когерентность разделяет излучение на два следующие класса: в одном излучение двух различных, хотя бы и близких, точек среды некогерентно, в другом наоборот излучение близко расположенных (в пределах длины волны) точек когерентно. К когерентному излучению относится отражение, релеевское рассеяние³ и излучение Черенкова; в то же время комбинационное⁴ рассеяние некогерентно, как и все привычные случаи люминесценции. Таким образом, если бы мы взяли за основу разделения всей видемановской области когерентность, то комбинационное рассеяние пришлось бы отделить от релеевского и присоединить к люминесценции. Искусственность такого деления ясна.

Иначе складывается дело в отношении последнего из названных признаков свечения — *длительности*. Длительность процессов отражения и рассеяния как релеевского, так и комбинационного, точно так же как свечения Черенкова, практически бесконечно мала (ее можно полагать величиной порядка периода световых колебаний). В то же время средняя длительность типично люминесцентных процессов — величина конечная, поддающаяся измерению. Никаких исключений или особых случаев при этом неизвестно. Таким образом конечная *длительность послесвечения* естественно отделяет класс явлений, который мы фактически привыкли называть люминесценцией, от других случаев нетемпературного излучения.

Еще короче говоря, мы предлагаем принять следующее определение люминесценции. Будем называть люминесценцией *избыток над температурным излучением тела в том случае, если это избыточное излучение обладает конечной длительностью примерно от 10^{-10} сек. и больше.*

² Когерентность.— свойство лучей, необходимое для интерференции.

³ Релеевское рассеяние — молекулярное рассеяние света.

⁴ Комбинационное рассеяние — рассеяние света, сопровождающееся изменением длины волны рассеиваемого света. Прим. ред.

Для нетемпературного излучения, выходящего за рамки нашего определения, можно предложить наименование *вынужденного излучения* в соответствии с классическим толкованием отражения, рассеяния и излучения Черенкова. Разумеется, почти всякий реальный случай свечения будет смешением температурного, люминесцентного и вынужденного свечения. «Чистый случай» реализуем только для температурного излучения.

Преимущество данного определения люминесценции состоит прежде всего в его полном соответствии фактической классификации явлений оптиками и во-вторых в том, что оно опирается на вполне измеримые свойства излучения. Замечу мимоходом, что именно это определение позволило нам в свое время доказать, что универсальное *синее свечение* «чистых» жидкостей, считавшееся некоторыми индусскими физиками за новый вид рассеяния, в действительности есть обычная люминесценция и вызывается загрязнениями. Наоборот в случае свечения Черенкова именно это определение позволило доказать, что перед нами не люминесценция, а особое явление в отличие от того, что думали многие физики, замечавшие это свечение, но считавшие его обычной флуоресценцией.

Современное учение об атомах и молекулах выросло на основе изучения люминесценции разреженных газов и паров, и это в значительной мере пройденный этап. Наоборот, понимание свечения жидкостей и твердых тел во многом еще только начинается, и в этой области необходимо подвести некоторые предварительные итоги и наметить программу будущих исследований. К свечению твердых и жидких тел относятся также и наиболее важные практические применения люминесценции, люминесцентный анализ, люминесцентные лампы и другие светотехнические применения люминофоров.

На широчайшем фронте науки и техники люминесценция составляет только узкий специальный участок. Этот участок, однако, важен и необходим. Доказательство этого — *в тысячах работ по люминесценции*, появляющихся в научных и технических журналах, в росте количества лабораторий по люминесценции как у нас на родине, так и за границей, в применении люминесценции на фронте и в выпуске американской промышленностью десятков миллионов электролюминесцентных ламп.

Нам необходимо теперь, в дни славных побед Красной Армии и явно приближающегося конца войны, быть готовыми к решению бесчисленных задач, которые поставит мирное строительство. Не забудем впрочем, что война еще не кончена и что работы в области люминесценции могут оказать и дальнейшую помощь делу победы как непосредственно на фронте, так и в промышленности.

Некоторые проблемы, связанные с разработкой люминесцентных ламп

Доктор физико-матем. наук, проф. В. А. ФАБРИКАНТ, инж. Ф. А. БУТАЕВА,
инж. В. И. ДОЛГОПОЛОВ

Всесоюзный электротехнический институт

Как известно, в люминесцентных лампах процесс преобразования электрической энергии в световую распадается на два этапа. Сначала в газовом разряде происходит превращение электрической энергии в энергию ультрафиолетовых лучей, испускаемых разрядом, а затем ультрафиолетовые лучи попадают на люминесцирующий порошок, покрывающий внутренние стенки лампы, и вызывают свечение этого порошка. Таким образом люминофор превращает ультрафиолетовые лучи в видимый свет.

Ясно, что экономичность люминесцентной лампы определяется произведением к. п. д. обоих процессов преобразования энергии².

Ртутный разряд как источник ультрафиолетового излучения. В люминесцентных лампах используется для возбуждения люминофоров ультрафиолетовое излучение разряда в парах ртути при низком давлении. Поэтому приобретает особый интерес вопрос о свойствах ртутного разряда низкого давления как генератора ультрафиолетового излучения.

Рабочая температура стенок люминесцентной лампы составляет 40° С, что соответствует давлению паров ртути, примерно равному 10⁻² мм рт. ст.

Было показано ранее, что при таком давлении в излучении чисто ртутной лампы должны преобладать две коротковолновые ультрафиолетовые линии 1850 Å и 2537 Å (резонансные линии ртути). Интенсивности этих линий в указанных условиях должны быть близки между собой (Л. 1).

Однако в люминесцентных лампах кроме ртути присутствует аргон при давлении 4 мм рт. ст., влияющий на механизм возбуждения резонансных линий в разряде. Для возбуждения линии 1850 Å необходимы электроны со скоростями не ниже 6,7 эВ; для возбуждения линии 2537 Å — 4,9 эВ (Л. 2). Измерения, проведенные при помощи зондов Лэнгмюра, показали, что введение аргона повышает концентрацию электронов с 2·10¹⁰ до 2,6·10¹¹, но снижает электронную температуру (энергию электронов) с 18 100° К до 13 000° К, т. е. в полтора раза. Это снижение электронной температуры сильнее сказывается на линии 1850 Å, чем на линии 2537 Å, ввиду указанного выше различия в потенциалах возбуждения. Соотношение интенсивностей этих линий резко изменяется, причем интенсивность линии 1850 Å должна стать примерно в два раза ниже, чем интенсивность линии 2537 Å.

Роль каждой линии в возбуждении люминофоров определяется произведением из интенсивности линии на чувствительность люминофора к данной линии. Ясно, что никакие эксперименты, использующие только измерения яркостей люминофоров, не могут дать возможности разделить эти величины. С практической точки зрения это разделение, однако, не всегда существенно. Часто важно знать только, какую долю яркости люминесценции вызывает одна линия и какую другую.

В 1940 г. (Л. 3) были начаты эксперименты, выясняющие этот вопрос. В основу их положен весьма простой метод, сущность которого состоит в том, что люминофор закрывается фильтром, отсекающим коротковолновое излучение и пропускающим более длинноволновое. В нашем случае фильтр пропускал линию 2537 Å и отсекал линии 1850 Å. По изменению яркости люминофора можно оценить роль коротковолнового излучения в возбуждении люминофора. В 1940 г. эксперименты были проведены с высоковольтными кварцевыми лампами низкого давления, причем люминофор помещался вне лампы на близком расстоянии. В 1943—1944 гг. эти эксперименты были продолжены, причем образцы люминофоров уже находились на внутренней стенке нор-

мальной люминесцентной лампы, работающей в обычных условиях. Люминофоры закрывались пластинкой из увиолев стекла (разработанного инж. Ф. П. Ощипковым). Пропускание стекла для линии 2537 Å было измерено отдельно и оказалось равным 50%. При закрывании люминофора стеклом яркость снижалась до 25—26%. Эксперименты с советскими и американскими люминофорами дали близкие значения.

Из приведенных результатов можно сделать важный вывод, что линии 1850 Å и 2537 Å в равной мере участвуют в возбуждении люминофоров в обычных люминесцентных лампах. Этот вывод полностью расходится с точкой зрения, фигурирующей почти во всех американских работах (Л. 4), где ответственной за возбуждение люминофоров в люминесцентных лампах считают одну линию 2537 Å. Только в работе Тейера и Бэрса (Л. 5) сделана осторожная оговорка о возможной роли линии 1850 Å. Однако даже в этой работе все расчеты и рассуждения выполнены без учета линии 1850 Å. Поэтому приводимые в этой работе пределы возможных значений для светоотдач люминесцентных ламп вычислены неправильно и нуждаются в исправлениях.

Сопоставляя теоретические данные о соотношении интенсивности линии 1850 Å и 2537 Å с результатами измерений яркостей с фильтром, можно с известной осторожностью сделать вывод о том, что лампы люминофоры имеют большую чувствительность к линии 1850 Å, чем к линии 2537 Å. Этот результат не противоречит данным, полученным Бизом (Л. 6), но, к сожалению, сами данные Биза надежны и вызывают сомнения (Л. 7). В эксперименте 1940 г. авторами было уже установлено, что чувствительность к линии 1850 Å сильно зависит от рецептуры люминофора.

Оптика люминесцирующего слоя. Люминофор наносится в люминесцентных лампах в виде слоя порошка, состоящего из большого числа мелких кристалликов. Светоотдача лампы зависит не только от свойств отдельного монокристалла люминофора, но и от структуры и толщины слоя. Влияние структуры слоя приобретает важную роль благодаря тому, что свет люминесценции должен проходить сквозь этот слой прежде чем выйдет наружу. Слишком толстый слой приводит к излишнему поглощению видимого света. Слишком тонкий слой соответствует неполному поглощению возбуждающих люминесценцию ультрафиолетовых лучей. Экспериментально было установлено, что оптимальная толщина слоя составляет примерно 2 мг/см² люминофора. Измерения радиуса кристалликов при помощи окулярного микрометра показали, что средний объем кристаллика составляет около 10⁻¹² см³, чему соответствуют удельные веса люминофора от 3,3 до 5,8. Отсюда следует, что на 1 см² слоя приходится около 10⁹ кристалликов. Площадь каждого кристаллика составляет около 10⁻⁸ см², следовательно, в среднем имеется десять слоев кристалликов. На каждом кристаллике происходит рассеяние света и слой люминофора имеет в этом смысле свойства, близкие к свойствам молочного стекла.

Нам кажется своевременным поставить вопрос о характеристиках люминесцирующего слоя в целом. Здесь можно использовать метод, уже с успехом примененный Гуревичем (Л. 8) и Гершуном (Л. 9) для развития теории рассеивающих слоев. Рассеивающий слой характеризуется двумя константами K_1 и K_2 . Физический смысл этих констант весьма прост: $K_1 dz$ — коэффициент отражения бесконечно тонкого слоя рассеивающей среды; $1 - K_2 dz$ — коэффициент пропускания бесконечно тонкого слоя рассеивающей среды.

При отсутствии истинного поглощения, т. е. при чистом рассеивании $K_1 = K_2$. В этом случае пропускание слоя конечной толщины Z_0 равно

$$p = \frac{1}{1 + K_1 Z_0} \quad (1)$$

¹ По материалам доклада доктора физико-математических наук В. А. Фабриканта на сессии Отделения физико-математических наук Академии наук СССР, посвященной вопросам люминесценции.

² Подробный обзор свойств люминесцентных ламп дан в статье П. И. Черноусова, Электричество № 7, 1944.

наоборот, при отсутствии рассеяния $K_{1f} = 0$ и, как обычно

$$p = e^{-K_2 Z_0} \quad (2)$$

Для описания слоев люминофоров удобно Z_0 выражать в mg/cm^2 . В 1943 г. О. Грищенко (Л. 10) исследовала оптические свойства некоторых слоев люминофоров и показала, что к ним применима формула (1). Согласно формуле (1)

$$\frac{1}{p} = 1 + K_1 Z_0, \quad (1')$$

т. е. величина, обратная пропусканию, должна быть линейной функцией от Z_0 . Значения констант оказались следующие: для сернистого цинка, нанесенного осаждением, $K_{1f} = 0,48 \text{ cm}^2/\text{mg}$; для виллемита, нанесенного осаждением, $K_{1f} = 0,84 \text{ cm}^2/\text{mg}$; для виллемита, нанесенного пульверизацией, $K_{1f} = 1,32 \text{ cm}^2/\text{mg}$.

Данные для виллемита показывают, как сильно зависят оптические свойства слоя от способа нанесения.

При решении общей задачи о свечении люминесцирующего слоя следует ввести четыре константы K_{1u} , K_{2u} и K_{1f} , K_{2f} . Две первые константы K_{1u} и K_{2u} должны характеризовать распространение в слое возбуждающего ультрафиолетового излучения, а другие две константы — рассеяние и поглощение уже видимого излучения люминесценции.

Обозначив через $E_1(Z)$ освещенность сверху плоскости, лежащей в слое люминофора на глубине Z , и через $E_2(Z)$ освещенность той же плоскости снизу, мы получим для этих освещенностей два дифференциальных уравнения:

$$E_1'' = L_f E_1 - A \operatorname{ch}[B_1 + L_u(Z_0 - Z)], \quad (3)$$

$$E_2'' = L_f E_2 + A \operatorname{ch}[B_2 + L_u(Z - Z_0)], \quad (4)$$

где $L_u = \sqrt{K_{2u}^2 - K_{1u}^2}$; $L_f = \sqrt{K_{2f}^2 - K_{1f}^2}$; A , B_1 и B_2

константы, связанные с оптическими константами слоя и коэффициентом выхода люминесценции.

Уравнения (3) и (4) неоднородны в отличие от уравнений

$$E_1'' = L^2 E_1, \quad (3)$$

$$E_2'' = L^2 E_2, \quad (4)$$

полученных Гуревичем и Гершуном для случая прохождения диффузного света сквозь рассеивающий слой. Дополнительные члены, возникшие за счет люминесценции слоя, в известном смысле аналогичны вынуждающей силе в уравнениях для колебаний. Уравнения (3) и (4) могут быть решены при совершенно очевидных граничных условиях:

$$E_1(0) = E_2(Z_0) = 0.$$

При этом нас интересуют только значения $E_1(Z_0)$ и $E_2(0)$, т. е. яркости обеих поверхностей люминесцирующего слоя. Яркость люминесцирующего слоя на просвете [$E_1(Z_0)$] имеет резкий максимум при определенной толщине, а яркость, наблюдаемая со стороны падения возбуждающего излучения, стремится к насыщению.

Светоотдача люминесцентных ламп. Люминесцентная лампа может рассматриваться как замкнутая полость со стенками из рассеивающего вещества. Как известно, к. п. д. определяется в этом случае:

$$\tau_1 = \frac{p}{1-r}, \quad (5)$$

где r — коэффициент отражения, а p — коэффициент пропускания стенок.

Естественно, что при $p+r=1$; $\tau_1=1$ при любых значениях p и r . При наличии истинного поглощения τ_1 уже зависит от p и r , т. е. от толщины рассеивающего слоя. Мы уже говорили, что у ламп при слишком толстом слое люминофора падает светоотдача. Тейер и Бэрнс считают, что в нормальной люминесцентной лампе $\tau_1=0,9$. По нашим измерениям при этом яркости внутренней и внешней поверхности трубки примерно равны между собой.

Составление смесей люминофоров. На рис. 1 изображены кривые распределения энергии в спектре излучения наиболее важных люминофоров для ламп, разработанных в ВЭИ.

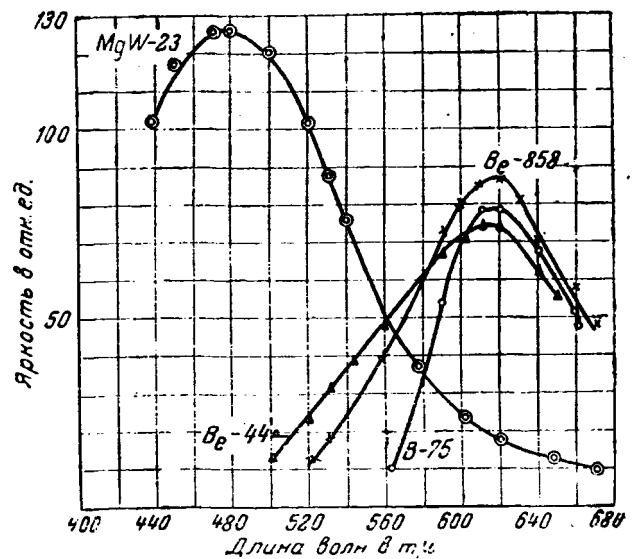


Рис. 1.

К числу таких люминофоров принадлежат цинк-бериллий силикат, активированный марганцем (Be 44 и Be 858 оранжевый), вольфрамат магния [голубой (Mg W 23)] и борат кадмия [красный (B-75)]. Для построения ламп белого света (с цветовой температурой порядка 3000°K) и ламп дневного света (с цветовой температурой 6500°K) приходится применять смеси люминофоров. Изменяя как пропорции, так и сами компоненты смеси, можно получить широкую гамму цветных характеристик ламп. Подбор смесей люминофоров для ламп осложняется некоторыми специфическими обстоятельствами. Можно показать, что результирующая яркость смеси B_∞ должна быть связана простым соотношением с яркостями $B_{1\infty}$ и $B_{2\infty}$ отдельных компонент смеси (Л. 11).

Без учета рассеяния это соотношение выглядит так:

$$B_\infty = \frac{a_1 K_1 B_{1\infty} + a_2 K_2 B_{2\infty}}{a_1 K_1 + a_2 K_2}, \quad (6)$$

где значок ∞ означает слой, практически полностью поглощающий ультрафиолет, a_1 и a_2 доли обоих люминофоров в смеси ($a_1 + a_2 = 1$). K_1 и K_2 — их коэффициенты поглощения ультрафиолета. Из (6) следует, что

$$\frac{B_\infty - B_{1\infty}}{B_{2\infty} - B_\infty} = \frac{a_2 K_2}{a_1 K_1}, \quad (7)$$

т. е. что расстояния от кривой смеси до кривых отдельных люминофоров обратно пропорциональны концентрациям компонент и существенно зависят от соотношения коэффициентов поглощения для ультрафиолета. В действительности дело происходит еще сложнее. Вместо требуемого формулой (6) постоянства указанного отношения по спектру получается весьма сложный ход этой величины. Смесь дает сильно деформированную кривую с преобладанием синих лучей согласно формуле (6). Это свидетельствует о том, что вольфрамат магния сильнее поглощает ультрафиолет, чем цинк-бериллий силикат.

Технология и конструкция ламп. В начале разработки люминесцентных ламп серьезные опасения вызывал процесс обезгаживания стенок. Казалось, что развитая поверхность люминесцирующего порошка будет чрезвычайно затруднять процесс обезгаживания. Однако уже в начале 1940 г., когда в ВЭИ были построены первые экземпляры советских люминесцентных ламп, стало ясно, что эти опасения являются преувеличенными. Слой люминофора, очевидно, играет роль свособразного геттера, улучшающего вакуумные свойства ламп.

Несмотря на это, до войны в ВЭИ и на заводах применялась чрезвычайно сложная и длительная технология откатки ламп. Эта технология была разработана в ВЭИ на основе опыта изготовления обычных газосветных ламп (натриевых и ртутных). Процесс активировки оксидных катодов и обезгаживания стенок лампы распался на большое число операций.

В 1943—1944 гг. в ВЭИ были проведены систематические эксперименты по упрощению и ускорению процесса изготовления ламп. Эти эксперименты привели к сокращению времени, потребного на изготовление одной лампы в несколько раз.

Это было сопряжено с резким сокращением числа операций и с отказом от излишне форсированных режимов при обработке ламп.

Естественно, что все эксперименты заканчивались испытаниями на срок службы и в технологию вносились только изменения, не отражающиеся вредно на сроке службы ламп. Возможность внедрения упрощенной технологии в массовое производство была успешно проверена в заводских условиях.

В смысле конструктивном наибольший интерес представляет уменьшение габаритов ламп. Однако делавшиеся до сих пор попытки не привели еще к положительным результатам. Изменение формы ламп пока ограничивалось изгибанием трубок. На рис. 2 изображена настольная лампа с изогнутыми трубками.

Технология производства люминофоров для ламп. Изготовление люминофоров представляет собой весьма сложную отрасль химической тонкой технологии. Здесь предъявляются чрезвычайно высокие требования к чистоте исходных материалов и к повторяемости условий прокаливания шихты. Разработка люминофоров для ламп осложняется еще тем обстоятельством, что эти люминофоры не должны разлагаться в вакууме и быть стабильными в условиях воздействия паров ртути и коротковолнового ультрафиолета.

При разработке люминофоров для ламп в ВЭИ за основным люминофором был принят цинк-бериллий-силикат, активированный марганцем (Л. 12). Судя по литературным данным, этот люминофор является основным в американских люминесцентных лампах (Л. 13).

До 1943 г. Физический институт Академии наук СССР (ФИАН) и Московский электроламповый завод (МЭЛЗ) в качестве основного люминофора применяли силикат кадмия. С 1943 г. ФИАН и МЭЛЗ также стали использовать цинк-бериллий-силикат вместо силиката кадмия, оказавшегося недостаточно стабильным в вакуумных условиях.

Второй люминофор, применяемый в лампах, это вольфрамат-магния. Вольфрамат-магния используется всеми лабораториями, разрабатывающими люминесцентные лампы. Таким образом в настоящее время все советские люминесцентные лампы изготавливаются со смесями однотипных люминофоров.

Имеются две основные особенности технологии этих люминофоров: первая — это отказ от применения плавней (вещества, снижающие температуру плавления шихты) и вторая — введение активатора в виде устойчивых соединений, благодаря чему снижаются потери активатора при прокаливе шихты (Л. 12).

Указанная технология была освоена заводами «Светотехник» и «Точизмеритель» в 1941 г. и МЭЛЗ в 1943 г. Воспроизводимость люминофоров оказалась хорошей.

Дальнейшая разработка люминофоров для ламп шла в ВЭИ главным образом по двум направлениям. Первое —

улучшение качества люминофоров при одновременном снижении расхода дефицитных материалов.

Кривая Be 44 соответствует $ZnSiO_3$ — 15 ч.

$BeSiO_3$ — 3 вес. ч.; $MnSiO_3$ — 1 вес. ч.

Кривая Be 858 дана для $ZnSiO_3$ — 15 вес. ч.

$BeSiO_3$ — 1 вес. ч.; $MnSiO_3$ — 1,5 вес. ч.

Второе направление — создание третьей компоненты (си-бората кадмия). На рис. 1 кривая В-75 соответствует борату кадмия, разработанному в 1944 г. Этот борат отличается тугоплавкостью и большой стабильностью в условиях разряда, т. е. является настоящим вакуумным люминофором.

Следует отметить, что вольфрамат магния ведет себя в вакууме хуже, чем цинк-бериллий-силикат, обладающий большим газоотделением. При смешивании вольфрамата с цинк-бериллий-силикатом возникает ряд весьма неприятных эффектов, делающих целесообразным раздельное и слоистое нанесение этих люминофоров. При этом вольфрамат магния наносится непосредственно на стекло.

В качестве веществ для нанесения люминофоров на стенки трубок были исследованы моноэфир метакрилата, спиртовой раствор нитроклетчатки и т. д. Наиболее интересные результаты дали моноэфир и спирт. В обоих случаях отсутствовала стадия обугливания при удалении клеящего вещества. Был построен макет станка для механизированного нанесения люминофоров. В настоящее время изготавливается макет второго более усовершенствованного станка для нанесения люминофоров.

Колориметрические характеристики люминесцентных ламп дневного света. Для ряда производств важно иметь действительно стандартный источник дневного света. Люминесцентные лампы дневного света решают самым рациональным образом эту сложную проблему. При разработке ламп дневного света важно иметь методы быстрой и надежной колориметрической оценки качества ламп.

В светотехнической лаборатории ВЭИ Е. С. Ратнером, Д. А. Шкловером был разработан удобный метод оценки колориметрических характеристик люминесцентных ламп (Л. 14). Этот метод состоит в определении цветных координат и коэффициентов отражения семи окрашенных объектов измерения при освещении исследуемой лампой и эталонной лампы. Результаты измерений приведены в таблице.

Наиболее важными являются величины ΔS , дающие число цветовых порогов (порог наименьшее различимое изменение цвета) отклонения от нормальной цветопередачи.

На рис. 3 изображен график цветопередачи на равносторонней диаграмме Джедда (Л. 15), отличающейся тем, что одинаковым различиям в цвете соответствуют одинаковые расстояния между изображающими точками в любом месте диаграммы. Мы видим, что отклонения в цветопередаче превосходят двух порогов.

Принадлежности для включения люминесцентных ламп. Как всякий газоразрядный прибор, люминесцентная лампа нуждается для своего включения в балластном сопротивлении, ограничивающем разрядный ток. В качестве балласта используются дроссели специальной конструкции. В ВЭИ были сконструированы и изготовлены на опытно-заводских типах дроссели в количестве нескольких сотен штук. Такие дроссели были сконструированы и изготовлены цоколи и держатели для ламп.

Для целей общего освещения люминесцентные лампы применяются в очень простых корытообразных арматурах, закрытых диффузно-отражающим слоем. Применение люминесцентных ламп для целей местного освещения затруднено большими габаритами. В этих случаях необходимо использовать зеркала в арматурах. Американские светотехники

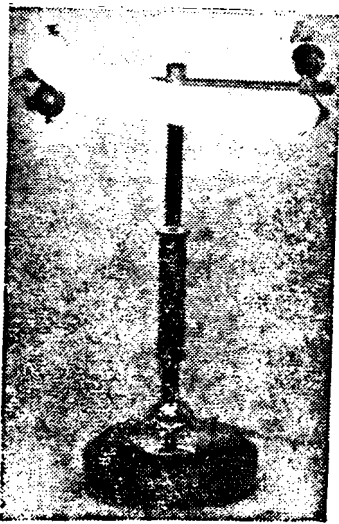


Рис. 2.

Цвет	Эталон 6500° К			Лампа ВЭИ № 566				Лампа GEC			
	X_0	J_0	ρ_0	X	J	ΔS	ρ	X	J	ΔS	ρ
Белый	0,310	0,316	1,0	0,316	0,336	0,9	1,0	0,311	0,327	0,3	1,0
Желтый	0,458	0,461	0,58	0,476	0,488	0,7	0,61	0,460	0,449	0,7	0,62
Красный	0,546	0,320	0,14	0,552	0,324	0,6	0,14	0,555	0,393	0,7	0,15
Магентовый	0,382	0,208	0,14	0,391	0,214	0,6	0,14	0,378	0,195	1,0	0,15
Синий	0,200	0,144	0,12	0,206	0,141	0,7	0,11	0,206	0,150	0,7	0,11
Голубой	0,188	0,221	0,20	0,200	0,254	1,8	0,19	0,188	0,262	2,1	0,19
Зеленый	0,201	0,14	0,21	0,224	0,508	1,7	0,21	0,222	0,485	1,3	0,21

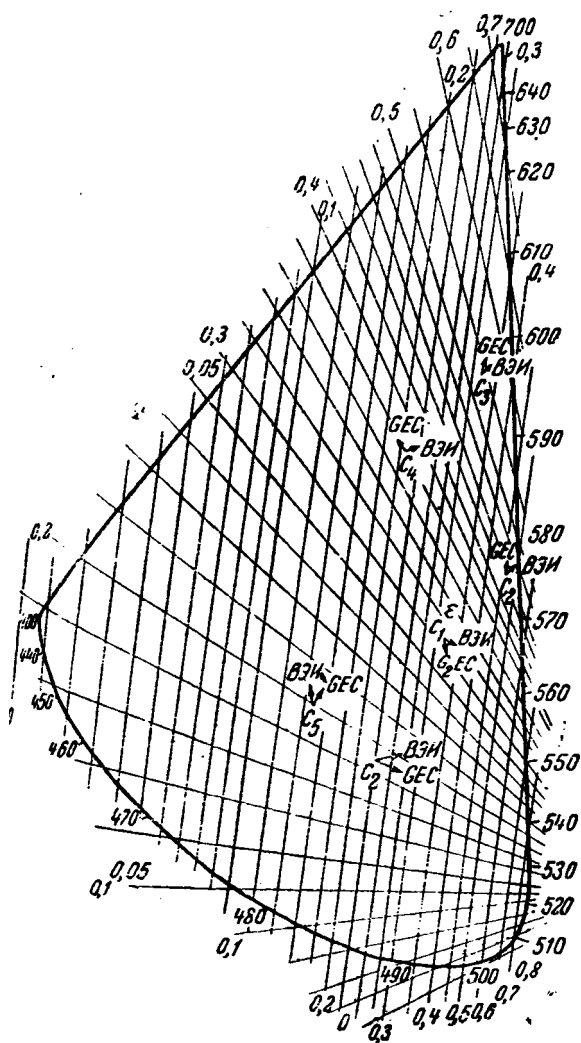


Рис. 3.

исчете зеркальных арматур для люминесцентных ламп исходя из жесткого условия, запрещающего попадание отраженных лучей на лампу (Л. 15). Считалось, что в противном случае к. п. д. окажется сильно сниженным. Н. Н. Ершовский и Е. Б. Шефтель отказались от указанного ограничения и построили зеркальную арматуру с большим углом пада. В результате коэффициент усиления возрос почти в 4,4 раза (с 2,4 до 4,4), а к. п. д. практически не изменился. На рис. 4 изображены кривые светораспределения зеркальной арматуры ВЭИ для люминесцентных ламп.

Опыт эксплуатации люминесцентных ламп. Так как количество изготовленных в СССР люминесцентных ламп не велико, то выводы об их эксплуатационных свойствах можно делать с осторожностью.

Результаты испытаний, проведенных в ВЭИ при определении срока службы нескольких десятков ламп, показали, что яркость ламп сохраняется достаточно стабильной. В результате экономичности интересные результаты дала экспериментальная установка, оборудованная в 1943 г. в НКЭП. При освещении лампами накаливания расходовалось 1360 W, при

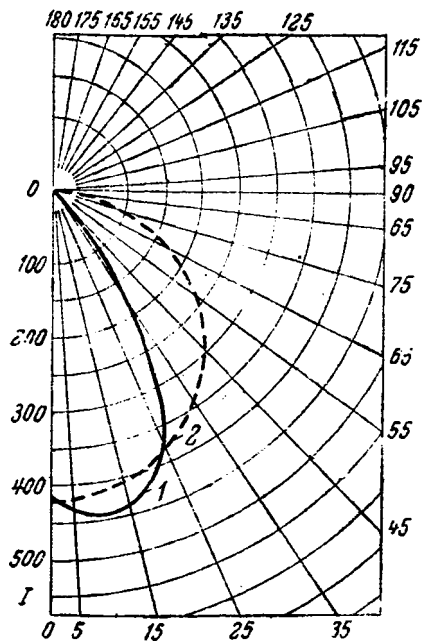


Рис. 4. Расчетная кривая светораспределения светильника ВЭИ-ОМЗ-1 с флуоресцентной лампой (для условной лампы в 1000 lm). 1 — в продольной плоскости I оси лампы; 2 — в продольной плоскости II оси лампы; τ —81% коэффициент усиления = 4,4.

освещении же люминесцентными лампами—480 W. Освещенность в первом случае составляла 60 lx, во втором—150 lx.

Особенно эффективно использование люминесцентных ламп как источников дневного света. Создание такой установки на одном из производств боеприпасов дало снижение расхода электроэнергии примерно в десять раз (по сравнению с «дневными» лампами накаливания) при одновременном резком повышении уровня освещенности.

Литература

1. В. А. Фабрикант. ЖЭТФ, 8, 549, 1938.
2. Б. Н. Клярфельд, В. А. Фабрикант и А. М. Шемаев. Электричество № 12, 1936.
3. Ф. А. Бугаева. Доклады Академии наук СССР, XXVII, стр. 654, 1940.
4. J. Marden, N. Beese a. G. Meister. IES, Trans. № 34, стр. 55, 1939; A. Odayk, R. Cissell, IES, Trans., № 34, 1165, 1939; I. Marden, N. Beese a. G. Meister, JOSA, стр. 184, № 30, 1940.
5. E. Beggs, Lighting a. Lamps, Sept. — Oct., 1942.
6. R. Thayer a. B. Barnes. JOSA, стр. 131, № 29, 1939.
7. N. Beese. JOSA, стр. 278, № 29, 1939.
8. P. Kregger. Диссертация, 1940 (голланд.).
9. М. Гуревич. Труды ГОИ, в. 57, 1931.
10. А. Гершун. Труды ГОИ, в. 99, 1936.
11. О. Грищенко. Дипломная работа МЭИ, 1943.
12. В. А. Фабрикант, А. Канель и Ф. А. Бугаева. Бюллетень ВЭИ, № 5, 25, 1941.
13. В. И. Долгополов. Бюллетень ВЭИ № 5, 29, 1941.
14. E. Beggs. Lighting a. Lamps. стр. 14, 18, № 42, 1942.
15. E. C. Patner, D. Шкловер. Бюллетень ВЭИ, № 5, № 35, 1941.
16. D. Iudd. JOSA. стр. 65, 22, 1932.

Ионный электропривод постоянного тока

Доктор техн. наук, проф. В. К. ПОПОВ

Ленинградский Политехнический институт им. Калинина

Статья доктора техн. наук, проф. В. К. Попова рассматривает области применения и технико-экономические преимущества ионного электропривода по сравнению с другими видами электропривода.

Статья содержит также материалы по выбору типа ионного электропривода и рассматривает характеристики и некоторые промышленные схемы этого нового вида электропривода.

Ионные аппараты в последние два десятилетия нашли широкое применение для питания электроприводов.

Наибольшее значение для промышленной практики в настоящее время имеет ионный электропривод постоянного тока, в котором ионные выпрямительные аппараты, питающие один или несколько практически идентично работающих электродвигателей, кроме выпрямления, одновременно осуществляют функции регулирующего или управляющего устройства. Из приведенного определения следует, что в понятие ионного электропривода нами не включается такой электропривод, в котором ионные или электронные аппараты использованы лишь для целей управления в вспомогательных целях, но не осуществляют одновременно питания выпрямленным током цепей якоря или возбуждения двигателей. Подобный электропривод может быть назван автоматизированным электроприводом с ионно-электронной аппаратурой. Ионный электропривод практически всегда является автоматизированным электроприводом.

Ионный электропривод постоянного тока нашел за границей большое распространение в промышленности и применяется в самых разнообразных исполнительных механизмах, — прокатных станах, шахтных подъемниках, мегаллорезающих станках, подъемно-транспортных устройствах и т. д. В качестве ионных преобразователей используются ртутные выпрямители с сегочным управлением, а также игнитроны и тиратроны. Например, в американских установках в ионном электроприводе малых и средних мощностей широко применяются тиратроны, изготавливаемые на длительные токи 500—700 А, и игнитроны до 800 А. ВЭИ и ХЭМЗ перед войной был уже разработан и осуществлен проект ионного электропривода на шахтном подъемнике шахты им. Сталина (Ворошиловуголь), был разработан также проект электропривода одного лабораторного прокатного стана. Однако внедрение подобных установок в промышленность в период войны задержалось. Тиратроны и игнитроны выпускаются некомплектно, без регулирующей и управляющей аппаратуры. Весьма важные с точки зрения автоматизации производственных процессов переходные режимы в ионном электроприводе постоянного тока мало изучены.

Области применения ионного электропривода постоянного тока. Очевидно, что ионный электропривод может рационально применяться лишь там, где требуется регулировка скорости электроприводов или какие-либо специальные характеристики электропривода при повторно-кратковременном режиме. Можно вполне рационально использовать ионный электропривод, как следующий. Хотя подобный привод обычно не требует регулировки скорости, однако он работает в специфическом повторно-кратковременном режиме.

Таким образом ионный электропривод может находить и находит практическое применение лишь там, где в настоящее время используются электроприводы постоянного тока. По своим свойствам в отношении пределов регулировки скорости ионный электропривод аналогичен системе Леонарда. При наличии специальной схемы он может обеспечить и рекуперативное торможение.

Очевидно, ионный электропривод в случае его дальнейшего усовершенствования сможет найти применение, в частности, там, где использовалась система Леонарда. Сюда относятся прежде всего — реверсивные прокатные станы, реверсивные регулируемые непрерывные станы и регулируемые станы периодической прокатки. В металлургической промышленности ионный электропривод может быть использован также для ряда вспомогательных механизмов повторно-кратковременного режима, в первую очередь при реверсивных станах и станах трио для прокатки толстых листов для привода нажимного устройства прокатных валков. Ионный электропривод может оказаться целесообразным для доменной подъемника и всей сложной системы загрузки доменной печи. Он нашел уже применение в шахтном подъемнике. Возможно говорить об его использовании также в ряде других подъемно-транспортных устройств.

Большое значение ионный электропривод может иметь в многодвигательном приводе бумагоделательных машин, для некоторых отделочных механизмов бумагопромышленности, для привода многосекционных ротационных машин, для некоторых многосекционных текстильных станочных агрегатов.

Существенное применение ионный электропривод должен найти для тех категорий металлорежущих станков, которые по условиям производства и конструкции не могут удовлетворяться односкоростными и многоскоростными хронными короткозамкнутыми двигателями, а требуют двигателей постоянного тока. Сюда прежде всего относятся станки с коэффициентами регулирования скоростей вращения 1:1,12 и 1:1,06, быстроходные строгальные станки, карусельные станки для турбо- и генераторостроения специального оборудования и т. п.

Один из вариантов ионного привода весьма удачно применен Соколовым в его системе привода копировально-фрезерных станков, заменившей у нас частично импортную систему Келлера с электромагнитными муфтами и двигателями постоянного тока неизменной скорости. Несколько иной вариант управления ионным приводом для копировальных станков посредством фотоэлементов предложен в Институте томатикки и телемеханики Академии наук СССР Б. Е. Лишевским.

По существу, для управления работой копировальных станков используется уже тип следящего привода. В качестве следящего ионный привод представляет большие возможности и может быть использован как в промышленности (например, нажимное устройство валков прокатных станков так и весьма широко в военном деле (например, для полтора прожекторов, артиллерийских орудий и т. д.). Можно отметить, однако, что появление и широкое распространение амплитудно неизбежно сузит области применения копировального привода.

Преимущества и недостатки ионного электропривода. Перед системой Леонарда ионный электропривод имеет следующие экономические преимущества, отличающиеся: 1) меньшей стоимостью; 2) экономией цветных металлов; 3) отсутствием фотоэлементов для преобразовательного устройства; 4) отсутствием электромагнитной инерции; 5) более высоким коэффициентом простоты ремонта; 7) меньшими эксплуатационными расходами.

Для примера приведем следующие сравнительные данные к. п. д. ионных выпрямителей и системы Леонарда при мощности привода в 3000 кВт и напряжении 750 В.

Скорость вращения двигателя в %	100	68	45	30
Коэффициент полезного действия ионных выпрямителей	95,5	93,5	92,0	90,0
Коэффициент полезного действия системы Леонарда	91,5	91,6	91,3	91,0

Нагрузка двигателя в % от номинальной	25	50	75	100	125
Коэффициент полезного действия ионных выпрямителей	94	95,5	95	94,5	93,5
Коэффициент полезного действия системы Леонарда	80,5	87,5	91,5	91,7	90,5

Расход электрической энергии при ионном приводе восьмиклетьевого заготовочного стана с диаметром вала 500 мм получается на 10% меньшим, чем при приводе системы Леонарда.

Основным недостатком ионных регулируемых аппаратов является снижение коэффициента мощности установки при регулировке скорости двигателей. Если не учитывать влияние на коэффициент мощности ионной установки

фактора искажения формы тока, то изменение $\cos \varphi$ происходит пропорционально снижению скорости двигателя:

$$\cos \varphi_{рег} = \frac{n}{n_0} = \frac{U}{U_0} = \cos \alpha,$$

где U — среднее значение выпрямленного напряжения, U_0 — то же при $\alpha = 0$ при угле запаздывания ионного аппарата α .

Эти обстоятельства несколько ограничивают пределы длительной регулировки скорости двигателей в мощных установках. Так, в установках прокатных станов сеточное регулирование ионных выпрямителей используется в настоящее время, преимущественно для пуска и торможения, а также для регулировки скорости двигателей между отдельными ступенями. Получение же различных ступеней скорости производится переключением зажимов питающего ионного аппарата трансформатора. Иногда применяется переключение питающих трансформаторов с звезды на треугольник. В ряде установок для улучшения $\cos \varphi$ применяют статические конденсаторы. Другие способы улучшения коэффициента мощности (например, применение промежуточных или буферных анодов) следует пока считать недостаточно разработанными или мало эффективными.

Другим недостатком ионного электропривода следует считать влияние пульсаций выпрямленного напряжения и тока на дополнительные потери в машине и на ее коммутацию. Однако этот недостаток практического значения не имеет. Исследования, производившиеся в ВЭИ и ЛПИ, показали, что коммутация двигателя ионного привода происходит без особых осложнений. Снижение к. п. д. вследствие пульсаций незначительно.

Способы управления ионным электроприводом. В ионном электроприводе постоянного тока, как и в системе Леонарда, управление двигателем производится путем изменения напряжения, подводимого к двигателю. К изменению скорости двигателя варьированием тока возбуждения прибегают в обеих указанных системах по технико-экономическим соображениям лишь при скоростях двигателя выше основной. Однако в ряде случаев применение ионных аппаратов имеет перед системой Леонарда преимущество практической безинерционности.

В многофазных системах воздействие на зажигание тиристоров производится: 1) пиковыми трансформаторами; 2) индукционным фазорегулятором; 3) комбинацией пиковых трансформаторов с фазорегулятором; 4) механическими коммутаторами; 5) реостатным контурным регулированием.

В однофазных системах может применяться: 1) контурное регулирование (реостатно-емкостное и реостатно-индуктивное); 2) импульсное регулирование (коммутатором, насыщенным реактором или реактором с подмагничиванием; феррорезонансной схемой; поляризованным реле; фотоэлементами; неоновой лампой). Выбор между тем или иным типом управления зависит от условий работы установки.

Задачи, разрешаемые ионным электроприводом. Автоматизированный ионный электропривод может решать те же задачи, что и автоматизированный электропривод постоянного тока с контактно-релейной автоматикой. Однако ионный электропривод, так же, как и система Леонарда, позволяет осуществить безреостатный пуск. Наиболее типичные задачи, разрешенные ионным приводом, следующие: 1) безреостатный пуск; 2) рекуперативное торможение; 3) плавное регулирование скорости в широком диапазоне, превосходящем диапазон системы Леонарда, без специальных регуляторов; 4) возможность получения специальных механических характеристик двигателей с независимым возбуждением с воздействием или без воздействия на последнее; 5) поддержание постоянства скорости исполнительных механизмов; 6) синхронизация хода двигателей в многодвигательном приводе; 7) автоматическая работа по шаблону и работа в качестве следящего привода; 8) различные автоматические операции по пуску в ход, остановке, снижению скорости и т. д.

Классификация исполнений ионного электропривода. Ионные электроприводы постоянного тока можно классифицировать по трем признакам: по типу используемых ионных аппаратов, по типу двигателя постоянного тока и по способу управления сетками. Возможные способы управления были уже рассмотрены выше. По второму признаку можно различать пять наиболее типичных вариантов ионного электропривода постоянного тока: 1) двигатель независимого возбуждения

(обмотка возбуждения может питаться или от неизменного напряжения постоянного тока или от специального выпрямителя); 2) серийный двигатель; 3) компаундный двигатель; 4) двигатель постоянного тока независимого возбуждения со специальной регулировкой ионного аппарата для придания двигателю необходимой механической характеристики, требующей тем или иным исполнительным механизмом; сюда же могут быть отнесены случаи работы по шаблону; 5) двигатель независимого возбуждения в системе Леонарда, но при регулировании тока возбуждения генератора тиристорами. Последнее имеет особое значение при работе некоторых следящих электроприводов, в частности, для копировальных металлообрабатывающих станков.

Применение промежуточной системы Леонарда является практически необходимым для следящих приводов такой мощности, которые не допускают безреостатного пуска. В случае следящего привода, работающего на открытии или заперении тиристоров (способ «включено—выключено»), питающий непосредственно двигатель постоянного тока, при сколько-нибудь значительных углах расхождения следящей системы и исполнительного механизма, двигатель подвергается безреостатному пуску.

Выбор типа ионного электропривода и энергетика. В ионном электроприводе следует применять такой тип двигателя, естественная механическая характеристика у которого ближе к желаемой, и который имеет лучшие энергетические показатели.

Для механизмов, могущих работать вхолостую или при малых нагрузках, серийный двигатель непригоден, так как свойственный этому двигателю разнос при работе вхолостую еще больше усугубляется влиянием прерывистости тока ионных аппаратов при малых нагрузках. Прерывистость тока придает серийный характер даже характеристикам двигателя с независимым возбуждением.

Когда при работе ионный аппарат не подвергается регулировке, двигатель в основном сохраняет тот вид механической характеристики, который получается при питании двигателя от неизменного напряжения постоянного тока. Однако падение скорости с увеличением нагрузки оказывается несколько больше за счет дополнительных падений напряжения в обмотках питающего трансформатора и катодного реактора. Увеличение падения скорости составляет примерно 30—40% падения скорости при питании от постоянного напряжения. Катодный реактор, как известно, оказывается необходимым для уменьшения пульсации тока. Сглаживание пульсаций улучшает условия нагрева двигателя и его коммутацию. Реактор необходим также для более устойчивой работы двигателя при малых нагрузках, когда разрывы тока вызывают повышение скорости двигателей. В свою очередь реактор может вызывать колебательные процессы.

При выборе типа ионного электропривода обязательно необходимо учитывать то обстоятельство, что снижение среднего значения выпрямленного напряжения ионных аппаратов путем регулирования угла запаздывания вызывает уменьшение $\cos \varphi$ установки, что с энергетической точки зрения мало желательно.

Как уже отмечалось выше, изменение коэффициента мощности установки происходит пропорционально уменьшению скорости и с этой точки зрения казалось бы характер изменения статического момента исполнительного механизма в зависимости от скорости или других факторов безразличен. Однако практически обстоит дело не так, ибо величина реактивной мощности, потребляемой ионным электроприводом при разных нагрузках, зависит от характера изменения статического момента.

Реактивная мощность при уменьшении скорости более всего увеличивается в случае регулировки при $P = \text{const}$. Энергетические условия в этом варианте получаются наиболее тяжелыми; они наиболее благоприятны в случае двигателя независимого возбуждения при статическом моменте, пропорциональном первой степени или квадрату скорости ($M = c \cdot n$ и $M = c_1 \cdot n^2$). В этом случае реактивная мощность при снижении скорости, достигнув некоторого максимума, начинает уменьшаться.

Для серийного двигателя наиболее неблагоприятны режимы $M = c \cdot n$ и $M = c_1 \cdot n^2$. В случае работы серийного двигателя при $P = \text{const}$ реактивная мощность при уменьшении скорости возрастает менее, чем в двигателе с независимым возбуждением.

Характеристики и схемы ионного электропривода. Когда от ионного электропривода требуются специальные механические компаундные характеристики, например, экскаваторного типа (небольшое падение скорости при нагрузках до номин-

¹ При наличии специального регулятора типа Rototrol система Леонарда может иметь пределы регулирования 1:120.

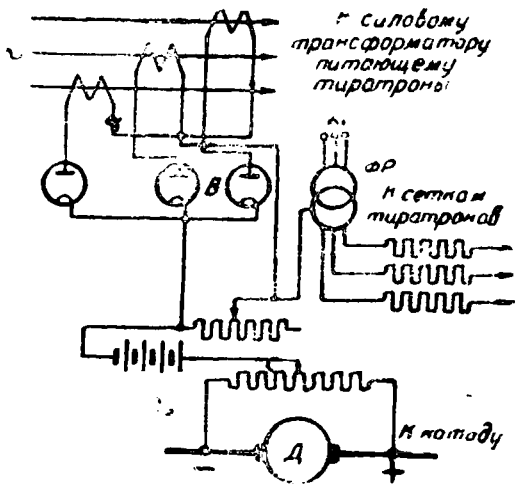


Рис. 1.

мальной и резкое падение скорости до нуля при перегрузках), то они могут быть реализованы путем применения сеточного управления. Для этого необходимо ввести в сеточный контур э. д. с., пропорциональную току якоря. При этом, как и в системе с трехобмоточным генератором Леонарда, практически можно получить почти любую степень компаундирования и довольно разнообразную форму механической компаундной характеристики. Для этой цели могут быть использованы различные схемы. В схеме ГЕС (рис. 1) питающие двигатель D ионные аппараты (на рисун-

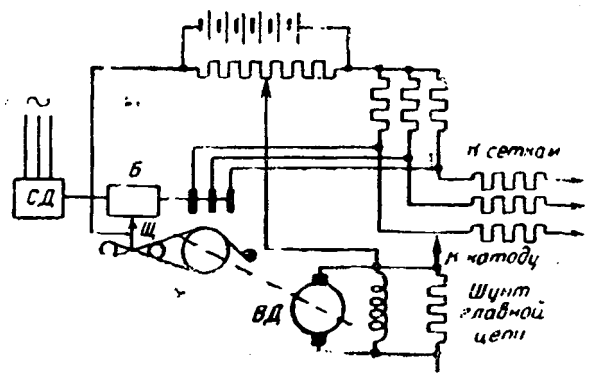


Рис. 4.

ментами K и далее подается на сетки ионных аппаратов через вспомогательные тиратроны T (рис. 2). Напряжение тиратронов складывается с синусоидальным напряжением фаз регулятора ΦP_2 . При таком варианте схемы можно получить не только снижение скорости с нагрузкой, но также и повышение ее, т. е. практически почти любую механическую характеристику.

В схеме Маргенса (рис. 3) управление осуществляется синхронно вращающимся механическим коммутатором C , приводимым от синхронного двигателя $СД$ (рис. 3). Изменение угла запаздывания зажигания достигается поворотом пространства оси магнитного потока возбуждения синхронного двигателя $СД$, приводящего коммутатор. Поворот потока возбуждения достигается применением двух отдельных обмоток возбуждения 1 и 2 , расположенных под углом в 120° совместно с третьей короткозамкнутой обмоткой 3 . Подобный

двигатель следует выполнять с возбуждением со статора и с присоединением к сети роторной фазной обмотки. Всякое изменение тока возбуждения в одной из указанных двух обмоток постоянного тока поворачивает ось магнитного потока ротора тем самым меняет момент переключения коммутатором напряжения на сетках тиратронов.

В схеме, разработанной лабораторией электропривода ЛПИ (рис. 4) синхронный двигатель $СД$ вращает барабан B , имеющий контактные пластины на поверхности. Эти пластины расположены под определенными углами. На пластины наложена щетка $Ш$, перемещающаяся вдоль образующей барабана специальным электромагнитным динамометром $ВД$, приключенным к шунту в цепи якоря главного двигателя. Перемещение щетки $Ш$ меняет момент подачи положительного потенциала на сетки

тиратронов, чем и достигается нужная компаундировка электроприводов. Минус последних двух схем перед двумя первыми — наличие вращающихся механических коммутаторов. Принципиально возможны еще и некоторые другие схемы

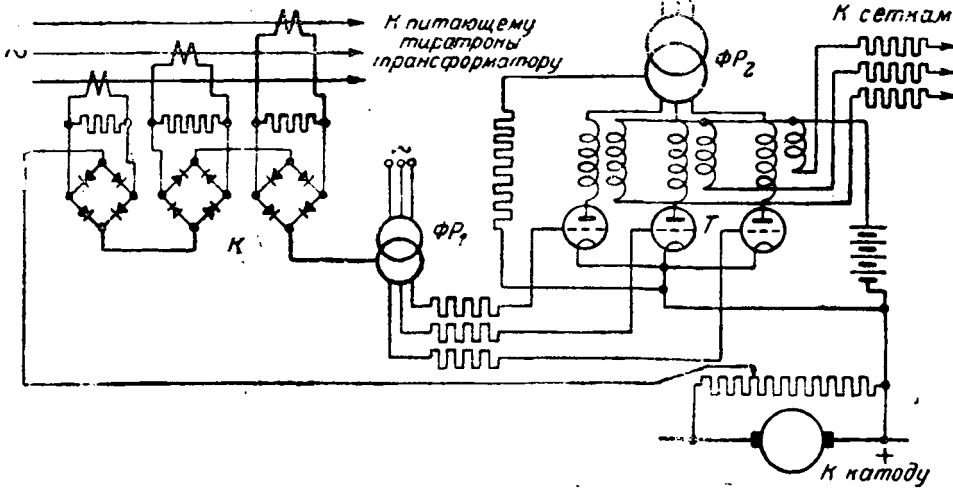


Рис. 2.

ке не показаны) управляются индукционным фазорегулятором ΦP . Добавочная э. д. с. вводится в сеточный контур через вспомогательные ионные выпрямители B , которые питаются от вторичной обмотки последовательных трансформаторов, введенных в первичную цепь главного питающего ионных аппаратов трансформатора. Применяется также и некоторое видоизменение этой схемы, где напряжение от однофазных трансформаторов выпрямляется купроксными выпря-

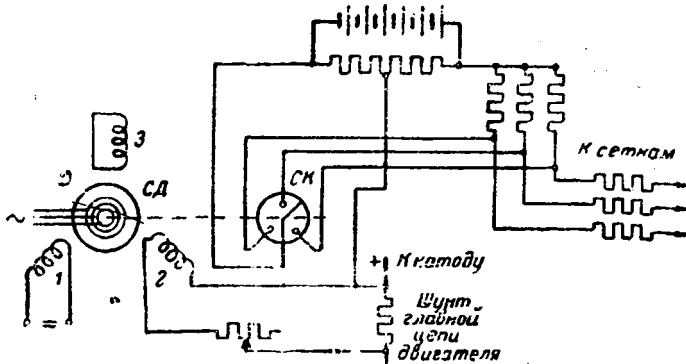


Рис. 3.

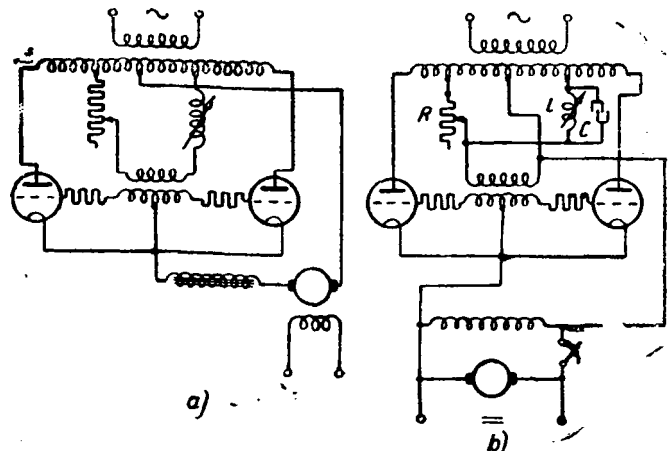


Рис. 5.

Заметим, что, видоизменяя схему управления двигателями и выбирая соответствующий способ управления сетками, можно вообще изменять механические характеристики двигателя в широких пределах. Одна из подобных схем представлена на рис. 5. В ней питание двигателя осуществляется от однофазной сети через два тиристора. Воздействие на выпрямленное напряжение тиристоров достигается изменением индуктивности (регулировкой зазора) сеточного контура. В зависимости от величины воздушного зазора характеристики могут меняться согласно кривым I, II и III рис. 6. В схеме рис. 5b применена подпитка обмотки возбуждения через тиристры, что дает возможность получать характеристики I, 2 и 3 рис. 6.

За последнее время в США стандартизована система ионного электропривода с питанием от однофазного тока мощностью в 3,75 kW, 230 V, получившая название «Thyatron» (сокращение от Thyatron motor control). В этой схеме предусматривается два тиристора, питающих якорь двигателя, и два — обмотку возбуждения; выпрямительная лампа используется для питания контрольных цепей. Электронные лампы, управляющие тиристорами, обеспечивают плавный пуск, широкую регулировку скорости, реверсирование. В схеме предусмотрена компенсация омического падения напряжения в цепи якоря и исключено влияние на скорость двигателя как колебаний нагрузки, так и колебаний напряжения сети. Указанная схема обеспечивает высокий коэффициент мощности ионного электропривода, уже начиная со средней мощности.

Промышленные схемы ионного электропривода. В заключение приведем несколько схем промышленных ионных электроприводов. На рис. 7 представлена схема для управления двигателями подъемно-транспортных устройств, мощностью примерно до 25 kW. В этой схеме двигатель постоянного тока D питается от однофазной сети двумя группами тиристоров T_1 и T_2 . В каждой группе взято два тиристора для использования положительной и отрицательной волны тока. Управление тиристорами осуществляется двумя связанными между собой фазорегуляторами ΦP_1 и ΦP_2 через сеточные трансформаторы $T C_1$ и $T C_2$. Одна группа тиристоров предназначена для вращения двигателя в одну сторону, вторая — в другую. Наличие второй группы тиристоров дает возможность осуществлять инверторный режим.

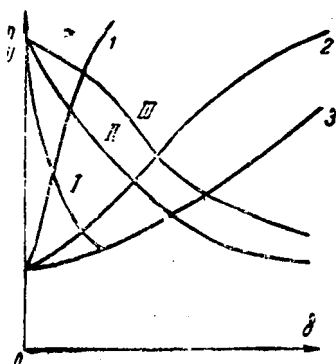


Рис. 6.

Рис. 8 показывает схему для управления двигателями широкосполосного прокатного стана при токах в 400 А. В целях реверсирования двигателей применены два ртутных выпрямителя $P B_1$ и $P B_2$. Питание обмоток возбуждения двигателей осуществляется от специальных вспомогательных анодов ртутного выпрямителя $B A$.

Регулирование скорости двигателей и их реверсирование производится посредством фазорегуляторов ΦP_1 и ΦP_2 с пиковыми трансформаторами $П T_1$ и $П T_2$. В целях подрегулировки и согласования скорости вертикальных валков с горизонтальными в схеме применены два других фазорегулятора ΦP_3 и ΦP_4 , включенных через кулерские выпрямители K , связанных с обмотками возбуждения двигателей.

На рис. 9 приведена реверсивная схема привода вертикальных валков универсального прокатного стана на одном из металлургических заводов Европы. Стан старый, и горизонтальные валки его приводятся паровой машиной. Схема предусматривает необходимое в универсальном стане согласование скоростей вертикальных и горизонтальных валков с дополнительной подрегулировкой скорости их в отношении 1 : 1,6. Регулирование скорости и реверсирование скорости двигателей производится путем воздействия на сетки выпрямителей с помощью фазорегуляторов ΦP_1 и ΦP_2 .

Для согласования скоростей вертикальных и горизонтальных валков применен специальный двигатель D_1 , управляемый вспомогательным генератором G_1 , сидящим на валу паровой машины $П M$ через две газонаполненные лампы L_1

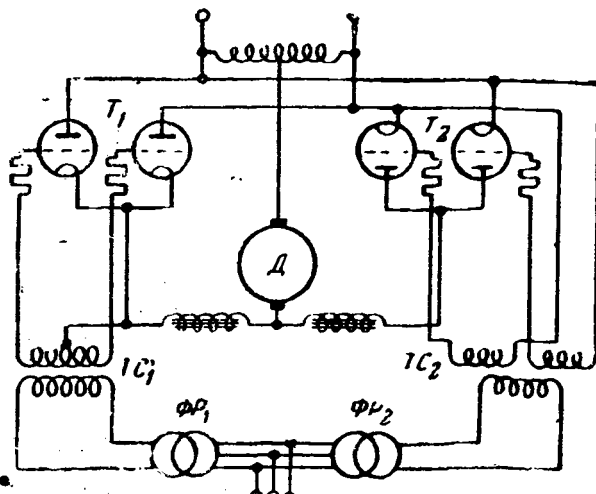


Рис. 7.

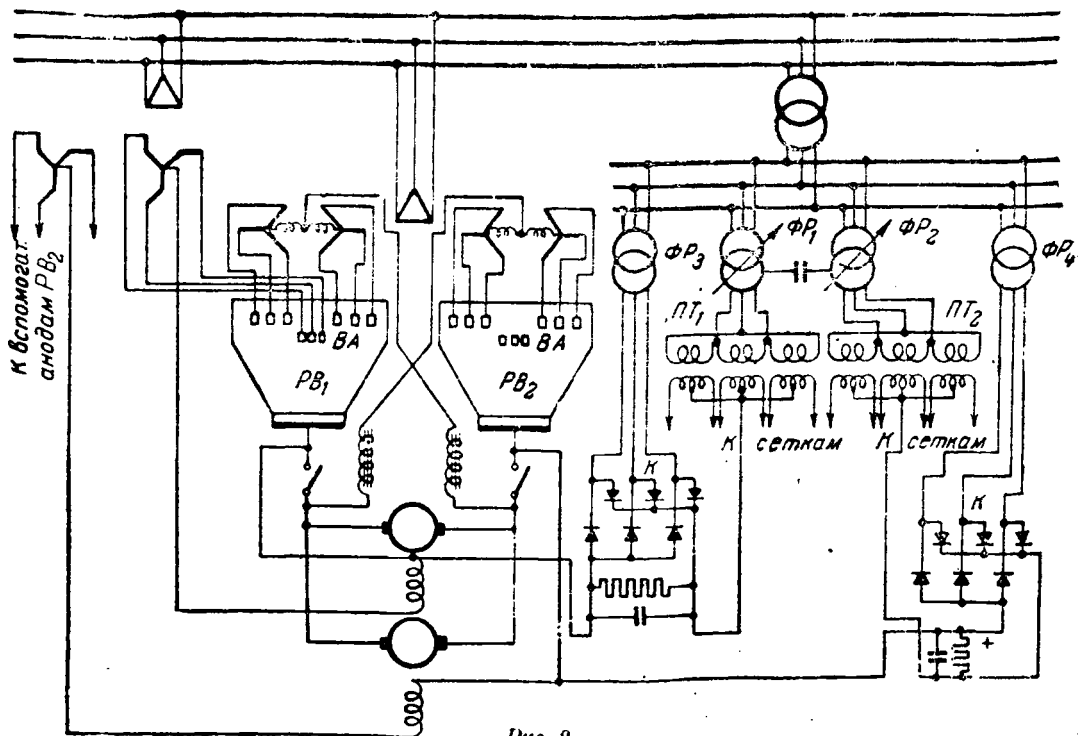


Рис. 8.

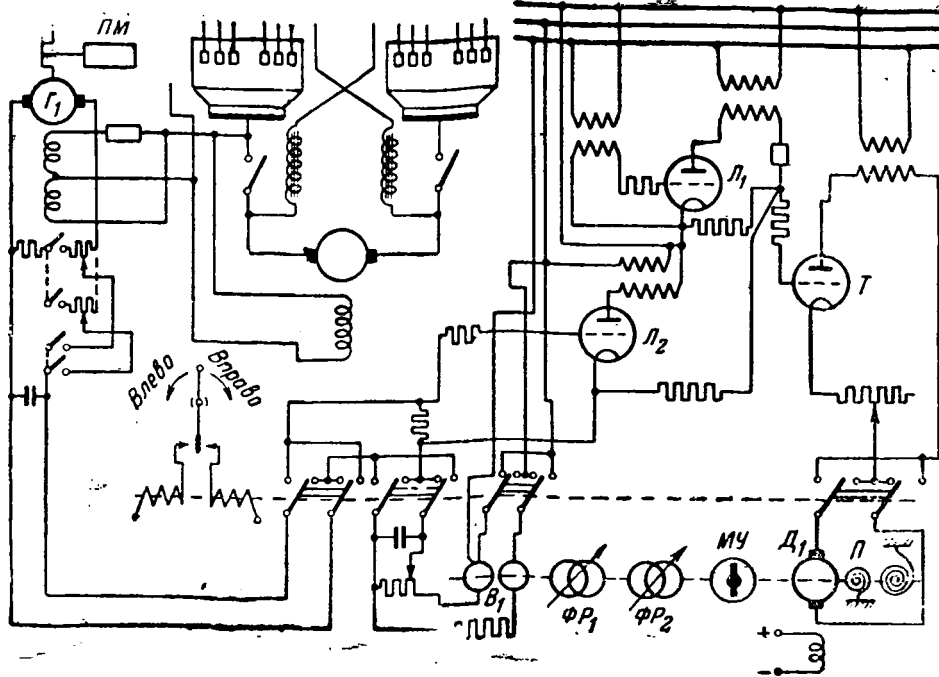


Рис. 9.

и L_2 и тиратрон T . Двигатель D_1 на своем валу имеет фазорегуляторы ΦP_1 и ΦP_2 и вспомогательный регулятор B_1 , масляный успокоитель MV и пружины λ . Эти пружины предназначены для возвращения двигателя D_1 в исходное

положение. Максимально возможное отклонение двигателя от исходного положения равновесия $+75^\circ$. Данная схема четаает ионный электропривод с автоматическим регулированием.

Из других типичных промышленных схем необходимо отметить схему копильно-фрезерного станка Соколова; ред войной, как упоминалось выше. К были разработаны схемы для шахтных подъемника и прокатного стана. Аналогичные схемы были разработаны ХЭ для бумагоделательных машин.

Приведенные примеры показывают что ионный электропривод в различных полнениях позволяет удачно решать различные производственные задачи: сталлургии, машиностроения, горного ла и других отраслей промышленности.

Заключение. Развитие и применение ионного электропривода в СССР должно быть более интенсивно, для чего необходимо прежде всего: 1) усовершенствовать ионные аппараты в целях достижения и более высокой идентичности характеристик отдельных образцов одного и того же типа; 2) расширить производство аппаратуры управления ионными аппаратами и организовать выпуск комплектов ионных установок с регулирующей аппаратурой; 3) улучшить схемы компоновки ионного электропривода; 4) углубленно изучать переходные режимы в целях получения наилучших способов управления.

Интегральные уравнения многомерных электрических моделей

Доктор техн. наук, проф. Л. И. ГУТЕНМАХЕР

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

В журнале „Электричество“ № 5, 1940 г. была опубликована статья доктора техн. наук Л. И. Гутенмахера, посвященная вопросу электрического моделирования физических явлений для решения краевых задач математической физики. В этой статье был изложен разработанный Л. И. Гутенмахером метод электромоделирования, большое научное и практическое значение которого было отмечено в специальном постановлении президиума Академии наук СССР, вынесенном в мае 1940 г. по этому вопросу.

Как видно из появившейся в журнале *General Electric Review* № 3, 1944 г. сводной работы, в которой нашел частичное применение метод электромоделирования, известные американские ученые G. Kron, S. Rato и др. также проявляют большое внимание к этому методу.

Помещаемая ниже новая статья Л. И. Гутенмахера „Интегральные уравнения многомерных электрических моделей“ является дальнейшим развитием его предыдущих работ.

Развитые нами методы электрического моделирования физических явлений в пространстве и времени (1, 2, 3, 4) были основаны на математическом аппарате дифференциальных уравнений в частных производных и соответствующем им разностном методе решения этих уравнений. Однако в работах (1—4) нами указывалось, что в отличие от разностных уравнений в уравнениях для наших моделей производные по времени остаются без изменения и что в этом заключается большое принципиальное преимущество метода электрического моделирования по сравнению с чисто разностным численным методом, развитым в работах Рунге, Ричардсона, Либмана, Куранта, Гершгорина, Люстерника, Панова и др.

Рассмотрим теперь теорию электрических многомерных моделей на основе аппарата интегральных и интегродифференциальных уравнений. При этом получается ряд преимуществ, которые могут быть использованы при практическом моделировании физических явлений.

Построение многомерных моделей. Для составления моделей используются двухполюсники (рис. 1), которые могут состоять из произвольных сочетаний, сосредоточенных параметров — сопротивлений R , индуктивностей L и емкостей C .

Структура соединения (схема) определяет вид уравнений и создает аналогно физическим свойствам элементов объекта моделирования.

Проводимости A, B такого двухполюсника (рис. 1) определяются выражением

$$A, B = 1 : \sum_{i=1}^n \left[1 : \sum_{m=1}^{k_i} \frac{1}{R_{im} + L_{im}p + \frac{1}{C_{im}p}} \right] \quad (1)$$

Здесь p — оператор Хевисайда.

Элементы проводимости A определяют характер связи между каждой узловой точкой схемы и всеми другими элементами цепи.

Условимся рассматривать явления лишь в отдельных узловых точках электрической цепи. Все значения скалярных или векторных величин будем связывать с узловыми точками.

Последовательным соединением двухполюсников типа A (рис. 1) составляется произвольная по числу элементов

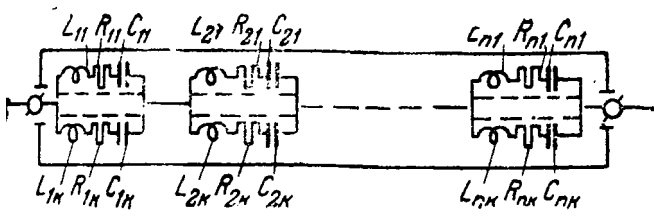


Рис. 1. Схема двухполюсника.

цепочка. Приняв одну из узловых точек соединения за начало отсчета и условившись в качестве единицы измерения считать некоторое произвольное число элементов l_0 , можно однозначно определить остальные точки соединения одним числом, координатой x_1 . Путем соединения элементов A узловых точек ряда смежных цепочек составляется двухмерная сетка. Из ряда сеток можно составить трехмерную сетку (наподобие кристаллической решетки (рис. 2 и 3)).

Так как проводники, соединяющие отдельные элементы, могут быть сделаны с относительно весьма малым сопротивлением, ничтожной индуктивностью и емкостью, то геометрические размеры и расположение элементов A в пространстве при этих условиях не играют практически никакой роли. Поэтому можно все элементы A трехмерной электрической схемы расположить на плоскости, не изменяя при этом электрических свойств схемы. Благодаря этому обстоятельству можно составить электрическую модель (схему замещения), топологически эквивалентную любой n -мерной области. На рис. 4 представлена схема четырехмерной области.

В многомерных схемах положение каждой узловой точки однозначно определяется n -числами-координатами

$$x_1, x_2, \dots, x_n.$$

Возмущение, которое возникает или искусственно создается в какой-либо точке схемы, распространяется по всем направлениям x_k и может изменяться еще и во времени t . Координата времени в отличие от обобщенных координат x_k является непрерывной переменной величиной. Кстати отметим, что при моделировании одна из координат x_k принципиально может быть использована для отображения самого времени t .

Пользуясь обобщенными координатами, мы получаем возможность составить из элементов A решетчатую модель любой конфигурации. Пусть задано, например, тело N форма которого определяется функцией

$$F(x_1, x_2, x_3, l_0, l_1, \dots, l_n) = 0,$$

где x_k являются текущими координатами, а размеры тела l_0, l_1, \dots, l_n — параметрами.

Для построения искусственной электрической модели данного тела мы производим следующие операции: 1) выражаем

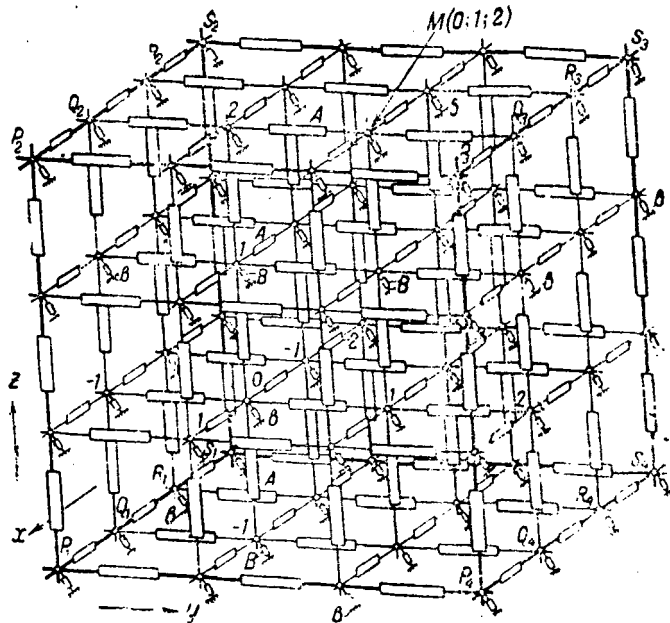


Рис. 2. Трехмерная модель (координаты обозначены $x_1 = x$, $x_2 = y$ и $x_3 = z$).

Исток $I \{S_{ij}\}$ для примера задан в точке $M(0; 1; 2)$.

форму заданного тела в относительных безразмерных координатах; 2) выбираем за номинальную единицу «длины» в электрической модели число элементов A , равное числу $l_0 = \frac{l_0}{h}$,

где h будет играть роль шага разности в уравнениях ($h = \Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3$). После этого можно воспроизвести электрическую сетчатую модель тела N , подобную пространственной сетке, вписанной в тело. Каждому узлу сетки будет соответствовать узловая точка в электрической модели и каждой грани элементарного кубика тела со сторонами h будет соответствовать элемент A , являющийся токоведущим элементом электрической цепи. Отношения соответствующих размеров тела, параметров l_0, l_1, \dots, l_n , к числу элементов A в соответствующих, сходственных частях электрической схемы должны оставаться при этом постоянным числом — константой подобия c_l (в пределах заданной точности).

Для описания свойств модели введем функцию сопротивления $Z \{x_{ki}; S_{ij}\}$, которая представляет собой аналог известной функции Грина. Для этого прежде всего выберем точку нулевого потенциала 0 среди узловых точек модели или вне модели. В последнем случае модель предполагается соединенной с нулевой точкой через некоторые добавочные сопротивления, которые будем относить к внешним (граничным) условиям.

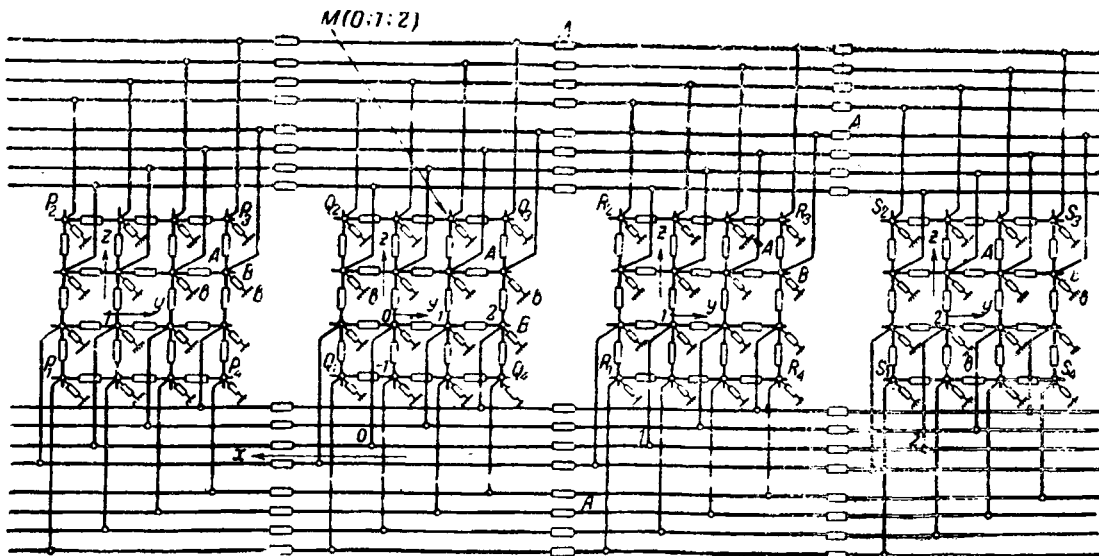


Рис. 3. Трехмерная модель (рис. 2), размещенная на плоскости.

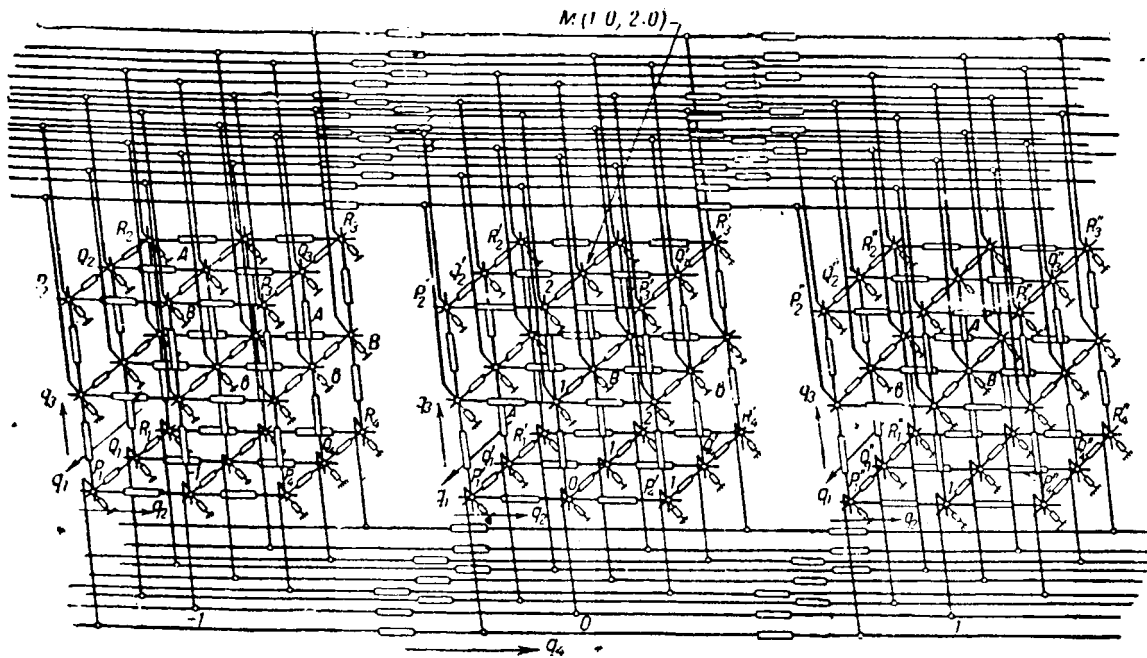


Рис. 4. Модель четырехмерной области (координаты обозначены $x_1 = q_1, x_2 = q_2, x_3 = q_3, x_4 = q_4$). Исток $I \{S_{ijl}\}$ для проточной меры задан в точке $(1; 0; 2; 0)$

Зададим в одной из узловых точек с координатами $\{S_{ijl}\} = S_{ij_1}, S_{ij_2}, \dots, S_{ij_n}$ исток, т. е. источник тока $I \{S_{ijl}\}$. При этом через элементы A потечет ток к точке O и на узловых точках модели с координатами $\{x_{ki}\} = x_{k_1}, x_{k_2}, \dots, x_{k_n}$ появится напряжение $u \{x_{ki}\}$. Отношение этих напряжений к величине силы тока $I \{S_{ijl}\}$ имеет размерность сопротивления

$$\frac{u \{x_{ki}\}}{I \{S_{ijl}\}} = Z \{x_{ki}; S_{ijl}\}. \quad (2)$$

Отсюда

$$k, l = 1, 2, \dots, n$$

$$u \{x_{ki}\} = I \{S_{ijl}\} Z \{x_{ki}; S_{ijl}\}. \quad (3)$$

Таким образом функция $Z \{x_{ki}; S_{ijl}\}$ характеризует свойства сопротивления связей A , действующих в модели по отношению к выбранной нулевой точке. Величины $Z \{x_{ki}; S_{ijl}\}$ численно равны напряжениям $u \{x_{ki}\}$ в узловых точках $\{x_{ki}\}$ при действии истока $I \{S_{ijl}\}$ в узловой точке $\{S_{ijl}\}$ с силой, равной единице $I=1$. Функция $Z \{x_{ki}; S_{ijl}\}$ учитывает и внешние (граничные) сопротивления, связывающие узловые точки сетки с нулевой точкой.

При одновременном действии истоков $I \{S_{ijl}\}$ во всех или части узловых точек схемы напряжения во всех узловых точках могут быть определены на основе принципа суперпозиции или принципа наложения, спра-

ведливого для линейных систем (с R, L, C , не зависящими от величин тока и напряжений)

$$u \{x_{ki}\} = \sum_{j_n=1}^{m_n} \dots \sum_{j_1=1}^{m_1} Z \{x_{ki}; S_{ijl}\} I \{S_{ijl}\}, \quad (4)$$

$$(l, k = 1, 2, \dots, n).$$

Природа истоков. Токи, протекающие или вытекающие из узловых точек системы, могут существовать только при наличии специальных проводимостей $B \{S_{ijl}\}$ между узловыми точками $\{S_{ijl}\}$ и нулевой точкой O . В общем случае каждая такая проводимость может состоять из m параллельно соединенных проводимостей типа, изображенных на рис. 1, причем в каждой из них может быть включен источник E .

Пусть в каждой узловой точке присоединена проводимость $B \{S_{ijl}\}$ без источников и параллельно ей проводимость $\bar{B}_0 \{S_{ijl}\}$ с источником $E \{S_{ijl}\}$. [Л.4.] Выберем значения проводимостей пропорциональными «объему» элементарного параллелепипеда $\Delta v = \Delta s_1 \Delta s_2 \dots \Delta s_n$

$$\bar{B} = B \{S_{ijl}\} \Delta s_1 \Delta s_2 \dots \Delta s_n, \quad (5)$$

$$\bar{B}_0 = B_0 \{S_{ijl}\} \Delta s_1 \Delta s_2 \dots \Delta s_n.$$

Проводимости B определяют собой зависимость между напряжениями $u \{S_{ijl}\}$ и токами $I \{S_{ijl}\}$ в узловых точках.

По закону Ома

$$I \{S_{ijl}\} = u \{S_{ijl}\} B \{S_{ijl}\} \Delta s_1 \Delta s_2 \dots \Delta s_n. \quad (6)$$

Подставим значения $I \{S_{ijl}\}$ в уравнение (4)

$$u \{x_{ki}\} = \sum_{j_n=1}^{m_n} \dots \sum_{j_1=1}^{m_1} Z \{x_{ki}; S_{ijl}\} B \{S_{ijl}\} u \{S_{ijl}\} \Delta s_1 \Delta s_2 \dots \Delta s_n + \sum_{j_n=1}^{m_n} \dots \sum_{j_1=1}^{m_1} Z \{x_{ki}; S_{ijl}\} B_0 \{S_{ijl}\} [E \{S_{ijl}\} - u \{S_{ijl}\}] \Delta s_1 \Delta s_2 \dots \Delta s_n, \quad (7)$$

или

$$u \{x_{ki}\} = F \{x_{ki}\} + \sum_{j_n=1}^{m_n} \dots \sum_{j_1=1}^{m_1} Z \{x_{ki}; S_{ijl}\} [B - B_0] \{S_{ijl}\} u \{S_{ijl}\} \Delta s_1 \dots \Delta s_n, \quad (8)$$

где

$$F \{x_{ki}\} = \sum_{j_n=1}^{m_n} \dots \sum_{j_1=1}^{m_1} Z \{x_{ki}; S_{ijl}\} \cdot B_0 \{S_{ijl}\} E \{S_{ijl}\} \Delta s_1 \Delta s_2 \dots \Delta s_n.$$

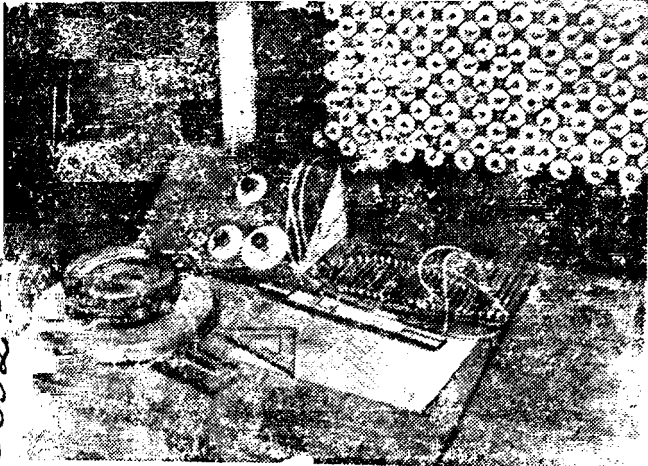
При бесконечном увеличении числа элементов A и B схемы, т. е. при предельном переходе $\Delta S_k \rightarrow 0$ получим линейное интегральное уравнение второго рода

$$U\{x_k\} = F\{x_k\} + \int_{(G)} \dots \int Z\{x_k, S_l\} \bar{B}\{S_l\} U\{S_l\} ds_1 ds_2 \dots ds_n \quad (9)$$

где $\bar{B} = B - B_0$.

Интеграция распространяется на область (G) , точки которой определяются координатами $\{S_l\}$. При этой замене мы используем основную идею метода Фредгольма, которая состоит в том, что интегральное уравнение типа (9) рассматривается как предельное для системы n линейных алгебраических уравнений с n неизвестными, когда n неограниченно возрастает.

Таким путем мы получаем возможность использовать многие весьма важные выводы теории интегральных уравнений в теории и практике электрического моделирования физических явлений при помощи искусственных тем из сосредоточенных параметров.



Общий вид электронинтегратора.

Рассмотрим теперь отдельные важные случаи режима работы электрических моделей в зависимости от характера параметров A, B и свойств источников E .

Однородные интегральные уравнения и уравнения с параметром ω^2 . Пусть проводимости A и B состоят из чисто реактивных элементов L и C , а источники $\bar{E} = Ee^{i\omega t}$ ($i = \sqrt{-1}$, ω — частота). При этом проводимость двухполюсника типа рис. 1 будет определяться выражением

$$A, B = 1: \sum_{i=1}^n \left[1: \sum_{m=1}^{k_i} \frac{1}{\omega L_{im} + \omega C_{im}} \right] \quad (10)$$

Собственные частоты системы можно определять по значениям резонансных частот.

В условиях, соответствующих резонансным частотам, узловых точек схемы будут действовать напряжения и при отсутствии внешних источников напряжения $Ee^{i\omega t}$, т. е. при $\{x_{ki}\} = 0$. Это будет соответствовать решению однородных интегральных уравнений второго рода:

$$u\{x_k\} = \omega^2 \int_{(G)} \dots \int Z\{x_k, S_l\} B\{S_l\} u\{S_l\} ds_1 \dots ds_n \quad (11)$$

где (G) — область интегрирования.

В электрической цепи происходят при этом колебания собственной частотой системы.

Значения $u\{x_k\}$ при фундаментальных значениях ω_k^2 называются, как известно, фундаментальными функциями. При сложной структуре проводимостей A и B величина ω и ω^2 не может быть полностью вынесена за знак интеграла. Ядра получаются более сложными.

При наличии одних только активных сопротивлений R_{im} параметрах схемы A и B

$$A, B = 1: \sum_{i=1}^n \left[1: \sum_{m=1}^{k_i} \frac{1}{R_{im}} \right] \quad (12)$$

При этом ядро уравнения знакоположительное, и мы не можем получить в схеме условия резонанса или возбудить в ней колебания. Источниками могут быть при этом и источники постоянного тока.

Система двух интегральных уравнений. При наличии источников $\bar{E}_k = E_k e^{i(\omega t + \varphi_k)}$, где φ_k — угол сдвига фаз напряжения относительно одного из напряжений $\bar{E}_0 = E_0 e^{i\omega t}$ и параметров A и B , состоящих из сочетания активных R и реактивных сопротивлений, уравнения получаются более сложными.

Пользуясь символическим методом, основанным на изображении синусоидальных функций времени комплексными числами, можно представить уравнения для напряжений при указанных условиях в виде системы двух интегральных уравнений второго рода.

При этом проводимость двухполюсника \bar{B} будет

$$\bar{B} = 1: \sum_{i=1}^n \left[1: \sum_{m=1}^{k_i} \frac{1}{R_{im} + i \left(\omega L_{im} - \frac{1}{\omega C_{im}} \right)} \right] = B_a - iB_b \quad (13)$$

Источники напряжений, сопротивления Z выразим в виде комплексных величин

$$\bar{F} = F_a + iF_b, \quad \bar{u} = u_a + iu_b, \quad \bar{Z} = Z_a + iZ_b$$

Подставив эти значения в (9), после преобразования получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} u_a\{x_k\} &= F_a\{x_k\} + \int \dots \int [(Z_a B_a + Z_b B_b) u_a\{S_l\} - \\ &\quad - (Z_b B_a - Z_a B_b) u_b\{S_l\}] ds_1 \dots ds_n \\ u_b\{x_k\} &= F_b\{x_k\} + \int \dots \int [(Z_b B_a - Z_a B_b) u_a\{S_l\} + \\ &\quad + (Z_a B_a + Z_b B_b) u_b\{S_l\}] ds_1 \dots ds_n \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Интегродифференциальные уравнения. До сих пор мы рассматривали только установившиеся явления в моделях (стационарные процессы) при воздействии постоянных источников тока, не изменяющихся во времени, или переменных токов, являющихся синусоидальными функциями времени. Переходные процессы в электрических моделях возникают при воздействии источников E , изменяющихся в функции времени $E = E(t)$ или при изменении состояния цепи, начиная с определенных начальных условий.

При наличии емкостей C и индуктивностей L энергия в цепи запасается в формах энергии электрического поля $\frac{Cu^2}{2}$ и энергии магнитного поля $\frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi I}{2}$ (где Φ — маг-

нитный поток). Благодаря нагреванию проводников энергия в моделях непрерывно расходуется пропорционально сопротивлению $-RI^2$. Зависимость между током и напряжением, например, в двухполюснике, изображенном на рис. 1, получается в виде дифференциального уравнения. Величина $Z\{x_{ki}, S_{lj}\}$ также является дифференциальным оператором —

сложной функцией от оператора $p = \frac{\partial}{\partial t}$.

Таким образом представляя Z и B в форме некоторых функций от p , получаем интегродифференциальное уравнение

Приведем следующий пример.

$$\text{Пусть } u\{x_{ki}\} = \left[L\{x_{li}, S_{lj}\} \frac{\partial}{\partial t} + R\{x_{ki}, S_{lj}\} \right] I\{S_{lj}\}$$

и

$$I\{S_{lj}\} = \left[C\{S_{lj}\} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{1}{R_0}\{S_{lj}\} \right] u\{S_{lj}\}.$$

В этом случае уравнение (16) будет иметь следующий вид:

$$u\{x_k, t\} = F\{x_k, t\} + \int_{(0)} \dots \left[LC \frac{\partial^2}{\partial t^2} + \left(RC + \frac{L}{R_0} \right) \frac{\partial}{\partial t} + \frac{R}{R_0} \right] \{x_k, S_k\} u\{S_l, t\} ds_1 \dots ds_n.$$

К этому интегродифференциальному уравнению приводится так называемое телеграфное дифференциальное уравнение (гиперболического типа), которое позволяет, в частности, описать электромагнитные явления в пространстве. При $L=0$ получаются уравнения, соответствующие дифференциальному уравнению теплопроводности Фурье (параболического типа).

При моделировании явлений, описываемых уравнениями (15), могут быть заданы произвольные начальные условия путем зарядки емкостей C и пропускания начальных токов через индуктивности L схемы.

Интегродифференциальные уравнения (15) можно выразить и в другом виде, получающемся путем рассмотрения времени t как еще одной дополнительной координаты при составлении интегрального уравнения. При этом получается интегральное уравнение второго рода смешанного типа Фредгольма-Вольтерра

$$u\{x_k, t\} = F\{x_k, t\} + \int_{t_1=0}^{t_2} \int_{(0)} K\{x_k t; S_l \tau\} u\{S_l, \tau\} ds_1 \dots ds_n d\tau. \quad (16)$$

Ядро $K\{x_k t; S_l \tau\}$ определяется путем измерения напряжений в узлах схемы $\{x_{ki}\}$ в различные моменты времени τ при задании импульсов тока (единичных функций) в узлах с координатами $\{S_{lj}\}$ в различные моменты времени t .

Интегральные уравнения для вектора тока. Идея, лежащая в основе введения функции сопротивления $\{Zx_{ki}, S_{lj}\}$, являющейся аналогом функции Грина (или функции влияния), допускает обобщение на проблемы определения вектора плотности тока в электрических моделях при помощи интегральных уравнений.

Пусть имеется n -мерная электрическая схема. Зададим исток I в точке $\{S_{lj}\}$. При этом по проводимости A потекут токи. От каждой внутренней узловой точки схемы отходят $2n$ проводимостей. Произведем измерение токов в n проводимостях A , направленных вдоль положительных значений координат x_k . Таким образом каждую точку будет характеризовать величина $I \cdot \{I_{k_1} + I_{k_2} + \dots + I_{k_n}\}$. При этом функция Z , имеет n составляющих для каждой точки.

Такие векторные интегральные уравнения получаются и при более сложных индуктивных связях между несколькими электрическими моделями и при наличии связей, создаваемых при помощи усилителей и стоков. В этих условиях получается аналог тензорам Грина для систем дифференциальных уравнений.

Интегральные уравнения для предложенных нами «многослойных» и «многоэтажных» электрических сеток (3—4) будут рассмотрены отдельно.

В случае применения нелинейных элементов получаются, естественно, нелинейные интегральные уравнения, которые важно рассмотреть при решении отдельных проблем, особенно проблем нелинейной электротехники, возникающих в связи с магнитным насыщением железа в машинах и аппаратах.

* * *

В конце ноября 1944 г. я получил возможность ознакомиться с весьма интересными работами G. Krcp, S. Rctio и др. (Л. 7—8) в области развития эквивалентных цепей двух- и трехмерных электромагнитных полей в соответствии с уравнениями Максвелла.

Эта работа представляет для меня особый интерес, в связи с тем, что я работаю в этом направлении уже свыше 5 лет и только теперь узнал, что знаменитые американские ученые-электрики обратили свое внимание на эту весьма многообещающую область.

Повидимому, они еще не могли познакомиться с опубликованными мной работами в журнале «Доклады Академии наук СССР» (Л. 1), в журнале «Электричество» (Л. 2), в журнале «Техническая физика» (Л. 3) и в моей книге (Л. 4), посланной в США в порядке культурной связи, а также с моей патентной заявкой в США (Л. 6).

Работы, которые уже в течение 5 лет ведутся в Академии наук СССР, отличаются тем, что в них проблема эквивалентных цепей поставлена весьма широко и выходит за

рамки самой электротехники. Мы применили электрические схемы и продолжаем развивать электрические искусственные модели для моделирования не только электромагнитных явлений, но также для решения проблем из самых разнообразных областей современной науки и техники.

Более подробное изучение свойств моделей из рассмотренных постоянных показало, что они позволяют моделировать явления более широкого круга, чем это возможно в помощи уравнений Максвелла. В частности, заново созданными «многослойными» и «многоэтажными» схемами оказалось возможным воспроизводить явления, приближенно описываемые бигармоническим уравнением

$$\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} = B(x, y)u + F(x, y)$$

и другими.

Кроме того, если пренебречь параметрами соединительных проводников, что почти всегда можно сделать, и ввести свободные координаты, не связанные с пространственными расположением элементов модели, то, как это показано в наших работах, можно создавать модели процессов в любых n -мерных областях. Таким образом число координат принципиально ничем не ограничено. Благодаря этому можно создавать модели «замкнутых трехмерных «блестящей» модели «четырёхмерных тел», «многолистных поверхностей» Римана и других сложных геометрических образцов представляющих интерес для математики.

Нам также пришлось решать общие вопросы задания произвольных граничных условий (пространственных и временных) и заниматься проблемой оценки погрешности решения задач на основе разностного метода. Кстати, удалось применить математический аппарат интегральных уравнений Фредгольма и Вольтерра для анализа свойств наших многомерных моделей, а также создать специальные модели для решения интегральных уравнений произвольного типа.

Определенный интерес представляет постановка нелинейных проблем. Так, например, при применении дросселей железом в режиме насыщения очень эффективно решаются задачи по расчету магнитных полей с учетом насыщения железа, помещенного в данные дроссели и т. п.

Мы придаем большое значение этим статьям в GER, как вестникам быстрого практического развития проблемы электрического моделирования физических явлений. Американцы правильно оценили значимость этих работ уже на одном только примере расчета электромагнитных волн.

Международное сотрудничество ученых Советского Союза, США и других объединенных наций может привести к успешному прогрессу в этой области, которая пока еще только находится в начальной стадии своего развития и имеющего большие перспективы.

Литература и заявки

1. Гутенмахер Л. И. — Искусственные электрические модели многомерных тел. Доклады Академии наук СССР т. XXVII, № 3, стр. 198, 1940 (на русском и немецком языках).
2. Гутенмахер Л. И. — Электрическое моделирование физических явлений. Электричество № 5, 1940.
3. Гутенмахер Л. И. — Электрическое моделирование физических явлений для решения краевых задач математической физики (электроаналогии). Журнал Технической физики, т. XII, вып. 2—3, стр. 47—64, 1942.
4. Гутенмахер Л. И. — Электрическое моделирование (электроинтегратор). Издание Академии наук СССР, 1943г.
5. Авторское свидетельство на изобретение, выданное бюрократиями НКЭП СССР № 25951, заявка № 27037 от 2 октября 1939 г.
6. Заявки: № 385381 от 26/III 1941 г. в США.
№ 6526 от 21/V 1941 г. в Англии.
№ 103 41 от 6/I 1941 г. в Швеции
№ 102729 от 19/XII 1940 г. в Германии.
№ 299 от 30/XII 1940 г. в Италии.
№ заявки из Франции не в лучен.
7. S. Ramo — A l'equivalent circuit for the Universe, GER, vol. 47, № 3, p. 7, 1944.
8. I. F. Mc Allister — Equivalent circuit of the electromagnetic field, GER, vol. 47, № 3, p. 9 — 14, 1944.

Расчет электромагнитных процессов в катушке трансформатора

Доктор техн. наук, проф. Э. А. МЕЕРОВИЧ

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

Публикуемая ниже статья доктора техн. наук, проф. Э. А. Мееровича является продолжением работ автора, посвященных развитию операторного метода решения краевых задач электротехники. В статье показано, что, принимая некоторую весьма общую схему электромагнитных связей между частями катушки, можно свести определение потенциала и тока в витках при произвольных начальных и краевых условиях к достаточно элементарному расчету. Можно полагать, что дальнейшее развитие этого метода решения некоторых задач электротехники является многообещающим.

1. Применяемые обозначения. Ранее мы ввели систему обозначений и формул преобразований, которые позволяют построить операторный метод расчета для решения краевых задач электротехники¹. Этот метод основан на применении теории рядов Фурье подобно тому, как метод Хевисайда основывается на теории интеграла Фурье. Проблема распространения волны в катушке представляет собой одну из задач, при решении которой эффективность нового метода оказывается значительной. В этой задаче значения токов и напряжений находятся в конечном промежутке (длина катушки) при определенных граничных условиях на его концах. При этом оказывается возможным непосредственно применить теорему умножения, что приводит к исключительно простому решению.

Укажем основные, принятые нами в дальнейшем обозначения, отсылая за подробностями к упомянутой работе.

Функция $f(x)$ задана в интервале $0 \leq x \leq l$, $f_c(x)$ — четная периодическая функция с периодом $2l$, совпадающая с $f(x)$ в промежутке $0 \leq x \leq l$, т. е. $f_c(x) = f_c(-x)$; $f_s(x)$ — нечетная периодическая функция, совпадающая с $f(x)$ в промежутке $0 \leq x \leq l$, т. е. $f_s(x) = -f_s(-x)$.

Обозначим далее:

$$f_c(n) = 2 \int_0^l f(\xi) \cos \frac{n\pi}{l} \xi d\xi, \quad (1,1)$$

$$f_s(n) = \frac{2}{i} \int_0^l f(\xi) \sin \frac{n\pi}{l} \xi d\xi. \quad (2,1)$$

При этих обозначениях получаем:

$$\tilde{f}_c(x) = \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_c(n) e^{i \frac{n\pi}{l} x}, \quad (1,2)$$

$$\tilde{f}_s(x) = \frac{1}{2l} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} f_s(n) e^{i \frac{n\pi}{l} x}. \quad (2,2)$$

Сокращенно соотношения (1,2) и (2,2) записываем так:

$$f(x) \doteq f_c(n), \quad (3,1)$$

$$f(x) \dot{=} f_s(n). \quad (4,1)$$

Правые части выражений (3,1) и (4,1) называем соответственно C изображением и S изображением функции $f(x)$. Изображения производных от $f(x)$ находятся в алгебраической зависимости от изображения самой функции

$$\begin{aligned} f_c^{(1)}(n) &= 2 \{ (-1)^n f(l) - f(0) \} + n^2 f_s(n), \\ f_c^{(2)}(n) &= 2 \{ (-1)^n f^{(1)}(l) - f^{(1)}(0) \} + n^3 f_c(n), \\ f_c^{(3)}(n) &= 2 n^2 \{ (-1)^n f(l) - f(0) \} + 2 \{ (-1)^n f^3(l) - f^3(0) \} + \\ &+ n^3 f_s(n) \text{ и т. д.} \\ f_s(n) &= n' f_c(n), \\ f_s^{(2)}(n) &= 2 \{ (-1)^n f(l) - f(0) \} n' + n'^2 f_s(n), \\ f_s^{(3)}(n) &= 2 n' \{ (-1)^n f'(l) - f'(0) \} + n'^3 f_c(n) \text{ и т. д.} \end{aligned} \quad (1,3)$$

где $f(0)$, $f(l)$, $f'(0)$, $f'(l)$... значения функции и ее производных в точках $x=0$ и $x=l$; $n' = i \frac{\pi}{l} n$.

Формулы (1,3) показывают, что такую же роль, какую в методах Хевисайда играет величина p , в наших расчетах играет величина n' .

Вместо начальных условий в наши расчеты входят краевые значения функции и ее производных.

Теорема умножения в наших обозначениях имеет следующий вид:

$$f_1(n) f_2(n) \int_{-1}^{+1} \tilde{f}(\xi) f_2(x - \xi) d\xi. \quad (1,4)$$

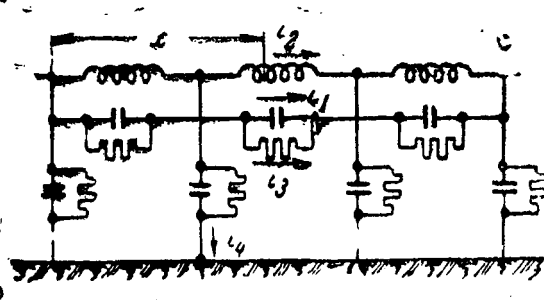
В зависимости от того, составлено ли произведение в левой части из C изображения или S изображения, оно представляет собой C или S изображение функции, стоящей справа².

Ниже все введенные нами обозначения применены для расчета электромагнитных процессов в катушке трансформатора.

2. Расчетная схема. Как известно, обмотка трансформатора может быть в первом приближении представлена с помощью схемы замещения, впервые введенной К. W. Wagner.

Вопрос о протекании процессов в подобной схеме играет в электротехнике большую роль и к его решению сводится ряд задач. Особые затруднения при решении в значаю очередь вследствие необходимости учесть взаимную индукцию между витками. Сам Wagner рассматривал лишь взаимную индукцию между соседними витками. В дальнейших многочисленных работах в той или другой форме рассматривали влияние несмежных витков. При этом исходные уравнения для решения задачи получают характер интегродифференциальных уравнений. Принятый метод решения этих уравнений заключается в сведении их к дифференциальным уравнениям, порядок которых весьма высок. Так, в работе L. Bewley, посвященной этому вопросу, для схемы несколько более сложного вида, чем схема Wagner, получено уравнение восьмого порядка. Для более простой схемы получено уравнение пятого порядка и для схемы без потерь уравнение четвертого порядка. Совершенно ясно затруднения, связанные с решением этих уравнений. Применение системы обозначений, указанной нами выше, позволяет непосредственно решать исходную систему интегродифференциальных уравнений, вводя непосредственно в расчет краевые и начальные условия задачи. При этом мы избавляемся от ряда затруднений, которые неизбежно возникают при многократном дифференцировании исходной системы уравнений, а также от трудностей, связанных с введением краевых и начальных условий задачи.

Рассмотрим схему замещения, подобную схеме Wagner, но с учетом взаимной индукции между несмежными витками. Схема эта рассмотрена L. Bewley и имеет вид, показанный на рисунке.



2 Там же.

¹ Э. А. Меерович. Метод операторного решения краевых задач электротехники, основанный на применении рядов Фурье, Электричество № 12, 1940.

При нашем решении мы введем в расчет магнитную связь между витками значительно более общего вида, чем это сделано в работе L. Bewley. Схема распределения магнитных потоков, принятая последним, может быть оправдана только потребностями расчета, но весьма далека от действительных условий, существующих в трансформаторах.

Вводим следующие обозначения:

u — напряжение по отношению к земле в точке x , i_1 ; i_2 ; i_3 ; i_4 — токи, показанные на схеме стрелками, r — сопротивление провода на единицу длины, C — емкость по отношению к земле на единицу длины обмотки, K — емкость между витками на единицу длины обмотки, g — проводимость утечки между витками на единицу длины обмотки, G — проводимость утечки по отношению к земле на единицу длины обмотки, φ — магнитный поток, пронизывающий виток в точке x , l — длина обмотки, ω — число витков на единицу длины обмотки.

3. Исходные соотношения. Исходные соотношения, получаемые на основании уравнения Кирхгофа, имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= -k \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}, \\ i_2 &= -g \frac{\partial u}{\partial x}, \\ i_3 &= \left(G + c \frac{\partial}{\partial t} \right) u, \\ -\frac{\partial u}{\partial x} &= r i_2 + \omega \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \\ i_4 &= -\frac{\partial}{\partial x} (i_1 + i_2 + i_3). \end{aligned} \right\} (5,1)$$

Поток $\varphi = \int_0^l M'(x\xi) i_2(\xi) d\xi,$

где $M'(x\xi)$ — коэффициент взаимной индукции между витком, находящимся в точке x , и витком, находящимся в точке ξ . При $x = \xi$ полагаем, что коэффициент взаимной индукции M' равен коэффициенту самоиндукции L на единицу длины обмотки. Вводим ограничительное предположение, что величина коэффициента взаимной индукции $M'(x, \xi)$ не зависит от положения витков в обмотке и зависит исключительно от расстояния между точками x и ξ .

Таким образом коэффициент взаимной индукции может быть представлен как функция модуля $|x - \xi|$, заданная в пределах от 0 до l , аналитически или, что также вполне достаточно, графически. Обозначим $M'(x, \xi) = M(|x - \xi|)$, где $M(r)$ — четная функция аргумента. Возможность использования графического представления функции $M(r)$ является особенно важным преимуществом применяемого способа расчета, так как она позволяет ограничиться при решении поставленной задачи экспериментальным определением этой функции. Таким образом поток φ может быть представлен в следующем виде:

$$\varphi = \int_0^l \tilde{M}_c(x - \xi) i_2(\xi) d\xi. \quad (6,1)$$

Система (5,1), (6,1) представляет собой систему интегральных уравнений, причем уравнение (6,1) по характеру близко к интегральным уравнениям типа Фредгольма с ядром $M_c(x - \xi)$.

4. Решение операторным методом. Применяя установленные соотношения, мы получаем вместо (5,1) следующие выражения:

$$\left. \begin{aligned} i_{1c}(n, p) &= -kn' \{ pu_s(n, p) - u_s(n, 0) \} - \\ &- 2k \{ (-1)^n [u_s(l, p) - u_s(l, 0)] - [u_s(0, p) - u_s(0, 0)] \}, \\ i_{2c}(n, p) &= -gn' u_s(n, p) - g^2 \{ (-1)^n u_c(l, p) - u_c(0, p) \} \\ &- n' \{ i_{1c}(n, p) + i_{2c}(n, p) + i_{3c}(n, p) \} = Gu_3(n, p) + \\ &+ cp u_s(n, p) - cu_s(n, 0), \\ n' u_3(n, p) - 2 \{ (-1)^n u(l, p) - u(0, p) \} &= ri_{2c}(n, p) + \\ &+ \omega p \varphi_c(n, p) - \omega \varphi_c(n, 0). \end{aligned} \right\} (7)$$

Для перехода от (6,1) к соотношению между изображениями нельзя непосредственно воспользоваться теоремой умножения, так как интеграл берется лишь в пределах полупериода. Однако и для этого случая легко получить соотношение, аналогичное теореме умножения.

Имеем:

$$\begin{aligned} \varphi_c(n, p) &= \int_{-l}^l \varphi_c(x, p) \cos \frac{\pi n}{e} x dx = \\ &= \int_{-l}^l \cos \frac{\pi n}{l} x dx \int_0^l \tilde{M}_c(x - \xi) i_2(\xi, p) d\xi = \\ &= \int_{-l}^l \cos \frac{\pi n}{l} x dx \int_0^l \frac{1}{2l} \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} M_c(k) \cos \frac{\pi k}{l} (x - \xi) i_2(\xi, p) d\xi = \\ &= \int_0^l i_2(\xi, p) d\xi \frac{1}{2l} \int_{-l}^l \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} M_c(k) \cos \frac{\pi n}{e} x \cos \frac{\pi k}{l} (x - \xi) dx. \end{aligned}$$

Если функции, входящие в рассмотрение, как это практически всегда бывает, удовлетворяют тем условиям, которые к ним предъявили, вводя операторный метод расчета, то здесь возможно интегрирование под знаком интеграла, а также почленное интегрирование ряда. Во всяком случае допустимость формальных операций, которые мы здесь проводим, может быть проверена последующей подстановкой.

После преобразования получаем

$$\varphi_c(n, p) = \frac{1}{2} i_{2c}(n, p) M_c(n). \quad (7,1)$$

Система (7), (7,1) алгебраических уравнений может быть легко разрешена относительно неизвестных изображений исходных функций. Так, для изображения функции, характеризующей распределение напряжения вдоль обмотки, получаем следующий результат:

$$\begin{aligned} u_s(n, p) &= \frac{2 \{ (-1)^n u(l, p) - u(0, p) \} \left[1 + (kp + g) \left[r + \frac{\omega p}{2} M_c(n) \right] \right] - \\ &- (G + pc) \left(r + \frac{\omega p}{2} M_c(n) \right) - \\ &- \omega \varphi_c(n, 0) + \left[-2k \{ (-1)^n u(l, 0) - u_s(0, 0) \} + \left(kn' + \frac{c}{n'} \right) u_s(n, 0) \right] \left(r + \frac{\omega p}{2} M_c(n) \right) n' \\ &- n'^2 \left[(kp + g) \left(r + \frac{\omega p}{2} M_c(n) \right) + 1 \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Полученное столь простым путем изображение для функции напряжения кажется не слишком громоздким, если учесть сравнительную полноту схемы и то обстоятельство, что в выражении (8) приняты отличными от нуля и заданными напряжения на обоих концах линии, начальный магнитный поток, начальное распределение напряжения вдоль катушки. Если g и k в формуле (8) принять равным нулю, а $\omega M_c(n)$ принять равным $2L$, то она переходит в соответствующее выражение для двухпроводной линии, как и следовало ожидать.

В случае включения на постоянное напряжение катушки с заземленным концом, при отсутствии начальных токов и напряжений, формула упрощается и принимает вид:

$$p) = -\frac{2u}{p} n' \frac{1 + (kp + g) \left[r + \frac{\omega p}{2} M(n) \right]}{\left[r + \frac{\omega p}{2} M(n) \right] [(G - n^2 g) + (c - n^2 k)p] - n^2} \quad (9)$$

Введем обозначения, аналогичные тем, которые применяются для случая двухпроводной линии:

$$\begin{aligned} L' &= \frac{\omega M(n)}{2}, & v' &= \frac{1}{\sqrt{L'C'}} \\ G' &= G - n^2 g, & \alpha'(p) &= \sqrt{(r + L'p)(G' + pc')}, \\ C' &= C - n^2 k, & \gamma' &= \frac{r}{2L'} - \frac{G'}{2C'} \\ \delta' &= \frac{r}{2C'} + \frac{G'}{2C'}. \end{aligned}$$

Тогда

$$u_s(n, p) = \frac{1 + (kp + g)(r + PL')}{\alpha'^2(p) - n^2} \frac{2un'}{p} \quad (9,1)$$

Переходя в выражении (9) к функциям от времени, можно воспользоваться обычными формулами операторного метода и, в частности, методом контурных интегралов. Полюсы функции определяются весьма просто.

Именно

$$p_{1,2} = 0, \quad p_{2,3} = -\delta' \pm \sqrt{\Delta'^2 + n'^2 v'^2} \quad (9,2)$$

Учитывая (9,2), мы получаем:

$$\begin{aligned} u_s(n, t) &= - \left\{ \frac{1 + rg}{rG' - n^2} + \frac{e^{-\delta' t}}{L'C'} \left[\frac{L'g + rk}{\sqrt{\Delta'^2 + n'^2 v'^2}} - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \frac{(1 + rg)\delta'}{\sqrt{\Delta'^2 + n'^2 v'^2} (rG' - n^2) v'^2} - \frac{kL'\delta'}{\sqrt{\Delta'^2 + n'^2 v'^2}} \right] \text{sh} \sqrt{\Delta'^2 + n'^2 v'^2} + \right. \\ &\quad \left. + e^{-\delta' t} \left[\frac{k}{C'} - \frac{1 + rg}{rG' - n^2} \right] \cos \text{h} \sqrt{\Delta'^2 + n'^2 v'^2} t \right\} un'. \quad (9,3) \end{aligned}$$

Выражение (9,3) при замене $L' = L$ переходит в аналогичное выражение, полученное L. Bewley, и представляет собой решение задачи при поставленных более общих условиях в отношении характера магнитных связей. К каким трудностям приводит попытка введения подобного обобщения при пользовании другими методами, можно увидеть, сравнивая

наше решение с решением, которое было произведено в других работах³.

5. Случай более общих электростатических связей. Дальнейшее естественное обобщение расчета рассматриваемого процесса в целях приближения к реальным условиям действительной обмотки должно заключаться во введении более общих электростатических связей, чем это сделано в рассмотренной схеме замещения. Непосредственное сведение расчета потенциала к формуле, аналогичной формуле (6,1), принятой нами для вычисления магнитного потока, не представляется возможным. Принятая для расчета магнитного потока формула не учитывает влияния неоднородности магнитных свойств при перемещении по длине обмотки (влияние ярма, деталей конструкции и т. д.). Повидимому, эта степень приближения является вполне допустимой.

Однако при расчете потенциала влияние условий на концах обмоток должно иметь решающее значение и формула для потенциала должна иметь другой вид, нежели уравнение (6,1), в которое крайевые условия не входят. Более общий вид электростатических связей, чем голько вытекающий из схемы рисунка, может быть получен, если предположить, что выражение для потенциалов удовлетворяет самосопряженному дифференциальному уравнению:

$$L(u) = q(x), \quad (10)$$

где $L(u)$ — линейный оператор с постоянными коэффициентами, u — потенциал и $q(x)$ — плотность заряда в точке x .

В этом случае уравнение (10) преобразуется в алгебраическое уравнение, связывающее изображение функции, характеризующей распределение заряда, и функции, характеризующей распределение вдоль x вида

$$f(n)u(n) = q(n) + \varphi_1(n)u(0) + \varphi_2(n)u(l) + (10,1)$$

Уравнение (10) в зависимости от вида оператора может удовлетворять схеме, учитывающей наиболее сложный характер электростатических связей. В частности, например, может быть учтено наличие еще одной обмотки.

Исходные уравнения записываются вместо (5,1) в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} g - uG &= \frac{\partial q(x)}{\partial t}, \\ -\frac{\partial u}{\partial x} &= iR + \frac{\partial}{\partial t} \varphi(x). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Уравнения (6,1), (10) и (11) полностью определяют протекание процесса; при этом (10) при переходе к изображениям принимает вид: (10,1); (6,1) заменяется через (7,1). Вместо (11) получаем алгебраическую систему:

$$\begin{aligned} &- \{ n' i_c(n, p) - g[n^2 u_s(n, p) + 2n'(-1)^n u(l, p) - u(0, p)] + \\ &\quad + u_s(n, p) G \} - pq_s(n, p) - q_s(n, 0), \\ &- \{ n' u_s(n, p) + 2[(-1)^n u(l, p) - u(0, p)] \} = \\ &= i_c(n, p) k + p \varphi_c(n, p) \varphi_c(n, 0). \quad (12) \end{aligned}$$

Решая эту систему относительно неизвестных $u_s(n, p)$ или $i_c(n, p)$, мы получаем искомое решение, которое при переходе к функциям от x и t описывает процесс в обмотке.

³ См., например В. А. Карасьев. Перенапряжения в обмотках трансформаторов с заземленной нейтралью. Москва, 1934.

Новый тип дугового статора для электропривода с малыми и регулируемыми скоростями вращения

Кандидат техн. наук П. А. ФРИДКИН

Свердловск

Для эскалаторов, лифтов, конвейеров и других подобных устройств необходимы электроприводы с весьма малой скоростью вращения. Изготовление и эксплуатация редукторных механизмов у таких машин сильно усложняются и, в частности, вес и потери таких редукторных механизмов во много раз превосходят веса и потери электродвигателя.

Новый тип дугового статора, осуществляющего плавно регулируемый безредукторный привод некоторых механизмов, основан на электрическом подобии его одному типу редуктора.

В редукторе из цилиндрических или конических зубчатых колес выполняются две функции: изменение угловой скорости вала и изменение вращающего момента.

Без учета энергетических потерь имеем в любом редукторе

$$M_1\omega_1 = M_2\omega_2 \quad (1)$$

Дуговой статор в рассматриваемом отношении характерен тем, что осуществляет те же функции, что и редуктор.

Рассмотрим характерный для быстрогоходного электродвигателя малополосный статор с каким-то номинальным окружным усилием F_t . Мысленно разрежем окружность этого статора и, не меняя других его данных, станем разгибать его в дугу все возрастающего радиуса. Тяговое усилие F_t статора будет оставаться при этом неизменным. Момент M будет расти пропорционально увеличению радиуса R дуги статора.

Угловая скорость ω определяется уравнением:

$$\omega = \frac{v}{R}, \quad (2)$$

где v — линейная скорость магнитного поля, она же синхронная скорость ротора, которая в свою очередь определяется уравнением

$$v = 2\pi f, \quad (3)$$

где τ — полюсный шаг, а f — частота.

Таким образом при рассматриваемом преобразовании кругового статора в дуговые статоры радиуса R_1, R_2, \dots, R_n , эти статоры будут удовлетворять уравнению

$$M_1\omega_1 = M_2\omega_2 = \dots = M_n\omega_n, \quad (4)$$

т. е. дуговой статор, как и редуктор, преобразует момент и угловую скорость. Дуговой статор играет при этом роль как бы ведущей быстроходной шестерни, но развернутой в дугу и имеющей 100% поверхности сцепления.

Таким образом дуговой статор осуществляет собой как бы электрическую аналогию редуктора, благодаря чему мы можем получить безредукторный привод прокатных станов, шаровых мельниц, шахтных подъемников, поршневых компрессоров и насосов, а также многих других типов тихоходных рабочих машин. Дуговой статор сочетается при этом малое число полюсов с малой угловой скоростью вращения приводимого механизма.

Такой дуговой статор не применим, однако, по чисто конструктивным соображениям для непосредственного вращения таких барабанов, шкивов и других цилиндров, где окружная скорость в м/сек приблизительно меньше $0,07f$, где f — частота. При 50 Hz это — 3,5 м/сек.

Таким образом, например, невозможно было до сих пор осуществить безредукторный привод эскалаторов и многих других весьма тихоходных рабочих машин, у которых линейная скорость на ободе меньше 3—4 м/сек.

Решение этой задачи дает электрическая аналогия червячного редуктора, допускающего возможность более резких преобразований скорости и получения весьма малых ее значений. Дуговой статор получает в этом случае магнитопровод из стальных листов, повернутых на 90° относительно их обычного положения. Они собраны как пластины коллектора (рис. 1а). Также повернута на 90° обмотка статора, т. е. сек-

ции ее не параллельны оси вращения, а идут по дуге в пазах статора. Чередование фаз обмотки вдоль оси вращения обое. Полюсный шаг может быть выбран любым, в пределах например, 6 см и более. Число полюсных делений может быть взято равным 2 или более.

Нетрудно понять, что мы получаем дуговой статор, которого магнитное поле перемещается не по окружности вращения, а вдоль оси, т. е. вдоль образующей колеса. Так магнитное поле еще не даст, конечно, эффекта вращения барабана или колеса.

Но повернем рассматриваемый дуговой статор на некоторый небольшой угол (рис. 1б), например, 10° . Это повернет на тот же угол скорость магнитного поля, и появится то составляющая v_t , направленная по окружности обода и рав-

$$v_t = v \sin \theta,$$

где θ — угол поворота статора.

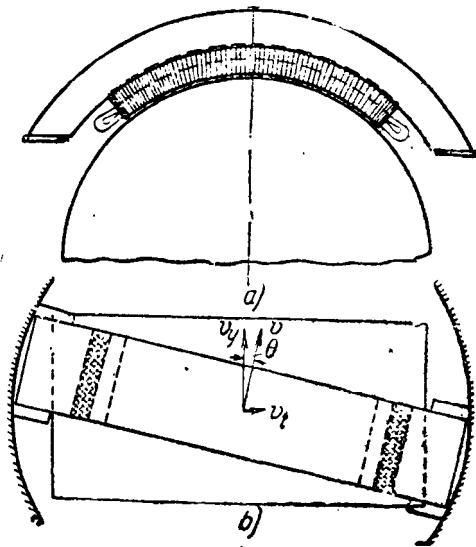


Рис. 1.

Колесо придет во вращение с этой составляющей синхронной скоростью. Так как θ может быть практически сколько угодно малым, то можно получить и сколько угодно малую величину v_t . Меняя угол поворота статора θ , мы будем получать разные значения величины v_t , т. е. осуществим электропривод с плавно регулируемой скоростью. Его номинальная мощность будет расти пропорционально этой скорости.

Дуговой статор рассматриваемого нового типа воспроизводит схему и принципы работы червячного редуктора, т. е. является полной электрической аналогией такого редуктора. Дуговой статор играет здесь роль винта червячной передачи и подобно такому винту испытывает также осевое давление, величина которого определяется уравнением

$$F_y = \frac{B_e AS_{2f} \cos \varphi_{2f}}{\sqrt{2} \cdot 0,981 \cdot 10^7} S.$$

На это осевое давление должен рассчитываться подшипник ротационного узла, вращаемого статором.

Аксиальное магнитное поле возбуждает роторные э. д. с. вдоль дуги и токи одноименного направления. Эти токи не дают вращающего момента относительно взятой оси, но создают осевое давление F_y по уравнению (6) и вызывают дополнительные электрические потери. Снижение этих токов может быть достигнуто аксиальными разрезами в магнитопроводе, которые не дают образоваться в ободе дуговым контурам тока.

Аксиальная составляющая магнитного поля не дает в этом случае джоулевых потерь по тем же причинам, по которым у обычного электродвигателя тангенциальное (вращающееся) магнитное поле не вызывает в неподвижном фазном роторе других потерь, кроме дополнительных роторных железных потерь, соответствующих частоте сети. Но эти дополнительные потери не в состоянии резко снизить уровень к. п. д. в интервале скоростей, не близких нулю.

* Для статоров на высокое напряжение эта величина еще больше.

Если же за исходную принять максимальную скорость ($\theta = \pm 90^\circ$), то рассматриваемые дополнительные железные роторные потери измеряются единицами процентов. При меньших скоростях, когда снижается и тормозная мощность, к. п. д. также, конечно, снижается, но по отношению к червячной передаче или совокупности других передач с большим передаточным числом общий к. п. д. у нового типа электропривода остается значительно выше, если только соблюдены условия рационального расчета и конструирования дугового статора во всем остальном.

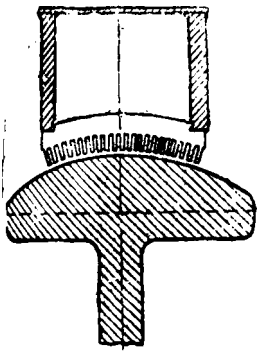


Рис. 2.

Для получения возможности изменения угла поворота статора θ статорные листы выполняются с радиусом кривизны, равным радиусу вращения. Собранный магнитопровод представляет собой при этих условиях усеченный шар, поворот которого вокруг оси ZZ (рис. 2) на любой угол θ не изменяет установленного зазора.

На рис. 3 представлены пусковой ток I_n , пусковой момент M_n и синхронное число об/мин двигателя n статора в функции угла поворота θ . Величина n определяется выражением:

$$n = \frac{60 \cdot f}{\pi R} \sin \theta. \quad (7)$$

Весьма важно во многих случаях, что в новом двигателе реверсирование осуществляется без электрической аппаратуры и без толчков тока в сети, связанных с переключением фаз.

При $\theta = 0$ вращающий момент статора относительно заданной оси вращения также равен нулю. В этом положении статора осевые э. д. с. ротора равны нулю, а по мере поворота статора эти э. д. с. нарастают, приобретая максимальное значение при $\theta = \pm 90^\circ$.

Для регулировки синхронной скорости от максимума до нуля рациональным является дуговой статор, у которого хорда магнитопровода равна его осевому размеру. В этом случае ротор должен быть шире статора на

$$\Delta = (\sqrt{2} - 1) 100 \approx 41\%.$$

Заключение. Наиболее важной особенностью рассматриваемого типа безредукторного электропривода является возможность плавного регулирования синхронной скорости, начиная от нулевой.

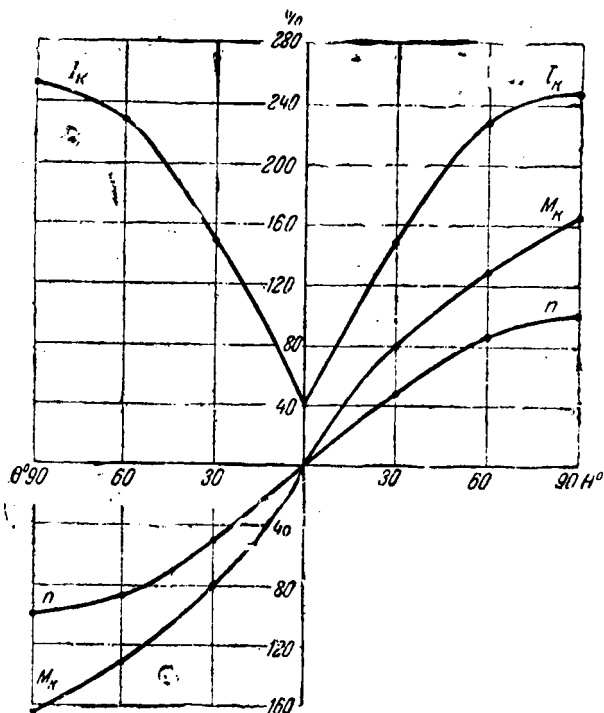


Рис. 3.

В новом электродвигателе магнитное сцепление между статором и ротором воспроизводит схему и принципы механического сцепления червячного редуктора, а различные возможные положения статора относительно ротора и связанные с этим различные значения угла θ осуществляют как бы переменный шаг винта в червячном редукторе и переменное передаточное число между винтом и ведомым колесом.

Главная цель, достигаемая рассматриваемым типом электродвигателя, заключается в том, что определенные рабочие машины, требующие плавной регулировки скорости или весьма малой постоянной скорости, освобождаются от громоздких механических передач, приводных валов, муфт, подшипников и смазочных устройств, усложняющих изготовление и эксплуатацию этих машин.

Серийный генератор постоянного тока как отрицательное сопротивление

Кандидат техн. наук, доц. В. А. ВЕНИКОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Серийный генератор постоянного тока может быть использован для создания «отрицательного сопротивления», в чем встречается необходимость в различных случаях, например, в случаях, когда требуется увеличение постоянной времени $\left(T = \frac{L}{r}\right)$ цепи, это имеет важное значение для работ по регулированию и работ по моделированию электрических систем (Л. 1).

На возможность использования серийного генератора для увеличения постоянной времени модели синхронного генератора было указано автору в 1936 г. членом-корреспондентом Академии наук СССР И. С. Бруком, по заданию которого в лаборатории электросистем ЭНИН были проведены первые опыты.

Опыты по использованию серийного генератора для создания отрицательного сопротивления впервые проводил Майер [Л. 2], который пришел к выводу о непригодности этого способа. Однако исследования, проведенные автором, показали обратное.

Возможность использования серийного генератора в качестве отрицательного сопротивления основывается на следующих соображениях. Предположим, что характеристика холостого хода прямолинейна:

$$U_{xx} = k_0 i.$$

При включении серийного генератора в цепь, содержащую r , L и некоторый источник постоянного напряжения e , уравнение цепи имеет вид:

$$E_0 + e = ir - k_0 i + i \Delta r + L \frac{di}{dt}. \quad (1)$$

Здесь E_0 — остаточное напряжение серийного генератора; $i \Delta r$ — падение напряжения на щетках генератора и действие размагничивающих ампервитков.

Из уравнения (1) следует, что мы можем рассматривать $k = k_0 - \Delta r$ как некоторое отрицательное сопротивление и считать, что включение в цепь серийного генератора уменьшило активное сопротивление цепи с величины r до величины $r - k$, причем, поскольку генератор имеет остаточную э. д. с. — E_0 , результирующая э. д. с., действующая в цепи, увеличилась с e до $e + E_0$. Очевидно, что постоянная времени цепи также будет увеличена до значения

$$T = \frac{L}{r - k}. \quad (2)$$

Для того чтобы серийный генератор мог являться отрицательным сопротивлением как при медленных изменениях тока в цепи, так и при нестационарных процессах, он должен отвечать следующим требованиям:

- 1) суммарное сопротивление цепи r должно быть больше k ;
- 2) характеристика холостого хода должна быть прямолинейной в пределах возможного изменения тока в цепи: от i_{\min} до i_{\max} ;
- 3) величина дополнительной э. д. с. Δe , появляющейся на клеммах генератора после изменения тока в цепи и обусловленной наличием гистерезисной петли в характеристике $U = f(i)$, должна быть настолько мала, чтобы ток i возвращался к своему прежнему значению после возвращения цепи к прежнему состоянию;
- 4) изменение напряжения на щетках генератора должно точно следовать за соответствующими изменениями тока в цепи;
- 5) скорость двигателя, вращающего генератор, должна быть строго постоянной, так как иначе значение отрицательного сопротивления k будет изменяться пропорционально изменению скорости.

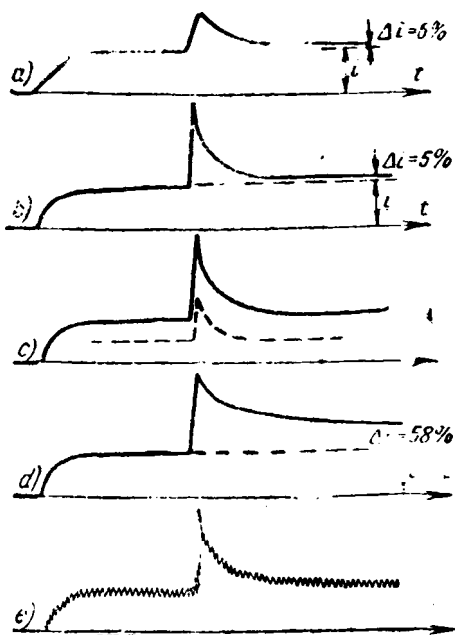


Рис. 1.

Насколько отвечают требованиям 1—5 различные конструкции серийного генератора, видно из рис. 1.

Осциллограммы нестационарных процессов, приведенные на этом рисунке, относятся к случаю использования серийного генератора для увеличения постоянной времени обмотки возбуждения синхронного генератора.

Осциллограмма 1а снята при применении для компенсации активного сопротивления обычного серийного генератора с массивными полюсами, 1б при специально построенном генераторе, полюса и станина которого были выполнены из листового железа (типа Армко).

Для того чтобы обнаружить искажения, вносимые серийным генератором при компенсации активного сопротивления, описанные выше опыты были проведены следующим образом: последовательно с обмоткой возбуждения вводилось дополнительное активное сопротивление R_0 , равное сопротивлению обмотки возбуждения, благодаря чему постоянная времени уменьшилась вдвое с 0,9 до 0,45 сек.; это сопротивление R_0 компенсировалось серийным генератором, создававшим отрицательное сопротивление, равное дополнительному ($k = R_0$).

Искажения обнаруживались сравнением с приведенной на рис. 1с осциллограммой процесса при замкнутом сопротивлении R_0 и остановленном ($k = 0$) серийном генераторе (здесь же пунктиром показана осциллограмма при $k = 0$, но незамкнутом R_0). Из сравнения осциллограмм 1а—с следует, что серийный генератор с массивным статором может быть использован только при медленных процессах; применение генератора с статором из расслоенного железа позволяет получить хорошие результаты и при быстрых процессах, так как запаздывание напряжения на якоре генератора от тока не превосходит 0,005—0,01 сек.

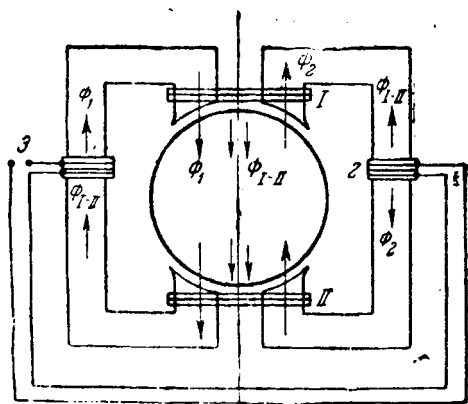


Рис. 2.

1, II — серийные обмотки возбуждения; 1, 2 — вспомогательные обмотки, включенные навстречу; 3 — питание током высокой частоты.

В случае 1д представлена осциллограмма тех же процессов при 14-кратном увеличении постоянной времени. Из-за столь большой компенсации искажение тока Δi за счет изменения остаточной э. д. с. оказывается очень заметным, достигая 58%. Значительно снизить эти искажения можно, помещая на противоположных сторонах статора серийный генератор две включенные навстречу вспомогательной обмотки, питаемые током высокой частоты, непрерывно перемагничивающим железо статора.

Как видно из осциллограммы 1е, снятой в тех же условиях, что осциллограмма 1д, изменение тока оказывается совершенно ничтожным.

Неприятным явлением в этом случае является наличие «зубцов» в осциллограммах тока, обусловленных влиянием перемагничивающих токов высокой частоты.

Применение предложенной автором специальной конструкции серийного генератора с расщепленными полюсами схематически показанной на рис. 2, позволяет устранить влияние остаточной э. д. с. (Δe), одновременно устранив и искажающие «зубцы». Такой специальный серийный генератор является наиболее простым и совершенным способом получения отрицательного сопротивления¹.

В заключение отметим, что отрицательное сопротивление, созданное серийным генератором, легко сделать переменным, зависящим от тех или иных факторов, например, скорости ($k \equiv n$), что существенно для целей регулирования.

Литература

1. В. А. Веников. Моделирование электрических систем при помощи вращающихся машин. Электричество № 9, 1939.
2. Mayer. Erhöhung der Zeitkonstante von induktiven Kreislagen. E и M, стр. 495, Н. 42, 1935.

Механическая модель синхронной машины

Кандидат техн. наук, доц. М. Р. НИКОЛАЙЧУК

Днепропетровск, «Южэлектромонтаж»

В настоящей работе предлагается механическая модель поясняющая работу синхронной машины (главным образом режим двигателя) и позволяющая получить наглядное представление как о роли отдельных факторов, определяющих движение ротора, так и об их взаимном одновременном действии.

Кроме того предлагаемая механическая модель позволяет использовать ее как подвижную векторную диаграмму синхронной машины. Подбором соответствующих параметров модель можно использовать наподобие расчетного стола для решения конкретных задач по синхронному электроприводу.

Уравнение движения синхронной машины. Уравнение движения ротора синхронной машины, относительно равномерно вращающегося с синхронной скоростью поля статора может быть выражено:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + M \frac{d\theta}{acdt} + M_{\max} \sin \theta + M_p \sin 2\theta = M_c \quad (1)$$

Здесь J — момент инерции ротора в M_{ac} — асинхронный момент в kgm при скольжении один электрический радиант секунду; M_{\max} — максимальный опрокидывающий момент в kgm ; M_p — максимальный реактивный момент в kgm .

В уравнении (1) не учтен еще асинхронный момент от токов, возникающих в обмотке возбуждения при изменении угла θ . Однако этот момент может быть учтен путем подбора соответствующего коэффициента M_{ac} во втором члене уравнения (1).

Вращающееся магнитное поле и ротор. Полагая наблюдателя связанным с магнитным вращающимся полем статора считаем это поле (относительно наблюдателя) неподвижным. В механической модели поле имитируется вырезанным в фанеры листом соответствующей формы (рис. 1), укрепленным на стойке. Поле принимается двухполюсным, так как при этом электрические углы равны геометрическим. Ротор также изображается соответственно вырезанным листом в фанеры, укрепленным на оси, на шарикоподшипниках.

¹ Получение отрицательного сопротивления применением специальных схем с электронными лампами — путь значительно более сложный.

² Под вращающимся полем статора всюду понимается поле, вызванное приложенным напряжением сети, но отнюдь не результирующее поле синхронной машины, т. е. не геометрическая сумма поля статора и ротора.

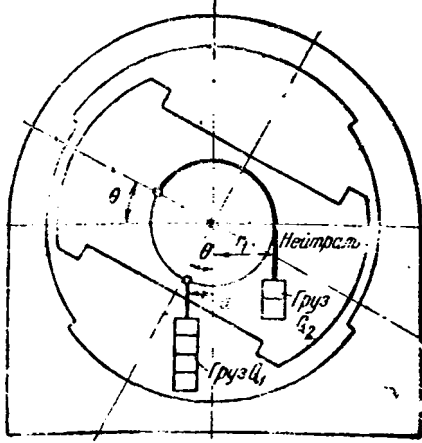


Рис. 1.

Если принять, например, что поле статора имеет вращение против часовой стрелки, то ротор в неподвижном состоянии (относительно поля статора) представляет синхронное движение также против часовой стрелки. Передвижение ротора на какой-либо угол по часовой стрелке означает отставание его от поля. Вращение ротора модели по часовой стрелке с синхронной скоростью означает неподвижный ротор при синхронно-вращающемся поле.

Угол θ между осью поля статора и осью ротора может быть отсчитан по шкале, нанесенной на статоре модели. За положительное направление угла θ принимается направление по часовой стрелке, т. е. в сторону отставания (моторный режим).

Инерционный момент. Для того чтобы показать влияние на движение ротора изменения момента инерции, достаточно связать с валом ротора стержень с передвигаемыми симметрично расположенными грузами. Это приспособление имитирует первый член левой части дифференциального уравнения (1):

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Инерционный стержень располагается с задней стороны модели.

Синхронный момент и момент нагрузки. К краю диска радиуса r_1 подвесим на шарнире груз Q_1 . Если этот диск жестко связан с валом ротора, то под влиянием веса груза ротор расположится по горизонтали, т. е. полюсы ротора станут против полюсов вращающегося магнитного поля статора.

Отклоняя ротор на 90° от положения равновесия, груз Q_1 создаст вращающий момент, равный $r_1 Q_1$. Этот момент прием равным

$$M_{\max} = r_1 Q_1.$$

При всяком промежуточном значении угла $90^\circ > \theta > 0$ момент, возвращающий ротор в положение равновесия, будет

$$M_{\max} \sin \theta.$$

Этот момент соответствует синхронному моменту машины.

Упомянутое выше приспособление позволяет наглядным образом проследить за поведением ротора при изменении нагрузки. В частности, определенный интерес вызывает пример внезапного приложения или снятия нагрузки. Если груз Q_2 будет подперт так, что ротор будет находиться на нейтрали (нагрузки нет — холостой ход) и затем груз внезапно опустит (внезапно приложен момент M_c), то ротор займет новое положение равновесия (соответствующее углу θ). Та же картина будет иметь место, если груз Q_2 внезапно будет снят. Изменяя J системы, можно влиять на период колебаний.

Затухание качаний будет небольшое и определяется только механическим трением системы. Уменьшая по возможности трение в пределе, приходим к идеальному случаю: отсутствию затухания колебаний. На модели легко продемонстрировать, что при внезапном приложении груза первоначальный угол отклонения значительно превышает угол установившегося равновесия. Можно наглядно показать, что M_c — момент нагрузки, меньший M_{\max} (например, $M_{\max} > M_c > 0,725 M_{\max}$), может опрокинуть ротор и т. д.

Асинхронный момент демпферной клетки. Перпендикулярно к валу ротора жестко закреплен медный или алюминиевый диск, находящийся в поле одного или двух элект-

ромагнитов. Момент взаимодействия между диском и электромагнитом будет в первом приближении пропорционален угловой скорости диска, т. е.

$$M_{ac} \frac{d\theta}{dt},$$

и зависеть от напряжения поля.

Изменяя возбуждение поля магнитов, мы произвольно можем вводить любую степень демпфирования. Создавая достаточную степень демпфирования, можно добиться, например, отсутствия качаний при внезапном изменении нагрузок и наглядно пояснить, что при этом синхронный двигатель может опрокинуться только при $M_c > M_{\max}$, в то время как при отсутствии демпфирования опрокидывание может произойти уже при $M_c \geq 0,725 M_{\max}$. Это же приспособление позволяет демонстрировать асинхронный пуск синхронного двигателя.

Раскрутив, хотя бы от руки ($M_c = 0$), ротор модели при возбужденных магнитах, мы будем наблюдать его интенсивное замедление (т. е. приближение к синхронной скорости) и, наконец, остановку (синхронизация).

Конструктивно электромагнитную систему располагаем также позади ротора модели.

Реактивный момент. Со шкивом радиуса r_1 , находящимся на валу ротора модели, связан при помощи гибкой передачи свободный шкив вдвое меньшего радиуса $\frac{r_1}{2}$ (рис. 2). Послед-

ний шкив имеет груз Q_3 , подвешенный с таким расчетом, что в положении равновесия ротор модели находится на нейтрали. При этом отклонении ротора на угол θ соответствует поворот малого шкива на угол 2θ , следовательно, момент груза, отнесенный к валу ротора, будет изменяться по закону $M_p \sin 2\theta$.

Это приспособление хорошо и наглядно иллюстрирует, например, то, что на один полный оборот ротора модели может приходиться два положения равновесия. Это означает, что в реальной синхронной машине, в невозбужденном состоянии (в модели снят груз Q_1 , т. е. при $M_{\max} = 0$), двигатель может впасть в синхронизм при любой из двух возможных комбинаций полюсов ротора относительно поля.

Подвесив же груз Q_1 (т. е. возбуждая машину), мы можем попасть либо в такт, либо в разрез поля. В последнем случае ротор сначала выпадает из синхронизма и затем с некоторыми колебаниями, определяемыми его J и M_{ac} , впадает снова в синхронизм, но с обратным расположением полюсов. Величину M_p можно варьировать в нужных пределах, придавая грузу Q_3 то или иное значение путем навесок. Это приспособление также конструктивно расположено с задней стороны модели.

Численные соотношения для наладки модели. Как показал опыт, габаритные размеры модели $700 \times 700 \times 400$ мм вполне достаточны. Гораздо большее принципиальное значение имеет соотношение величин шкивов и грузов.

Здесь может быть применен простой расчет. В первую очередь выбирают груз Q_1 , состоящий из 4 или 5 разновесов. Груз Q_1 должен быть достаточен, чтобы ротор модели останавливался на нейтрали. Приняв, что

$$M_{\max} \approx (1,8 \div 2,5) M_N,$$

где M_N — номинальный момент машины, остальные грузы легко подобрать, исходя из обычно встречающихся на практике соотношений для реальных синхронных машин:

$$M_c = M_N; \quad M_{ac} = (0,5 \div 1) M_N; \quad M_{\max} = (1,8 \div 2,5) M_N; \\ M_c = (0,3 \div 0,6) M_N; \quad J = (0,25 \div 2,0) J_N.$$

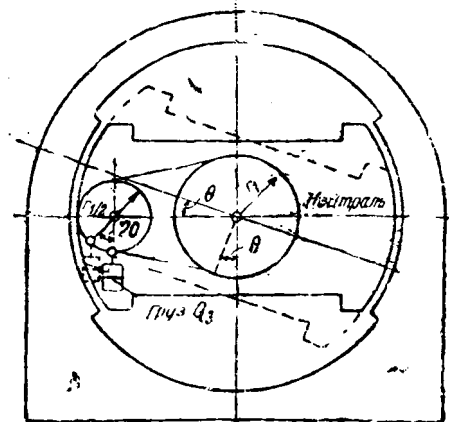


Рис. 2.

Пояснения требует лишь определение J . Под J_n здесь понимается величина момента инерции, которая под влиянием M_n обуславливает угловое ускорение ротора, равное:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = 1 \frac{\text{radian/sec}}{\text{sec}}$$

Векторная диаграмма синхронной машины. Для насыщенной синхронной машины, а также машины без явно выраженных полюсов, характерным является то, что значение X_d приближается к значению X_q , т. е. $X_d = X_q = X_a$, и геометрическое место тока (вектор OD) статора является простой окружностью, описанной из точки O_1 радиусом r :

$$r = \frac{E_f}{X_a} = J_n.$$

Эта круговая биполярная диаграмма позволяет определить величину и фазу тока статора, а также момент и мощность машины, пропорциональные проекции вектора тока на вертикаль.

Непосредственная связь векторной диаграммы с положением ротора машины (углом θ) позволяет на механической модели воспроизвести подвижную векторную диаграмму синхронной машины. На рис. 3 показано схематически подобное устройство. Векторы O_1D и OD выполнены из легкого гибкого шнура, пропущенного через блок у узла стержней: неподвижного горизонтального, укрепленного на статоре, и

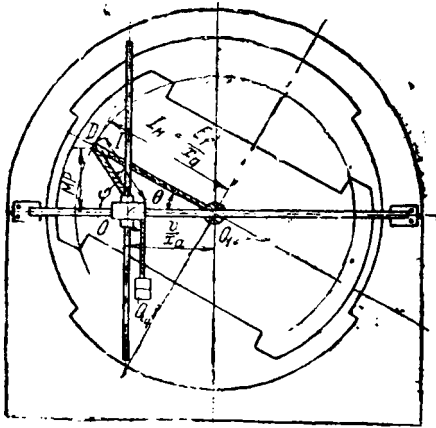


Рис. 3.

подвижного вертикального. Грузик Q_4 служит лишь для натяжения шнура. Его вес почти не сказывается на положении ротора.

Изменяя длину $\overline{O_1D}$ пропорционально возбуждению (одновременно меняя пропорционально Q_1 , определяющий M_{max}), а также путем передвижения вертикального стержня, изменяя OO_1 пропорционально приложенному напряжению (также имеющему прямую пропорциональность с грузом Q_1), можно продемонстрировать все характерные режимы синхронной машины от холостого хода до положения полюсов в разрез, как в генераторном ($\theta < 0$), так и моторном ($\theta > 0$) режиме, в положении опрокидывания и т. д.

Приспособление для подвижной векторной диаграммы размещается для наглядности на передней стороне модели.

О механической мощности холостого хода электропривода и продолжительности процесса его самоторможения

Кандидат техн. наук Л. В. ЛИТВАК

Москва

Механические потери энергии — потери на трение — составляют основную часть непроизводительного расхода электроэнергии в станочном оборудовании.

Эксплуатационный контроль указанных потерь объективно и наиболее просто может быть осуществлен с помощью предложенного автором и утвержденного НКЭС¹ метода самоторможения. Этот метод основан на использовании функциональной зависимости между механическими потерями, вызываемыми сопротивлением движению привода во всех

его звеньях (подшипники, передачи, направляющие и т. п. и так называемой продолжительностью самоторможения электропривода.

Как известно, уравнение движения привода для процесса самоторможения имеет вид (1):

$$M_r = -J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где M_r — тормозной момент, приведенный к валу двигателя; J — момент инерции системы, приведенный к валу двигателя; ω — угловая скорость вала двигателя.

При самоторможении мощность трения, являющаяся функцией скорости, изменяется от значения P_m , равного механической мощности холостого хода электропривода (в начале самоторможения), до нуля (в конце торможения).

Мгновенное значение мощности трения P_{ri} при мгновенном значении угловой скорости ω_i равно

$$P_{ri} = \frac{M_r \omega_i}{102} = -J \frac{\omega_i}{102} \cdot \frac{d\omega}{dt} = -\frac{GD^2_{\partial\partial} \sigma}{3,65 \cdot 10^5} n \frac{dn}{dt} \text{ kW}, \quad (2)$$

где $GD^2_{\partial\partial}$ — маховой момент ротора электродвигателя; σ — коэффициент, учитывающий наличие других инерционных масс (промежуточных передач, рабочей машины); n — число оборотов.

С другой стороны, мощность трения может быть представлена в функции числа оборотов

$$P_{ri} = \alpha n_i^{\beta_i},$$

где β_i — показатель, зависящий от ряда факторов (скорость электропривода, величина масляного зазора в гнездах трения, механическая мощность холостого хода P_m и др.).

Заменив изменяющийся при самоторможении показатель степени β_i в формуле (3) таким постоянным (для всего диапазона изменения скорости) значением β' , при котором живая сила системы электропривода (соответствующая конечной скорости разгона n_k) израсходуется при данном значении P_m за тот же промежуток времени t_c , получим

$$P_{ri} = \alpha n_i^{\beta'} = \alpha' n_i^{\beta'}. \quad (3)$$

После преобразования выражений (2) и (3) получим выражение для продолжительности самоторможения

$$t_c = -\frac{GD^2_{\partial\partial} \sigma \cdot n_k^{\beta'}}{3,65 \cdot 10^5 P_m} \int_{n_k}^0 n^{1-\beta'} dn = \frac{GD^2_{\partial\partial} \sigma \cdot n_k^2}{3,65 \cdot 10^5 P_m (2-\beta')} \text{ sec}. \quad (4)$$

Из основного уравнения процесса самоторможения (4) видно, что одного знания величины t_c оказывается недостаточно для определения P_m , если предварительно не будет выявлен характер изменения показателя β' . Опытами установлено, что характер изменения β' в функции от P_m (или t_c) неодинаков на разных участках, построенной для широких пределов изменения t_c , кривой $P_m = f(t_c)$. Существенное значение для выявления искомой зависимости имеет хотя бы приближенное знание величины t_c , соответствующей нормальному техническому состоянию звеньев трения и, следовательно, нормальному (для станков данного типа и конструкции) к. п. д.

С этой целью введем понятие „базисной“ механической мощности холостого хода электропривода $P_{мб}$ и „базисной“ продолжительности самоторможения $t_{сб}$.

Базисная мощность $P_{мб}$ может быть рассчитана на основании данных о так называемом базисном (типовом) к. п. д. станков η_b и коэффициентах a и b , характеризующих соответственно постоянные и нагрузочные потери в станках данной конструкции.

Мощность $P_{мб}$ определяется из выражения

$$P_{мб} = \frac{a}{a+b} \left[P_{ном} (1 - \eta_b) \right] + P_{мд}, \quad (5)$$

где a и b — коэффициенты (например, для токарных станков $a \approx 0,6$, $b \approx 0,4$); $P_{ном}$ — номинальная мощность станка; $P_{мд}$ — механические потери мощности в электродвигателе.

Базисная продолжительность самоторможения $t_{сб}$ на основании (4) может быть представлена

$$t_{сб} = \frac{GD^2_{\partial\partial} \sigma n_k^2}{3,65 \cdot 10^5 P_{мб} (2-\beta'_b)}, \quad (6)$$

¹ Инструкция по установлению допустимых потерь электроэнергии в станочном оборудовании и нормированию продолжительности самоторможения. Госэнергоиздат, 1943.

где β'_6 — эквивалентное значение степенного показателя, соответствующего мощности $P_{мб}$.

Из сравнения (4) и (6) имеем

$$\frac{P_{мб} t_{сб}}{P_m t_t} = \frac{2 - \beta'}{2 - \beta'_6} \quad (7)$$

Изучение экспериментальных данных показало, что на одних и тех же станках при увеличении продолжительности самоторможений до значений $\frac{t_c}{t_{сб}} = 2,70 + 3,25$ уменьшение мощности холостого хода практически достигает своего предела и равно соответственно $\frac{P_m}{P_{мб}} = 0,6 \div 0,52$. При таких

предельных значениях $\left(\frac{P_m}{P_{мб}}\right)$ показатель степени также практически достигает своего максимума, который соответственно равен ($\beta'_{\max} = 1,90 \div 1,95$).

Следует отметить, что этот вывод полностью согласуется с теоретическим [уравнение (4)], так как при $\beta'_{\max} = 2$ продолжительность самоторможения $t_c = \infty$, что практически невозможно.

С другой стороны, при значениях t_c , меньших $t_{сб}$, установлена почти линейная зависимость $\left(\frac{P_{мб}}{P_m}\right)$ от $\left(\frac{t_c}{t_{сб}}\right)$.

При $t_c < t_{сб}$ показатель β' практически равен β'_6 , а отношение $\frac{P_{мб} t_{сб}}{P_m t_c} \approx 1$.

Если подставить в выражение (7) указанные выше предельные значения отношений $\frac{P_{мб}}{P_m}$ и $\frac{t_c}{t_{сб}}$ и адекватные им значения β'_{\max} , то пределы колебания β'_6 выразятся:

$$\beta'_6 = 2 - (2 - \beta'_{\max}) \cdot \left(\frac{P_m}{P_{мб}}\right) \cdot \left(\frac{t_c}{t_{сб}}\right) = 2 \left[2 - (1,90 \div 1,95) \right] \times \\ \times (0,6 \div 0,52) \cdot (2,70 \div 3,25) = 1,84 \div 1,91.$$

Для электроприводов с превалирующим влиянием момента инерции ротора электродвигателя (например, электропривод большинства металлорежущих станков) базисный показатель β'_6 может быть принят, как показали экспериментальные кривые самоторможения, полученные автором, в зависимости от так называемого удельного инерционного критерия* $\left(\frac{GD^2_{дв}}{P_{ном}}\right) \left(\frac{n_k}{1000}\right)^2$ согласно таблице:

β'_6	$\left(\frac{GD^2_{дв}}{P_{ном}}\right) \left(\frac{n_k}{1000}\right)^2$	β'_6	$\left(\frac{GD^2_{дв}}{P_{ном}}\right) \left(\frac{n_k}{1000}\right)^2$
1,91	0,11	1,87	0,07
1,90	0,10	1,86	0,06
1,89	0,09	1,85	0,05
1,88	0,08	1,84	0,04

Таким образом, пользуясь уравнением (4), можно на основании изложенного выше определить P_m для всех значений $t_c < t_{сб}$, если показатель β' заменить показателем β'_6 , определенным по таблице. Если же рассматривать зависимость $\left(\frac{P_{мб}}{P_m}\right)$ от $\left(\frac{t_c}{t_{сб}}\right)$ при изменении t_c (на одних и тех же станках) в широких пределах (от $t_c = 0,3 t_{сб}$ до $t_c = (2,75 \div 3,25) t_{сб}$, то эта зависимость, как показали экспериментальные данные, с достаточным приближением подчиняется уравнению параболы вида

$$\frac{P_{мб}}{P_m} = q - l \left(m - \frac{t_c}{t_{сб}}\right)^2 \quad (8)$$

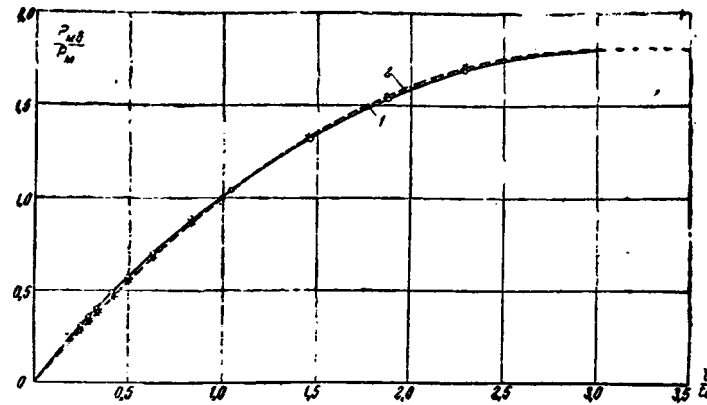
Коэффициенты q , l и m легко находятся на основании вышеизложенного, если принять максимум отношения

$$\left(\frac{P_{мб}}{P_m}\right) \approx 1,8, \text{ что в среднем соответствует отношению } \left(\frac{t_c}{t_{сб}}\right) = 3.$$

Тогда после соответствующих числовых подстановок выражение (8) примет вид:

$$P_m = \frac{P_{мб}}{1,8 - 0,2 \left(3 - \frac{t_c}{t_{сб}}\right)^2} \quad (9)$$

Для иллюстрации точности результатов, вычисляемых по формуле (9), на рисунке приводятся кривые, полученные



1 — по экспериментальным данным; 2 — по аналитическим расчетам согласно формуле (9), при $t_{сб} = 24$ сек. и $P_{мб} = 3,3$ kW.

автором при испытании группы станков типа 2 СМ (электродвигатели типа МА-204-1/6, 25,5 kW).

Расчет сложных сетей переменного тока с использованием модели постоянного тока

Инж. С. А. СОВАЛОВ

Мосэнерго

Аналитические расчеты сложных сетей переменного тока отличаются большой трудоемкостью; применение же для подобных расчетов моделей переменного тока доступно лишь в редких случаях. Этим обстоятельством объясняется появление ряда работ (Л. 1, 2), имевших целью разработку методов использования широко распространенных (и применяемых обычно для расчетов токов короткого замыкания) моделей постоянного тока для расчета сложных сетей переменного тока.

Однако предложенные методы в силу сравнительно большой трудоемкости, обилия вспомогательных вычислений и трудности создания эквивалентных схем не нашли достаточного применения на практике. Ниже предлагается сравнительно простой и применимый во многих случаях метод расчета, основанный на сведениях задачи расчета сети переменного тока к расчету сети постоянного тока, причем точное решение находится посредством последовательного приближения.

Общие принципы расчета. Как известно, токораспределение в сети переменного тока определяется законами: $\sum \vec{I} = 0$ для каждой узловой точки и $\sum \vec{I} \vec{Z} = 0$ для каждого замкнутого контура сети (без э. д. с.). При расчете сложных систем обычно оперируют не токами, а мощностями. При этом определяя потокораспределение без учета потерь или учитывая потери ориентировочно, разнося их по концам элементов сети и вводя тем самым средние мощности элементов (Л. 3), имеем:

$$\text{для узловой точки } \Sigma (P + jQ) = 0,$$

$$\text{для контура } \Sigma (P + jQ) \vec{Z} = 0. \quad (1)$$

В частном случае при одинаковых углах полного сопротивления всех элементов, как известно, задача решается аналогично расчетам сети постоянного тока. Сведение задачи расчета сети переменного тока к задаче расчета сети посто-

данного тока может быть осуществлено предварительным допущением равенства углов полных сопротивлений элементов рассматриваемой сети, с последующим внесением поправки.

Нетрудно показать, что вместо полного сопротивления элемента сети \bar{Z} можно ввести \bar{Z}' , не изменив токораспределения в остальных участках сети, если приложить к концам элемента уравнительную нагрузку, как показано на схеме *a* рисунка. Для сохранения неизменного падения напряжения в элементе уравнительная нагрузка должна удовлетворять условию

$$\begin{aligned} I_0' &= -mI' - nI'', \\ I_0'' &= nI' - mI'', \end{aligned} \quad (2a)$$

где $\bar{I} = I' - jI''$, $\bar{I}_0 = I_0' - jI_0''$.

Коэффициенты m и n зависят от соотношения \bar{Z}' и \bar{Z} :

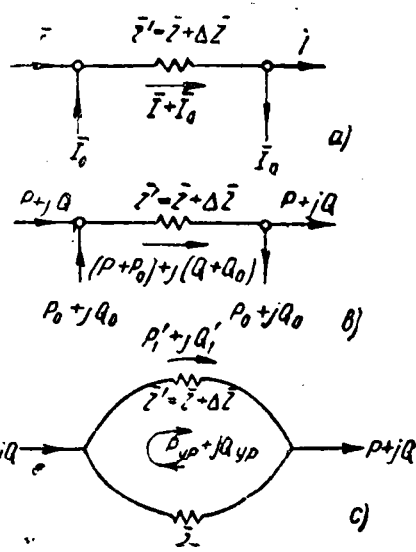
$$\begin{aligned} \bar{Z}'^2 &= r + jx; \bar{Z}^2 = r' + jx' = (r + \Delta r) + j(x + \Delta x), \\ m &= \frac{\Delta rr' + \Delta xx'}{\bar{Z}'^2}; \quad n = \frac{\Delta x r' - \Delta r x'}{\bar{Z}'^2}. \end{aligned} \quad (3a)$$

Совершенно аналогично для схемы *b* рис. 1

$$P_0 = -mP - nQ; \quad Q_0 = nP - mQ. \quad (2a)$$

Введя $\alpha = \frac{x}{r}$ и $\alpha' = \frac{x'}{r'}$ и обратные отношения $\beta = \frac{1}{\alpha}$ и $\beta' = \frac{1}{\alpha'}$, имеем

$$\begin{aligned} m &= 1 - \frac{r}{r'} \frac{1 + \alpha\alpha'}{1 + \alpha'^2} = 1 - \frac{x}{x'} \frac{1 + \beta\beta'}{1 + \beta'^2}, \\ n &= \frac{r}{r'} \frac{\alpha' - \alpha}{1 + \alpha'^2} = \frac{x}{x'} \frac{\beta - \beta'}{1 + \beta'^2}. \end{aligned} \quad (3a)$$



Сеть переменного тока с известным токораспределением можно представить таким образом на модели постоянного тока в виде двух отдельных схем распределения активных и реактивных мощностей (или токов) с введенными уравнительными нагрузками.

Самые расчетные приемы и ход расчета могут варьироваться: в качестве примера укажем на следующий общий ход расчета. Приняв за основу имеющиеся у большинства элементов $\alpha = \frac{x}{r}$, приводим к тому же соотношению кон-

станты прочих элементов, вводя вместо действительных \bar{Z} фиктивные \bar{Z}' . Определяем отдельно распределение активных и реактивных мощностей по схеме с r' , x' или другими пропорциональными величинами (например, длинами линий). Подсчитываем уравнительные мощности P_0 , Q_0 по полученным из первого расчета значениям P' , Q' в элементах, полное сопротивление которых изменено. Введение P_0 , Q_0 приводит к некоторому изменению мощностей в этих элементах. В соответствии с изменением токораспределения изменяем и уравнительную нагрузку, пока поправка не станет несущественной для всех элементов.

Когда необходимое соотношение P_0 , Q_0 и P , Q установлено, замеряется окончательное токораспределение составляющие уравнительные мощностей в элементах с введенными \bar{Z}' не должны при этом учитываться).

Предлагаемый способ тем более удобен и эффективен чем большее количество однородных элементов с одинаковым α содержит сеть. В отдельных случаях замена схем полных сопротивлений схемой постоянного тока настолько упрощает задачу, что применение рассматриваемого метода становится эффективным и при аналитическом расчете.

Приведение схемы переменного тока к схеме постоянного тока может быть использовано и для замера полного сопротивления на модели постоянного тока. Поместив точку, полное сопротивление до которой должно быть разделено, единичную нагрузку и исправив токораспределение введением уравнительных нагрузок, имеем

$$\bar{Z} = \sum r' (I' - \alpha I'') + j \sum r' (\alpha I' - I''),$$

где сумма берется от точки питания до нагрузки по любому пути, r' — сопротивление, а I' и I'' — токи в элементах включенных уравнительных нагрузках.

Сходимость ряда последовательных приближений. Практическая применимость предлагаемого метода связан с вопросом о сходимости ряда последовательных приближений. Для того чтобы решение могло быть быстро получено, последовательные значения поправок должны быстро уменьшаться.

Если не рассматривать взаимного влияния поправок различных элементов, то вопрос об условиях сходимости может быть рассмотрен на примере схемы рис. *c*. На этой схеме элемент, полное сопротивление которого \bar{Z} заменяется на \bar{Z}' , шунтируется приведенным полным сопротивлением всей остальной сети \bar{Z}_0 . Внося последовательно поправки мы должны получить окончательное значение мощности, которое может быть выражено через первоначальное следующим образом:

$$\begin{aligned} P_1 &= p P_1' + q Q_1', \\ Q_1 &= -q P_1' + p Q_1', \end{aligned}$$

где p и q представляют собой ряды, каждый из членов которого отвечает очередному приближению

$$\begin{aligned} p &= 1 + (m') + (m'^2 - n'^2) + (m'^3 - 3m'n'^2) + (m'^4 - 6m'^2n'^2 + n'^4) + \dots \\ q &= 0 + (n') + (2m'n') + (3m'^2n' - n'^3) + (4m'^3n' - 4m'n'^3) + \dots \end{aligned}$$

Здесь $m' = km$ и $n' = kn$, а коэффициент распределения

$$k = \frac{r_1}{r_1 + r_0} = \frac{x_1}{x_1 + x_0}.$$

Для отыскания величин p и q представим эти ряды в виде суммы бесконечно большого числа более простых рядов $p = (1 + m' + m'^2 + m'^3) - n'^2(1 + 3m' + 6m'^2 + \dots) + \dots$. Мы имеем здесь бесконечную сумму членов, каждый из которых представляет произведение четной степени n' на ряд вида

$$\left(\sum_{t=0}^{t=\infty} m'^t \right)^\eta, \quad \text{где } t \text{ и } \eta \text{ — целые числа.}$$

Сумма рассматриваемого двойного ряда при $|m'| < 1$ и $|n'| < 1$ дает конечное значение

$$p = \frac{1 - m'}{(1 - m')^2 + n'^2}.$$

Аналогично

$$q = \frac{n'}{(1 - m')^2 + n'^2}.$$

Условия сходимости определяются величинами m' , n' и α (что более удобно для рассмотрения вопроса сходимости величиной m' и величиной α , где определяющая условия сходимости величина α :

$$\alpha = \frac{n'^2}{(1 - m')^2} = \frac{(\alpha' - \alpha)^2}{\left[\frac{r_0}{r} (1 + \alpha'^2) + 1 + \alpha\alpha' \right]^2}.$$

Условия сходимости рядов p и q при учете действительных последовательности суммирования их членов укажем только

для двух наиболее простых случаев:

а) при $|m'| = |n'|$ условие сходимости $|m'| = |n'| < \frac{1}{\sqrt{2}}$,

б) при $m' = 0$ сходимость обеспечивается при $|n'| < 1$.

Величина σ зависит от соотношения a' и a и от соотношения сопротивления элемента r и сопротивления шунта r_0 . Чем больше сопротивление шунта, тем меньше σ и тем быстрее сходятся ряды p и q .

Для заданного элемента в сети (т. е. при заданном σ) надлежащим выбором приведенного сопротивления r' (а следовательно, и коэффициента m) можно улучшить сходимость ряда последовательных приближений. При $1 < \sigma < 5,83$ сходимость (хотя и медленная) может быть получена при удобном для расчета выборе $m' = n'$, ($m = n$). При малых σ можно применять как $m' = 0$, ($m = 0$), так и $m' = n'$. При $\sigma > 0,17$ быстрее убывают коэффициенты ряда p и q при $m' = n'$; при $\sigma < 0,17$ с этой точки зрения выгоднее случай $m' = 0$. Заметим, что выбор фиктивных сопротивлений из условия $m' = 0$ удобен тем, что при этом P_0 зависит только от распределения реактивных мощностей, а Q_0 только от распределения активных мощностей, что упрощает расчет.

При этом коэффициент $n' = \sqrt{\sigma}$ и ряды p и q принимают вид

$$p = 1 + 0 - \sigma + 0 + \sigma^2,$$

$$q = 0 + \sqrt{\sigma} - 0 - \sigma \sqrt{\sigma}.$$
(8)

При малых значениях σ обеспечивается весьма быстрая сходимость и во многих случаях окажется достаточно одной поправки для получения приемлемых по точности результатов расчета.

Предлагаемый метод расчета детально проверен в одной из энергосистем и внедрен в практику работы по расчетам потоков распределения в сложных, многоконтурных сетях системы. Как показала практика, существующие модели постоянного тока пригодны для расчета сетей переменного тока. Естественно, однако, поставить вопрос о создании специальных моделей постоянного тока, более приспособленных конструктивно и по составу элементов к задачам расчета сетей переменного тока.

Литература

1. Н а н. G E R, 1931.
2. М а т е н а. Elektr. Obzor, 1938; E l u s. El. Eng., 1942.
3. Ю. Н. Б а с к а к о в и С. Д. С о л о в ъ е в. Электричество № 3, 1932.

О регистрации частичных пробоев изоляции в силовых кабелях высокого напряжения

Инж. И. Е. БАЛЫГИН и инж. Р. Я. МИНЬКОВ

Ленэнерго

Профилактические испытания силовых кабелей высокого напряжения производятся, как известно, выпрямленным напряжением. При этом главным образом выявляются только дефекты, связанные с негерметичностью свинцовой оболочки и грубыми повреждениями изоляции. Частичные же разрушения последней в процессе эксплуатации остаются не выявленными. Проведение систематических измерений диэлектрических потерь в эксплуатационных установках весьма затруднительно, и поскольку при этом измеряется среднее значение коэффициента диэлектрических потерь и ионизации всей изоляции кабеля, то могут остаться незамеченными местные единичные дефекты в изоляции, которые могут повести впоследствии к авариям.

В лаборатории кабельной сети Ленэнерго были поставлены опыты, направленные на изыскание дополнительных профилактических мероприятий, которые позволили бы получить представление о состоянии изоляции эксплуатируемых кабелей.

Работы производились с индикатором частичных разрядов, принципиальная схема которого показана на рис. 1. От испытуемого образца кабеля прибор отделялся емкостью C_0 . При частичных разрядах в изоляции кабеля в контуре LC возникали собственные затухающие колебания с частотой, определяемой его параметрами, и после усиления подавались через купроксный выпрямитель K на гальванометр G . При этом параметры контура подобраны таким образом, что он не регистрировал изменения испытательного напряжения 50 Hz,

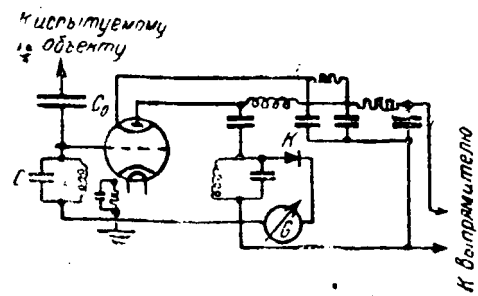


Рис. 1.

Более подробные данные об индикаторе частичных разрядов содержатся в статье К. С. Архангельского и А. Н. Власова (Л. 1). По отклонению стрелки гальванометра можно было в относительных единицах делений шкалы судить о частичных разрядах в изоляции испытуемого образца.

Предварительные опыты были произведены с 6 и 10 kV трехфазными силовыми кабелями. На концах отрезков длиной 5 м были смонтированы концевые воронки и залиты массой Е-60. На концах жил для устранения коронирования были укреплены металлические шары $d = 100$ мм. Начало коронирования, характерное отклонением стрелки гальванометра индикатора, наблюдалось только при 60 kV. На испытуемый кабель напряжение подавалось плавно с интервалами в 3 мин на каждой ступени. При подаче напряжения на одну фазу две другие при этом не заземлялись. Заметное отклонение стрелки гальванометра начиналось только при 12,5 kV, после чего показания сильно возрастали. Таким образом запись показаний разрядов позволяет определить состояние изоляции фаз кабеля.

Чтобы установить связь показаний индикатора с диэлектрическими потерями $\text{tg } \delta$, были произведены опыты с отрезками трехфазных кабелей длиной тоже 5 м на 10 и 6 kV. На концах этих кусков кабелей были смонтированы прессшпановые концевые воронки. Кабель 10 kV на середине имел свинцовую соединительную муфту. Отрезок 6-kV кабеля долгое время находился с открытыми концами.

На рис. 2 приведены кривые показания индикатора; $\alpha = f(U)$ представлены кривыми 1 и 2 и $\text{tg } \delta(U)$ даны на кривых 3 и 4. Кривые 1 и 3 относятся к 6-kV, а 2 и 4 к 10-kV кабелю. Кривые даны только для одной фазы каждого образца. Из этих кривых видно, что показания индикатора не совпадают по характеру протекания кривых с значениями $\text{tg } \delta$, измеренными на мосте Шеринга. В куске 6-kV кабеля потери с увеличением напряжения возрастали значительно быстрее, чем в кабеле на 10 kV, но частичные разряды в последнем фиксировались при меньших напряжениях и увеличение показаний гальванометра происходило быстрее. Это обстоятельство можно объяснить наличием единичных очагов частичного повреждения изоляции 10-kV куска кабеля, благодаря чему разряды в нем наступали при меньшем напряжении.

Далее производились опыты с отрезками 35-kV кабеля. На одной из подстанций Ленинграда у питающего фидера были срезаны вертикальные концы длиной 5 м, как внушавшие подозрение по состоянию изоляции. Фарфоровые концевые муфты при этом демонтированы не были. В лаборатории отдельно к каждой фазе были подмонтированы по одной прессшпановой концевой воронке с массой Е-60 и в таком виде с этими отдельными фазами кабеля производились испытания. Для подачи на фазы нагрузочного тока оба конца кабеля были соединены между собой. Образованный таким

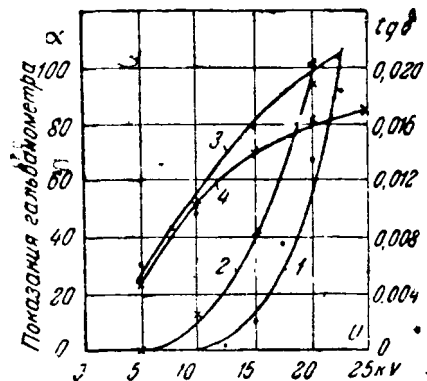


Рис. 2.

путем замкнутый контур пропускаться через ярмо нагрузочного трансформатора и служил его вторичным витком. Так ямерялся клещами Дитца. В эксплуатационной практике Кабельной сети Ленэнерго были случаи, когда удавалось предупредить аварии фиксированием частичных ветвистых пробоев изоляции на вертикальных участках 35-kV кабелей путем записи температуры при помощи термопар, размещенных на этих участках в некотором отдалении одна от другой. Критерием в этом случае был повышенный местный нагрев свинцовой оболочки кабеля, который, как хорошо известно из литературы, связан или с ростом частичных разрядов ветвистого характера или с местным ухудшением изоляции от тепловой неустойчивости кабелей. Мы ставили задачей в опытах найти соответствие показаний индикатора с наличием аномальных нагревов свинцовой оболочки. Для этой цели на опытном образце кабеля размещались термопары, показания которых фиксировались гальванометром.

Напряжение подавалось на кабель постепенно и на каждой ступени держалось 5—6 мин.

Показания индикатора начинались только при напряжении 25 kV, т. е. при эксплуатационном напряжении относительно земли 21 kV, причем индикатор не отмечал наличия частичных разрядов. Для того чтобы произвести ускоренное старение изоляции, на опытный образец кабеля подавалось напряжение 50 kV, при нагрузочном токе 360 А. Показания температуры отмечались систематически по термопарам. По истечении 7 h термопара, расположенная около фарфоровой концевой муфты, отметила температуру свинцовой оболочки кабеля 55°С, в то время как температура у другого конца кабеля была всего 34°С. При таком перепаде температур были произведены измерения на индикаторе и мосте Шеринга. Анализ снятых кривых, показал, что кривая для $tg\delta$ круто поднимается с увеличением напряжения; индикатор начинал отмечать частичные разряды уже при 15 kV. Последующий разбор куска кабеля, вырезанного на месте, где наблюдался повышенный нагрев, показал, что в кабеле уже начинался частичный пробой изоляции, сначала от жилы в виде узкого едва заметного канала, перешедшего потом в ветвистый разряд. На бумажных лентах, как примыкавших непосредственно к жиле, так и в последующих 8—10 слоях отмечено значительное воскообразование в местах зазоров и промежутков между проводами жилы. На лентах, более удаленных от жилы, отмечено кустообразное отложение воска.

Из полученных данных можно сделать заключение, что индикатор в эксплуатационных условиях может сигнализировать о резких ухудшениях диэлектрических свойств изоляции кабелей, связанных с ее частичными пробоями. Определенные повышенные местные нагревы свинцовой оболочки может производиться также с помощью термопар, но только на вертикальных участках кабеля, доступных для установки термопар. На горизонтальных участках, при прокладке кабеля в земле и при наличии защитных наружных покрытий, термопары размещены практически быть не могут, и прогрессирующий процесс частичного пробоя изоляции в таких местах можно зафиксировать только при помощи индикатора частичных разрядов.

При опытах с индикатором было замечено также, что показания его увеличиваются после того, как кабель находился под повышенным напряжением в течение коротких промежутков времени. После же отключения кабеля на период 15—20 h такое увеличение уже не отмечалось.

В заключение авторы отмечают ценную помощь, оказанную начальником лаборатории ЛКС С. А. Алексеевым при проведении данной работы.

Литература

1. К. С. Архангельский и А. Н. Власов. Электричество, стр. 48—51, № 1, 1939.

Приспособления для регулировки быстродействующих автоматических выключателей постоянного тока

Кандидат физико-матем. наук, доц. Л. А. СЕНА

Ленинградский политехнический институт им. Калнина

Для защиты линий постоянного тока от перегрузок и от токов короткого замыкания применяются быстродействующие автоматические выключатели различных типов. Из выключателей советских конструкций наибольшее распространение получили выключатели БАД и более совершенные — ВАБ.

Обычно для регулировки этих выключателей, т. е. для определения зависимости между отключаемым током, с одной стороны, и воздушным зазором магнитной цепи или током держащей катушки, с другой, применяют метод нагрузки и водяной реостат.

Такой метод регулировки обладает рядом недостатков, наиболее существенными из которых являются: большой расход энергии на регулировку; громоздкость оборудования (водяной реостат, кабели, массивные рубильники и шунты) и трудность его перевозки; трудоемкость работы по сборке регулировочной схемы и тяжелые условия работы зимой, так как реостат находится обычно под открытым небом; необходимость надежного ограждения собранной схемы высокого напряжения. На трамвайных подстанциях при напряжении 500 V полная регулировка каждого выключателя требует нескольких десятков киловатт-часов.

Таким образом внеплановая регулировка каждого выключателя после его смены или ремонта становится сложным мероприятием.

Автором было предложено использовать общезвестный метод получения нужного числа ампервитков при малой силе тока за счет значительного увеличения числа витков. Этот метод, применяемый для регулировки максимальных выключателей типа БАД, ВАБ и др., наталкивается на значительные трудности, так как конфигурация выключателей не позволяет надеть на их магнитную цепь нужную катушку. Поэтому для этих выключателей были сконструированы специальные приспособления.

При напряжении источника, питающего регулировочное приспособление — U (обычно аккумуляторная батарея напряжением 110 V), средней длине витка — l (определяемой габаритами выключателя), и необходимым числом ампервитков AW , минимальное сечение σ обмоточного провода удельным сопротивлением ρ определяется по формуле

$$q = \frac{AW \cdot \rho \cdot l}{U} \quad (1)$$

Так как пространство, в котором можно расположить витки на сердечнике выключателя, весьма ограничено, то для уменьшения потребляемой силы тока следует брать проводку сечением, не превышающим значения q , определяемого по формуле (1).

Полная мощность, выделяемая в регулировочном приспособлении,

$$P = \frac{AW^2 \cdot l}{n \cdot q} \quad (2)$$

Стоящее в знаменателе произведение $n \cdot q$ несколько меньше (из-за промежутков между проводниками) сечения обмоточного пространства.

Для того чтобы проводники чрезмерно не перегревались, необходимо стремиться уменьшать расходную мощность P , а следовательно, как это вытекает из формулы (2), надо возможно полнее использовать имеющийся в выключателе свободный просвет между сердечниками. Тем не менее, даже при самой плотной укладке витков выделяется значительное количество тепла, вследствие чего рекомендуется каждое измерение проводить возможно быстрее. Исходя из этих соображений, и были рассчитаны приспособления для регулировки БАД и ВАБ.

Сравнительно просто конструктивно решилась задача для БАД, для регулировки которых были изготовлены плоские прямоугольные катушки галетного типа, надеваемые на сердечник катушки главного тока, через зазор, образуемый между этими сердечниками и якорем. Катушки были изготовлены двух размеров (рис. 1); меньшие надевались непосредственно на сердечник, а большие — поверх первых. Всего на сердечнике размещалось восемь катушек. Каждая катушка содержала 80 витков эмалированной проволоки диаметром 0,8 мм.

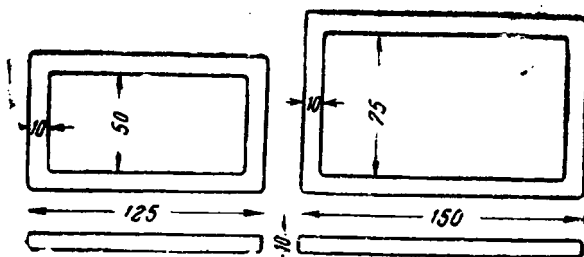


Рис. 1.

Сложнее обстояло дело с автоматами ВАБ; их практически замкнутая система не давала возможности надеть катушку на сердечник. Для регулировки автоматов ВАБ было выполнено специальное приспособление — «регулирующий пояс», который представляет собой отрезок многожильного кабеля длиной около 2,5 м (автором был использован кварцевый телефонный кабель, содержащий 42 изолированных проводника). Концы проводников кабеля присоединены к контактам по схеме рис. 2. Очевидно, что, если левые контакты соединить с соответствующими правыми, то все проводники кабеля окажутся соединенными последовательно.

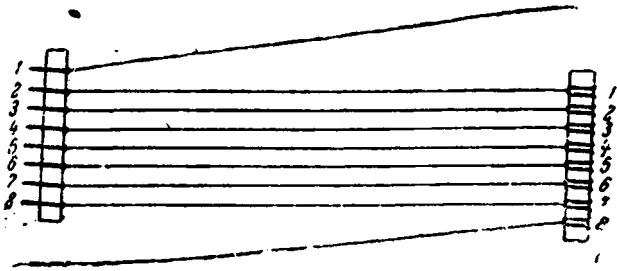


Рис. 2.

Если «пояс», содержащий n_1 проводников, n_2 раз обмотать вокруг сердечника, то мы получим катушку с числом витков $n = n_1 \cdot n_2$. В изготовленном нами поясе контактные с одного конца служили штырьки цоколей от металлических радиоламп, а с другого гнезда панелек. Так как сечение проводников кабеля меньше требуемого формулой (1), к каждому контакту было подведено по два проводника.

Рассмотренные регулировочные приспособления были предложены автором Ленинградскому отделению научно-технического инженерного общества городского электротранспорта (ЛОНИТО ГЭТ) и по инициативе последнего были изготовлены и испытаны на тяговых подстанциях Ленинградского трамвая. Испытания оказались вполне успешными, и в настоящее время названные приспособления приняты энергослужбой Ленинградского трамвая для систематической плановой регулировки автоматов БАД и ВАБ. Применение этих приспособлений дало значительную экономию электроэнергии, облегчило и ускорило регулировку выключателей и разгрузило автотранспорт.

Выбор длины анкерного участка по условиям компенсации натяжения контактного провода

Кандидат техн. наук Г. Г. МАРКВАРДТ

Московский энергетический институт им. Молотова

Для устройства компенсации натяжения вся контактная сеть электрической железной дороги разбивается на ряд механически изолированных, так называемых анкерных участков, в каждом из которых компенсация производится самостоятельно.

Такое разделение сети делается, с одной стороны, для увеличения надежности ее работы, а с другой, определяется необходимостью иметь по своей длине провода более-менее одинаковое натяжение. При большой длине участка компенсации постоянно величины натяжения может не сохраняться вследствие реакции струн или подвесов при их перекосе, вызванном передвижкой провода. В некоторых случаях для увеличения длины анкерного участка устанавливаются скользящие струны в тех местах, где они могли бы иметь неподустимый перекос.

Таким образом длина анкерного участка (кроме ограничения ее условиями надежности) определяется при принятой величине допускаемой разницы тяжения по длине провода, длиной струн и количеством скользящих струн. Выяснению последней зависимости и будут посвящены приводимые ниже выкладки.

Для упрощения дальнейших выводов будет принято, как это обычно делается при расчетах цепной подвески контактной сети, что провод подвешен равномерно по всей своей длине при бесконечно большом количестве струн или подвесов. Все расчеты сводятся к случаю равных длин струн или подвесов (что справедливо для простой подвески, и, конечно, неверно для случая цепной подвески). Такое допущение, вызванное

математическими трудностями учета изменения длин струн по длине пролета, не отразится существенно на результатах расчета при цепной подвеске, если вести расчеты по средней длине струны.

Рассматривая участок провода dx (рис. 1), можно написать, что приращение натяжения провода на этом участке равно:

$$dH_x = q dx \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

откуда

$$\frac{dH_x}{dx} = q \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где x — расстояние рассматриваемой точки провода от неподвижной анкерной; H_x — натяжение провода в той же точке; q — вес единицы длины провода; φ — угол, образованный направлением струны с осью ординат.

С другой стороны, элементарное перемещение струны равно:

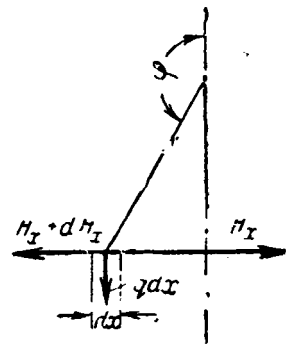


Рис. 1.

$$dy = \frac{H_x - H_0}{ES} dx,$$

откуда

$$\frac{d^2 H_x}{dx^2} = ES \frac{d^2 y}{dx^2}, \quad (2)$$

но

$$y = \lambda \sin \varphi; \quad \frac{dy}{dx} = \lambda \frac{d(\sin \varphi)}{dx} \quad (3)$$

и

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \lambda \frac{d^2(\sin \varphi)}{dx^2}. \quad (4)$$

Здесь H_0 — натяжение провода при расположении струн по вертикали; E и S — соответственно модуль упругости и площадь поперечного сечения провода; λ — длина струны.

Из уравнений (1), (2), (3) получим:

$$\frac{d^2(\sin \varphi)}{dx^2} = -A^2 \operatorname{tg} \varphi, \quad \text{где } A^2 = \frac{q}{\lambda ES},$$

что дает

$$\frac{d(\sin \varphi)}{dx} = A \sqrt{2(c_1 + \cos \varphi)}, \quad (5)$$

так как при

$$x = 0 - \varphi = \pi \quad \text{и} \quad \frac{dy}{dx} = \frac{H_1 - H_0}{ES},$$

где H_1 — натяжение провода в месте неподвижной анкерной после компенсации, а

$$\frac{d(\sin \varphi)}{dx} = \frac{1}{\lambda} \frac{dy}{dx} \frac{H_1 - H_0}{\lambda ES}, \quad (6)$$

то

$$c_1 = \frac{(H_1 - H_0)^2 + 2\lambda q ES}{2\lambda q ES}. \quad (7)$$

Тогда

$$\frac{\cos \varphi}{\sqrt{2(c_1 + \cos \varphi)}} d\varphi = A dx;$$

заменяя $\cos \varphi$ через $1 - \sin^2 \frac{\varphi}{2}$ и принимая во внимание, что

$$A = \sqrt{\frac{q}{\lambda ES}}, \quad \text{после преобразований получим}$$

$$\frac{1 - 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\sqrt{1 - \frac{4\lambda q ES}{(H_1 - H_0)^2 + 4\lambda p ES} \sin^2 \frac{\varphi}{2}}} d \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{(H_1 - H_0)^2 + 4\lambda q ES}{2\lambda ES}} dx. \quad (8)$$

Введя обозначение

$$\frac{4\lambda q ES}{(H_1 - H_0)^2 + 4\lambda q ES} = k^2, \quad (9)$$

после преобразования будем иметь

$$2\sqrt{1-k^2\sin^2\frac{\varphi}{2}} \frac{d\frac{\varphi}{2}}{2} - (2-k^2) \sqrt{1-k^2\sin^2\frac{\varphi}{2}} \frac{d\frac{\varphi}{2}}{2} = \frac{d\frac{\varphi}{2}}{2qdx} = \frac{1}{\sqrt{(H_1-H_0)^2+4\lambda qES}}$$

Первый член правой части при интегрировании дает эллиптический интеграл второго рода

$$\int_0^{\varphi/2} \sqrt{1-k^2\sin^2\frac{\varphi}{2}} \frac{d\varphi}{2} = E\left(k, \frac{\varphi}{2}\right)$$

и второй член, интеграл первого рода

$$\int_0^{\frac{\varphi}{2}} \frac{d\frac{\varphi}{2}}{\sqrt{1-k^2\sin^2\frac{\varphi}{2}}} = F\left(k, \frac{\varphi}{2}\right)$$

Таким образом будем иметь

$$2E\left(k, \frac{\varphi}{2}\right) - (2-k^2)F\left(k, \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{2qx}{\sqrt{(H_1-H_0)^2+4\lambda qES}} + c$$

при $x=0 - \frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{2}$, откуда

$$x = \frac{\sqrt{(H_1-H_0)^2+4\lambda qES}}{2q} \left[Z\left(k, \frac{\varphi}{2}\right) - Z(k) \right],$$

где

$$Z(k) = 2E\left(k, \frac{\pi}{2}\right) - (2-k^2)F\left(k, \frac{\pi}{2}\right)$$

и

$$Z\left(k, \frac{\varphi}{2}\right) = 2E\left(k, \frac{\varphi}{2}\right) - (2-k^2)F\left(k, \frac{\varphi}{2}\right)$$

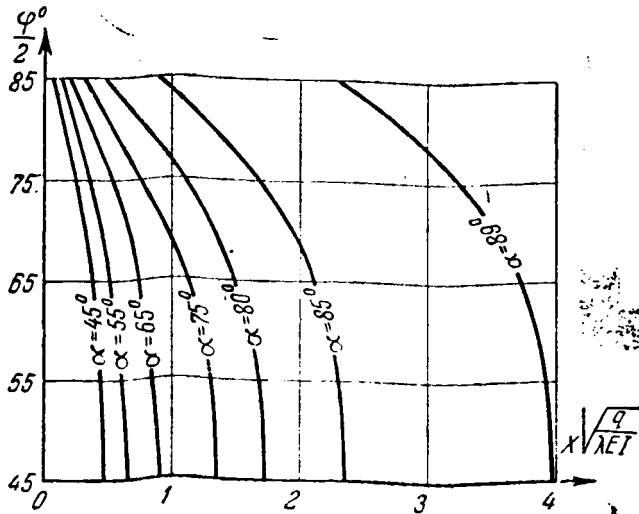


Рис. 2.

отсюда

$$x\sqrt{\frac{q}{\lambda ES}} = \frac{1}{k} \left[Z\left(k, \frac{\varphi}{2}\right) - Z(k) \right]. \quad (11)$$

На рис. 2 дана зависимость $x\sqrt{\frac{q}{\lambda ES}} = f\left(\frac{\varphi}{2}\right)$ для различных значений $\alpha = \arcsin k$. Как будет видно ниже, кривые этого рисунка дадут возможность упростить все подсчеты по определению длины анкерного участка.

Для определения натяжения провода в любой точке можно воспользоваться выражениями (1), (3) и (5), из которых может быть найдено

$$\frac{H_x - H_0}{\lambda ES} = A\sqrt{2(c_1 + \cos\varphi)}$$

или

$$H_x - H_0 = \sqrt{(H_1 - H_0)^2 + 2(1 + \cos\varphi)\lambda qES}.$$

Возведя обе части равенства (3) в квадрат и обозначив

$$\frac{H_1}{H_x} = \gamma \text{ и } \frac{H_x}{H_0} = \beta, \quad (12)$$

получим

$$\cos\varphi = \frac{(1-\gamma)(\beta + \beta\gamma - 2)\rho}{2\lambda qES} H_0^2 - 1. \quad (12)$$

Величину натяжения провода H_0 при вертикальном расположении струн рационально брать близкой к средней арифметической между максимальным и минимальным значениями натяжения провода. В этом случае можно допустить при прочих равных условиях наибольшую длину анкерного участка.

Приведенные формулы дают возможность определить длину анкерного участка или место установки скользящих струн (x) при заданных: натяжениях провода в случае вертикального положения струн H_0 , в месте подвижной компенсации H_x и допустимом отношении напряжения провода в месте неподвижной компенсации H_1 к натяжению H_x . Таким образом все расчеты должны вестись, исходя из заданных коэффициентов

$$\gamma = \frac{H_1}{H_x} \text{ и } \beta = \frac{H_x}{H_0}.$$

Исходя из этих данных, в первую очередь определяется по формуле (12) угол (φ), после чего по формуле (9) находится коэффициент k и угол $\alpha = \arcsin k$. По значениям φ и α из кривых (рис. 2) находится величина $x\sqrt{\frac{q}{\lambda ES}} = f(\alpha, \varphi)$, из которой легко определяется искомое значение x .

В том случае если принять число струн конечным, отклонение m -й струны (считая от места неподвижной компенсации) может быть представлено выражением:

$$y_m = y_{m-1} + \frac{H_m - H_0}{ES} l,$$

где H_m — натяжение в m -м пролете и l — расстояние между струнами. Кроме того можно написать

$$\sin\varphi_m = \frac{y_m}{\lambda} \text{ и } H_m = H_{m-1} + q l \operatorname{tg}\varphi_{m-1}.$$

Проведенные по этим точным формулам подсчеты показали, что даже для простой подвески при длине пролета $l=30$ м результаты подсчетов отличаются всего на 1% от результатов, получаемых при пользовании выведенными выше формулами для бесконечно большого числа струн.

Отклики на статью проф. В. Е. Розенфельда, инж. К. К. Клопотова
и инж. Л. Я. Лехтмана

(Электричество № 11-12, 1944 г.)

Академик К. И. ШЕНФЕР

Энергетический институт им. Кржижановского Академии
наук СССР

Доктор техн. наук, проф. Д. К. МИНОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Ближайшие задачи городского и пригородного электротранспорта

За легкий, дешевый и экономичный электроподвижной состав городского электротранспорта

Реконструкция городского электротранспорта имеет большое народнохозяйственное значение. При изготовлении заводами подвижного состава для наших городов должны учитываться: экономия материалов, рабочей силы и электроэнергии. Другими словами, вагоны электроподвижного состава должны быть легкими, дешевыми и экономичными в потреблении электроэнергии. Кроме того вагоны должны быть достаточно комфортабельными и надежными в эксплуатации. Рассмотрим, удовлетворяют ли этим требованиям вагоны, изготовляемые нашими заводами, взяв для примера вагоны Московского трамвая.

Вес вагонов. Вагоны Московского трамвая чрезмерно тяжелы. При проектировании трамвайных вагонов асуду, как правило, принят чрезвычайно высокий коэффициент запаса прочности, что привело к тяжелым дорогим и громоздким конструкциям. Тяжелый трамвайный вагон не только требует излишнего расхода конструктивных материалов, но кроме того он быстро разбивает путь и требует повышенного расхода электроэнергии.

При проектировании новых вагонов следует учесть опыт Европы и США, где имеются большие достижения в части понижения веса трамвайных вагонов.

Применение легких сплавов в разумных с технико-экономической точки зрения границах может дать заметное уменьшение веса вагона.

Необходимо также исследовать вопрос о возможности уменьшения габаритов вагонов. Например, не ясно, какими мотивами руководствуются проектировщики при выборе чрезмерной высоты кузова Московского трамвая. Мне кажется, что высота наших вагонов может быть в значительной мере уменьшена. Примером возможности уменьшения высоты вагона является троллейбус. Понижение веса трамвайного вагона может быть достигнуто также путем правильного выбора типа электрооборудования, легких быстрходных двигателей упрощенной аппаратуры и легких реостатов.

Дешевизна. Стоимость вагона в известной мере является функцией его веса. Поэтому легкие вагоны, вообще говоря, будут также и дешевыми. Правильная организация производственных процессов при заводском изготовлении, широкое внедрение массового поточного производства, механизация производственных процессов и т. п. являются хорошо известными мероприятиями по удешевлению заводской продукции.

Отказ от сложного и дорогого устройства для пневматического торможения и переход на электрическое торможение даст дальнейшее уменьшение стоимости вагона.

Экономичность эксплуатации. Уменьшение веса вагонов повлечет за собой соответственное уменьшение расхода электроэнергии на движение. Дальнейшее уменьшение расхода электроэнергии может быть достигнуто путем применения рекуперативно-реостатного торможения. Схема электрического торможения должна обеспечивать при больших скоростях рекуперативное торможение с возвращением электроэнергии в сеть и с автоматическим переходом, при понижении скорости вагона ниже определенного предела, на реостатное торможение с последующим механическим дотормаживанием вагона до полной остановки.

При проектировании новых вагонов должны быть полностью учтены вопросы удобства для пассажира трамвая.

Создание быстрого, надежного и вместе с тем экономичного массового электротранспорта в крупных городах СССР и в первую очередь в Москве является одной из важнейших и первоочередных задач.

Трамвай. При техническом усовершенствовании трамвай способен сохранить свою ведущую роль даже при широко развернутой сети метрополитена. При этом приобретают важное значение короткие маршруты внутри города и вылетные пригородные линии. Для большинства городов СССР, не имеющих метрополитена, трамвай будет продолжать оставаться основным видом городского электротранспорта. В связи с этим необходимо серьезно отнестись к выбору и организации массового производства технически совершенных трамвайных вагонов, в первую очередь для крупных городов.

Надежный городской массовый транспорт должен обладать густой сетью различных видов транспорта: трамвай, троллейбус, автобусы, электромобили.

Отдельные виды транспорта должны иметь: высокую скорость сообщения, не ниже 22—24 км/ч при достаточно короткой длине перегона 250—350 м; частое и регулярное движение, при обязательном соблюдении расписания; низкие эксплуатационные расходы, в частности по расходу электроэнергии и по содержанию пути.

При высоких скоростях движения, в целях безопасности движения, необходимо эффективное торможение. Современные американские вагоны обеспечивают замедление при экстренном торможении до 4 м/сек², что достижимо лишь при наличии рельсовых тормозов. Тормозной путь вагона при скорости 40 км/ч составляет при таком замедлении всего около 25 м. Очевидно, что одной из первоочередных задач нашей промышленности и трамвайных предприятий является освоение надежно работающих рельсовых электромагнитных тормозов.

Надежное рабочее торможение осуществляется электрической системой торможения (реостатной и рекуперативной). Эти системы обеспечивают плавную регулировку замедления и предупреждают возникновение юза. Для повышения скорости сообщения при коротких перегонах необходимо иметь высокие пусковые ускорения (1,5—2 м/сек²) и тормозные замедления, что можно обеспечить лишь при электроприводе всех осей вагона.

Приведенным основным требованиям полностью удовлетворяют современные американские вагоны типа РСС. Моторные вагоны обеспечивают возможное составление поезда из двух вагонов, управляемых по системе многих единиц. Система управления — регулируемая автоматическая, позволяющая устанавливать величину ускорения и замедления.

Поскольку регулируемая автоматическая система является новой, недостаточно изученной системой, следует принять ее сначала с реостатным торможением. В дальнейшем такая система сможет быть приспособлена и для рекуперативного торможения, причем на одной линии смогут работать вагоны, оборудованные обеими системами, в случае если они будут иметь одинаковые динамические характеристики.

Эксплуатационные расходы трамвая определяются двумя основными статьями: расходом электроэнергии и содержанием путей. Уменьшение расхода энергии может быть достигнуто путем снижения веса вагона и применения рекуперативного торможения.

Вагоны последнего выпуска серии М-38 Московского трамвая имеют тару 23 т, в то время как вагон РСС (приведенный к длине 15 м) весит всего 15 т. Считая вес пассажиров при среднем заполнении вагон 3 т, получим экономию энергии от меньшего веса
$$\frac{23 - 15}{23 + 3} \cdot 100 =$$

$= 31\%$. Столь большой экономии энергии для всех условий

в состоянии обеспечить ни одна из систем существующих рекуперации.

Применение рекуперации энергии сможет дополнительно снизить расход электроэнергии примерно на 20% при достаточно простом электрооборудовании вагона (система с компаундными двигателями). Этой системой вполне удовлетворены работники Киевского трамвая, предполагающие применять ее при строительстве новых вагонов. Работники Московского трамвая, основываясь на аварийности вагонов М-38, относятся к рекуперации энергии несколько недоверчиво.

Как выяснили работы кафедры электролокомотивостроения МЭИ, значительная часть неполадок в работе вагонов М-38 не связана с принципиальными недостатками системы, а объясняется не вполне удачным монтажом схемы, дефектами ремонта, а также непригодностью подстанций к поглощению избыточной электроэнергии. Для новых вагонов трамвая, как указывалось выше, мы считаем рациональным сначала вводить реостатное торможение; такие вагоны нужно выпускать до тех пор, пока не будет освоена автоматическая регулируемая система с компаундными двигателями. Для устранения явлений повышения напряжений при переходе с параллельного на последовательное соединение двигателей следует устранить переход и принять систему с постоянным соединением двигателей, но с низкой скоростью конца рекуперации (около 15 км/ч). При этих условиях можно обеспечить достаточно высокий процент экономии электроэнергии особенно в черте города. Электрическое торможение (реостатное и рекуперативное) способствует также снижению эксплуатационных расходов по тормозам.

Для сокращения эксплуатационных расходов по пути необходимо снизить номинальную и динамическую нагрузку колеса на рельс.

Первое требование достигается снижением веса вагона. Для обеспечения второго требования необходимо уменьшить неподдресоренные массы, причем уменьшить не только качество, но и количество. С этой точки зрения введение резиновых прокладок в колеса при сохранении трамвайной системы подвески является недостаточным, а необходимо применение рамных двигателей. Действительно, вес двигателя ДТИ-60 составляет 960 кг. Коэффициент интенсивности при трамвайной подвеске для передаточного числа 5,5 равен 0,75. Таким образом неподдресоренная масса двигателя, приходящаяся на каждую ось, составляет 720 кг.

Переход к карданному приводу вдвойне выгоден. Во-первых, двигатель получается полностью подрессоренным. Во-вторых, возможно применение гипоидной передачи и повышение тем самым передаточного числа до 7,17 наряду с уменьшением веса двигателя с 960 кг до 340 кг.

Пригородное движение. До настоящего времени развитие пригородного движения шло почти исключительно по линии электрификации пригородных участков магистральных железных дорог. При таких условиях невозможно обеспечить густую сеть пригородных железных дорог, что затрудняет разрешение пригородного жилищного строительства. Вместе с тем на дорогах с интенсивным движением дальних поездов трудно обеспечить частое мотор-вагонное движение. Кроме того имеются другие трудности: введение широкого габарита весьма выгодного для пригородного сообщения требует значительных затрат по переустройству железнодорожных сооружений. Удачное для пригородных железных дорог напряжение 1650 В является никак не для электровозной тяги.

Все поставленные вопросы разрешаются сооружением специальных пригородных линий на обособленном подотне длиной до 50 км, предназначенных для электрической мотор-вагонной тяги. Линии эти могут иметь весьма значительный руководящий подъем (30‰ и выше), кривые малого радиуса, более слабый путь в особенности при снижении веса моторного вагона, в ряде случаев не иметь автоблокировки. Вследствие этих обстоятельств стоимость сооружения пригородных линий снизится весьма значительно. Вместе с тем на них легко применить широкий габарит. Часть таких линий, более коротких и слабо загруженных, может быть выполнена по типу пригородного трамвая с максимальной скоростью движения 60—65 км/ч.

Экономия электроэнергии. При рассмотрении вопросов трамвая было отмечено, что значительную экономию энергии можно обеспечить путем облегчения вагона трамвая. Это заключение в полной мере распространяется также на вагоны метрополитена и пригородных железных дорог. Сверх того на коротких перегонах и при наличии значительных уклонов рационально применить рекуперативное торможение. В первую очередь это замечание относится ко всем видам городского транспорта, в частности к метрополитену. Необ-

ходимо поэтому параллельно с трамвайной рекуперативной системой заняться разработкой такой системы и для метрополитена, рассмотрев варианты применения серийных двигателей с отдельным возбудителем, а также схемы с компаундными двигателями.

Для повышения процента возврата энергии при рекуперации троллейбусами необходимо автоматизировать управление, что обеспечит правильное использование режимов движения.

Инж. С. М. СЕРДИНОВ

Центральный отдел электрификации НКПС

Вопросы восстановления производства электроподвижного оборудования

Постановка вопроса о необходимости выбора и организации выпуска наиболее совершенных типов и конструкций троллейбусов, трамваев и пригородного электроподвижного состава является весьма своевременной. Восстановление производства электрооборудования и вагонов для электрифицированного транспорта должно производиться, исходя из необходимости выпуска наиболее экономичных и комфортабельных типов и отказа от производства вагонов устаревших конструкций.

Необходимо в самое ближайшее время разработать основные технические требования к оборудованию и вагонам. На базе этих требований, обсужденных широкой инженерно-технической общественностью, должно быть начато проектирование нового подвижного состава и подготовка его производства. Некоторые технические вопросы восстановления производства электротягового оборудования и подвижного состава отдельных видов транспорта рассматриваются ниже.

Трамвай. Устарелость конструкций трамвайных вагонов и их электрооборудования, даже на выпускавшихся перед войной типах (голубые вагоны), вполне очевидна.

Применение тележек с быстроходными тяговыми двигателями, расположенными параллельно оси пути, является основным мероприятием для снижения относительного веса машины и повышения быстроходности. Однако нельзя согласиться с мнением некоторых специалистов о принятии за основу, при проектировании нового подвижного состава, вагона типа РСС, как наиболее современного.

Нужно иметь в виду, что этот вагон предназначен для линий с сравнительно незначительными пассажиро-перевозками и не рассчитан на обеспечение массовых перевозок, что характерно для большинства наших линий. Кроме этого вагоны РСС работают в городах с более легкими климатическими условиями, чем это имеет место в большей части в СССР; в частности, при сильных морозах вызывает сомнения надежность работы отдельных элементов электроаппаратуры.

Поэтому при проектировании нового подвижного состава необходимо использовать опыт по постройке и эксплуатации вагонов других типов, выпускавшихся в последние годы (в частности, последних типов вагонов Англии, Голландии и Бельгии).

Нужно учесть, что для условий эксплуатации, имеющих место в СССР (различные климатические условия, курортные линии, линии с очень большими пассажиро-поточками и линии загородного типа) нельзя будет обойтись одним типом трамвайного вагона.

Как минимум, можно считать, что потребуется выпуск трех или четырех различных типов вагонов, применительно к условиям, в которых они будут эксплуатироваться, при этом должна быть обеспечена максимальная унификация деталей различных типов вагонов.

Троллейбус. Существующие типы троллейбусов, хотя по своему электрооборудованию и находятся на уровне современной техники, однако по конструкции кузова, комфортабельности и отделке требуют коренного улучшения.

Мотор-вагонные секции. Восстановление производства пригородного электроподвижного состава также должно производиться с расчетом выпуска совершенно новых типов мотор-вагонных секций с возможностью работы на два напряжения 3300 и 1650 В.

Выпускавшиеся до войны мотор-вагонные секции типа СД как по своим весовым показателям, так и по техническим характеристикам и отделке значительно устарели и уступают последним типам мотор-вагонных секций, выпускаемых за границей. Совершенно очевидно, что при учете дальнейшего широкого развития мотор-вагонной тяги, так же как и для трамваев, появится необходимость выпуска нескольких (двух или трех) типов мотор-вагонных секций опять-таки с максимальной унификацией отдельных узлов. На совершенно новой основе должна быть запроектирована механическая часть (кузов, тележки) с резким снижением весовых показателей.

Задачи, стоящие перед организациями, эксплуатирующими и строящими электроподвижной состав, в части проектирования и производства современных и перспективных типов, должны быть разрешены в кратчайший срок. Для этого необходимо:

1. Организовать изучение и использование опыта США и других стран по постройке и эксплуатации вагонов трамвая, троллейбусов, метрополитена и мотор-вагонных секций.

2. Создать межведомственную комиссию с привлечением наиболее квалифицированных специалистов для выработки технических условий на проектирование и рассмотрение проектов нового подвижного состава.

3. Привлечь к разработке вопросов нового подвижного состава широкую инженерно-техническую общественность, в частности научно-инженерные технические общества соответствующих специальностей.

Помимо конструктивных вопросов серьезное внимание должно быть уделено вопросам улучшения качества оборудования. Выпускавшиеся ранее вагоны трамвая, метрополитена, мотор-вагонных секций и электрооборудование для них не всегда обеспечивали надежность работы из-за неудовлетворительного качества. Поэтому наряду с разработкой указанных выше вопросов должны быть разрешены также и все вопросы качества и технологии производства (вопросы изоляционных материалов, красителей и пр.).

Создание совершенного городского и пригородного электротранспорта — почетная задача, и эта задача должна быть разрешена также быстро и успешно, как разрешались другие крупнейшие задачи в период Отечественной войны.

Инж. А. И. ЛИТВИНЕНКО

Управление московского трамвая

0 реконструкции подвижного состава трамвая

Необходимо уже сейчас приступить к конкретной подготовке технических заданий промышленности на восстановление производства электротягового оборудования, как для старого подвижного состава городского электротранспорта, так и для постройки нового подвижного состава.

Постановка этого вопроса в части трамвая является актуальной. Дело в том, что техника этого самого старого вида городского электротранспорта осталась до сих пор по существу неизменной, если не считать некоторых конструктивных улучшений отдельных агрегатов. Попытки самих трамвайных предприятий перевести трамвайное вагоностроение на более высокий и современный технический уровень не увенчались успехом, потому что трамвайные предприятия, не располагая собственной мощной производственной базой, не могли осуществить многих принципиально новых современных технических решений, а промышленность не оказала им в этом должной помощи. Не более удачным оказался спит и промышленности, попытавшейся дать новый более совершенный тип трамвайного вагона, построенный на базе старых технических решений. Так, выущенная в 1938 — 1940 гг. серия М-38 так называемых «голубых» трамвайных вагонов для московского трамвая, оказалась далеко не соответствующей нашим представлениям о современном трамвайном вагоне, который должен быть легким, быстроходным и бесшумным.

Нашим представлениям и указанным качествам соответствуют американские вагоны последнего выпуска типа РСС, построенные на совершенно новой технической базе. Так, этот тип трамвайного вагона имеет минимальный вес, обладает почти совершенной бесшумностью, имеет легкие быстроходные и полностью подрессоренные тяговые электродвигатели

с гибкой передачей. Электрическая схема и аппаратура этого типа вагона обеспечивает многоступенчатый автоматический пуск и электрическое торможение, приближающие этот трамвайный вагон, в динамическом отношении, к автомобильному транспорту.

Однако копировать целиком вагон РСС, предварительно не проверив целесообразности применения всех его агрегатов для наших условий, было бы неправильно. Мы знаем, что этот вагон оборудован сериесными электродвигателями без рекуперации электроэнергии и имеет одну экономическую ступень скорости. С точки зрения простоты и надежности системы и аппаратуры управления, — это достоинство данного вагона, но с точки зрения экономии вообще и расхода электроэнергии, в частности, — это недостаток. Для наших условий желательнее иметь эффективную рекуперацию энергии, но без излишнего усложнения системы и аппаратуры управления и не за счет снижения их надежности. Далее, вагон РСС предназначен для работы в качестве одновозгонной поездной единицы и лишь в качестве таковой способен дать высокий динамический эффект. В наших условиях, во многих случаях, видимо, нельзя будет обойтись только одной поездной единицей. Поэтому нужно продумать вопрос, принимать ли на эксплуатацию еще одну независимую воездную единицу большей вместимости (вроде вагона «змейки») или принимать сочленение двух основных стандартных вагонов, управляемых по системе многих единиц. Последнему варианту следует отдать безусловное предпочтение, так как в этом случае обслуживание и использование подвижного состава будет значительно лучше.

Таким образом при рассмотрении вопроса о выборе нового современного типа вагона мы сталкиваемся с рядом спорных вопросов. Однако это не значит, что вопрос о выборе нового вагона следует отложить. Опыт показывает, что бесконечные дискуссии трамвайщиков по спорным вопросам явились одной из причин (правда, не главной), вызвавшей значительное отставание техники трамвайного вагоностроения.

Необходимо немедленно организовать более подробное ознакомление с американскими вагонами РСС и приступить к разработке конкретных технических заданий промышленности на строительство новых вагонов, подобных американским, отложив решение всех спорных вопросов до более подробной экспериментальной проверки этих вагонов в эксплуатации. Так как вопрос выбора нового электроподвижного состава для наших трамваев на перспективу связан с весьма крупными денежными и материальными затратами, весьма желательным было бы организовать изучение новых американских вагонов в условиях производства и эксплуатации их на месте.

В части модернизации старого подвижного состава трамвая трудно придумать какие-либо существенные улучшения. Однако ограничиться программой модернизации в том виде, в каком это предлагается промышленностью, все же нельзя. Одна замена барабанных контроллеров кулачковыми с сохранением грубоступенчатого пуска не дает ничего нового. В части электрооборудования, хотя бы в отношении той части вагонов, которые будут сохранены в эксплуатации еще в течение многих лет, необходимо заменить барабанные контроллеры не просто кулачковыми, а непременно многоступенчатыми, обеспечивающими в частности шунтировку поля тяговых двигателей, а также ввести в схему управления линейный контактор.

Инж. Г. В. ФЕДОРОВ

Московский метрополитен им. Кагановича

За лучшие эксплуатационные показатели городского электротранспорта

Очевидно, что восстановление и развитие производства оборудования городского электротранспорта должно происходить с учетом максимальной унификации всех видов электрического, механического и пневматического оборудования для подвижного состава трамваев, троллейбусов, метрополитена и электрических пригородных железных дорог. Весьма существенную роль играет максимальное уменьшение эксплуатационных затрат. Для примера можно привести опыт метрополитена. По некоторым подсчетам уменьшение расходов на электроэнергию вдвое, только для нужд тяги, может ежегодно экономить сумму, достаточную для приобретения восьми

вагонов, что за срок полной амортизации вагона составит около 200 вагонов.

В основу эксплуатационных показателей восстановляемого электротранспорта должны быть положены принципы, осуществленные на американских вагонах РСС для трамвая и метрополитена. Вагоны должны быть максимально экономичны в эксплуатации, т. е. требовать минимального ухода, ремонта и потреблять минимум электроэнергии. Для этого должно быть обеспечено максимальное облегчение вагонов за счет применения сплавов алюминия, тонких специальных профилей легированных сталей, пластмассы для изготовления кузова, тележки, дверей, пола, корпусов и крышек аппаратов, пневматических устройств и т. п. Большое значение имеет вопрос о ширине вагонов. При увеличении ширины вагонов кроме увеличения вместимости вагонов и улучшения использования габаритов уменьшается удельный вес вагона, приходящийся на единицу площади пола.

В существующих схемах пусковые потери составляют для средних условий метрополитена 5—11% от электроэнергии, потребляемой на движение. Возможная рекуперация энергии составляет около 20—25% энергии. Поэтому следует внедрять рекуперацию энергии, которая возможна даже в схемах с безреостатным пуском.

Вагоны должны иметь высокую пропускную способность. Для этого должны быть обеспечены: большие скорости движения (для метрополитена максимальная скорость порядка 80—90 км/ч); большие замедления при экстренном торможении до 4 м/сек² (для трамвая и метрополитена); высокие тормозные замедления для метрополитена порядка 1—1,3 м/сек².

Вагоны должны иметь хорошую маневренность, т. е. должны обеспечивать легкую сцепку и расцепку электрических, пневматических и механических соединений. Все это потребует проведения большой проектной и исследовательской работы.

Должен быть разработан быстроходный тяговый электрический двигатель с применением современных конструктивных и конструктивных материалов; должны быть исследованы различные варианты тормозов,—динамических, рельсовых, соленоидных рекуперативных, проведены исследования амортизационных резины, гидравлических амортизаторов, гипоидной передачи дающей возможность применения большого передаточного числа и т. д.

Ввиду общности материалов всех видов городского транспорта необходимо для организации проектирования нового электроподвижного состава объединить технические силы, имеющихся как на заводах, так и на электрограмоте (трамвай, троллейбус, метрополитен) и в научных учреждениях.

Подобный пример объединенной работы специалистов уже имеется в американской практике при создании вагонов типа РСС. Проектирование вагонов этого типа продолжалось 3 года, а постройка опытных образцов 2 года. Затраты средств на проектирование и исследовательскую работу составила 750 000 долларов (при стоимости старого вагона метрополитена Нью-Йорка 38,5 тыс. долларов, а трамвайного вагона 15 тыс. долларов).

Организация такого объединенного проектирования в СССР позволит создать новый электроподвижной состав для всех видов городского транспорта.

ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Отклики на статью проф. С. М. Брагина

(*Электричество* № 10, 1944 г.)

Доц. В. А. ПРИВЕЗЕНЦЕВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Ближайшие задачи кабельной промышленности

В статье проф. С. М. Брагина правильно затронут ряд проблем технического развития кабельной промышленности. Бесспорный интерес представляет внедрение различных синтетических материалов в качестве заменителей дефицитной капролактама в пропиточных кабельных массах. В связи с этим весьма целесообразна организация в системе Наркомхимпрома производства синтетических пластмасс и масел, которые должны найти самое широкое применение в кабельной промышленности.

Интерес представляет сообщение о последних работах американской кабельной промышленности в области высоковольтных кабелей и, в частности, о новых конструкциях кабелей под газовым давлением и т. п.

Для удовлетворения имеющегося спроса на кабели напряжением в 110 кВ, несомненно, нужно выпускать уже существующие в свое время заводом «Севкабель» маслянаполненные кабели.

Продоланная в свое время нашими кабельщиками большая работа по освоению маслянаполненных кабелей представляет большое значение, если учесть, что первые производственные партии этого кабеля показали высокое качество; эти кабели не только обеспечили бесперебойную работу, но в некоторых случаях выдержали довольно суровые эксплуатационные испытания, показав свою высокую стабильность в работе. Все это говорит за необходимость восстановления производства маслянаполненных кабелей. Целесообразность такого решения подтверждается и зарубежным опытом. До последнего времени маслянаполненные кабели в промышленно-эксплуатируемых сетях занимают преимущественное положение, и многие авторитетные зарубежные кабельщики со-

веренно определению отдадут предпочтение этим кабелям в сетях на напряжение 110 кВ и выше.

О кабелях на напряжение 20—35 кВ следует сказать, что пока непосредственно для эксплуатации должны изготавливаться уже принятые у нас конструкции кабелей марки ОСБ. Кабели этих конструкций, хотя и имеют повышенную толщину изоляции (для 20 кВ кабелей с незаземленной нейтралью толщина изоляции 7—8 мм, а для кабелей на напряжение 35 кВ—10—12 мм), изготовление, монтаж и эксплуатация таких кабелей отличаются простотой, а главное они нами освоены, и при наличии соответствующих изоляционных материалов (качественного минерального масла сернистой и селекционной очистки и кабельной бумаги) производство этих кабелей не представит серьезных затруднений.

При этом не отрицается необходимость обстоятельного анализа многочисленных конструкций кабелей под внешним давлением масла или газа, а также конструкций, где тот или иной газ используется при повышенном давлении как электроизолирующий материал. Следует, однако отметить, что, несмотря на уже имеющиеся многочисленные работы, опубликованные в журналах, нами до сих пор ничего не сделано для практического осуществления первых опытных линий и пробной эксплуатации кабелей этих конструкций. Поэтому в области новых конструкций высоковольтных кабелей на напряжение порядка 110 кВ, а также на напряжение 35 кВ необходимо остановиться на некоторых уже разработанных оптимальных конструкциях и приступить постепенно к созданию экспериментальных линий для проведения опытной эксплуатации.

Мы не будем останавливаться здесь на других перспективных вопросах кабельной промышленности и отметим только некоторые наиболее важные ближайшие задачи в этой области.

Производство обмоточной меди и эмалированной проволоки. В настоящее время это производство имеет первостепенное значение, если учесть, что вся военная электротехника требует огромного количества эмалированной проволоки и обмоточной меди малых сечений, для изготовления кото-

необходимо большое количество исключительно дефицитного и натурального шелка и пряжи высоких номеров. В связи с этим особую роль приобретают мероприятия, направленные к сокращению удельного расхода этих материалов (применение натурального шелка только для самых тонких размеров обмоточной меди, полная отмена двухслойной обмотки пряжей и шелком и т. д.) и к улучшению производства эмалированной проволоки. К числу основных задач в этой области следует отнести:

1. Организация производства эмалированной проволоки типа «Форекс». Выпуск этой проволоки не только значительно сократит расход пряжи и шелка, так как обмотка для эмалированной проволоки этого вида совершенно не нужна, но и одновременно позволит в обмоточных цехах освободить ряд машин и за счет этого повысить выпуск обмоточной меди.

2. Организация производства теплоустойчивой эмалированной проволоки. Эта задача может быть сравнительно легко осуществлена, если учесть уже имеющийся у нас опыт с глифталевыми лаками. Полученные в свое время результаты были настолько ценны и интересны, что не может быть никаких сомнений в необходимости скорейшей организации выпуска эмалированной проволоки марки ПЭТ. Потребители эмалированной проволоки должны иметь в виду, что за исключением некоторых второстепенных недостатков (повышенной мягкости и ползучести пленок, полученных на глифталевом лаке) эмаль пленки обладают прекрасными электрическими характеристиками и стабильностью и поэтому заслуживают исключительного внимания.

3. Доработка новых рецептов масляных лаков. Некоторыми кабельными заводами за последние годы была проделана большая и ценная работа по созданию новых рецептов масляных лаков (с применением касторового, подсолнечного, хлопкового и других масел). Ряд рецептов показал их преимущество перед стандартными эмаль-лаками, в которых сейчас применяются более дорогие и дефицитные материалы. Проведенная работа по новым масляным эмаль-лакам требует дальнейшего широкого развития, так как ценность и значимость ее в настоящее время особо велика. Существенную роль должен сыграть непрерывный и детальный обмен опытом между кабельными заводами, производящими эмалированную проволоку.

4. Углубленная проверка качества продукции и разработка новых методов испытания эмалированной проволоки. До последнего времени качество нашей эмалированной проволоки страдает еще большей неравномерностью, в связи с чем разработка новых более совершенных методов испытания эмалированной проволоки крайне необходима и своевременна. За границей в этом отношении уже кое-что сделано (определение равномерности толщины эмальной пленки по окружности проволоки, определение сжимаемости и размягчения эмальной пленки, более совершенные методы определения эластичности эмалированной пленки и т. д.). Начатые в этом направлении работы в Центральной кабельной лаборатории нужно всемерно форсировать, а результаты их без задержки внедрять в жизнь.

Производство проводов со стеклянной изоляцией. Производство этих проводов начинает у нас постепенно расширяться. Однако здесь до сих пор мы имеем дело с целочным стеклом, что в очень большой степени снижает качество изготавливаемых проводов. Положение еще более усугубляется огромным количеством (до 15—25%) замазливателя, что подчас не дает возможности должным образом применить новые специализированные обмоточные машины. Нужно обратить также внимание на то, что стоимость нашего стекла исключительно высока, так как даже на прямоугольной обмоточной меди крупных сечений наложенная двухслойная стеклянная обмотка стоит 8—12 тыс. руб. на тонну обмоточной меди, т. е. в десятки раз дороже, чем дельта-асбест и пряжа.

Кабельным заводам надлежит также решить задачу натяжения стеклянной изоляции и на круглую обмоточную медь диаметром 0,3—1,0 мм, так как в настоящее время в этом диапазоне провода со стеклянной изоляцией пока еще не изготавливаются.

Производство кабельной арматуры, заливочных масс и т. п. Эта область является наиболее отстающей в нашем кабельном производстве, в то время как для восстановления и развития энергетического хозяйства требуется огромное количество кабельной арматуры, заливочных масс, бумажных припаянных роликов и т. д. Кабельная арматура в заводских условиях почти не изготавливается, что ставит энергосистемы в крайне неблагоприятное положение, заставляя решать эти вопросы собствен-

ными силами и по собственному разумению. Совершенно очевидно необходимость создания теперь же небольшого завода, специализированного только на кабельной арматуре.

Кандидат техн. наук М. Г. ГЕРЦЕНШТЕЙН

Москва

О кабелях со сжатым газом

Статья доктора техн. наук С. М. Брагина «К задачам технического развития кабельной промышленности», представляющая собой обзор зарубежных достижений главным образом в области силовых кабелей с пропитанной бумажной изоляцией и проводов и кабелей с изоляцией из вулканизированной резины и резиноподобных пластификатов, бесспорно весьма актуальна. В таком обзоре, однако, следовало бы уделить особое место определенно первоочередным задачам, которые стоят перед нашей отечественной кабельной промышленностью. К сожалению, эти задачи в статье освещены недостаточно.

Так, например, следовало бы обратить внимание на необходимость быстрейшего освоения нашей промышленностью силовых кабелей со сжатым газом. У нас в Союзе такие кабели пока еще не производились и не производятся, хотя за границей, в условиях военного времени, некоторые конструкции этих кабелей серьезно изучаются и получают все большее промышленное распространение, успешно конкурируя в ряде случаев с массонаполненными или маслом наполненными кабелями.

В деле изучения и промышленного применения кабелей со сжатым газом первое место принадлежит Англии (фирмы Glover Co, Einfield Cable Co, W. T. Henley, Callender Cable and Construction Co), где в 1932 г. была проложена первая промышленная линия кабеля давления на 66 кВ, а в 1937 г. были проложены первые промышленные линии газом наполненных кабелей (с предварительно пропитанной изоляцией) на напряжение 33 и 132 кВ. К концу 1940 г. в Западной Европе было проложено около 90 км жил кабелей давления на напряжение 50—120 кВ, а к 1942 г. около 40 км жил газом наполненных кабелей на напряжение 33—132 кВ.

В США интерес к кабелям со сжатым газом возник только через несколько лет, однако, в настоящее время в деле изучения и производства кабелей со сжатым газом Америка, если не занимает ведущее положение, то идет наравне с Англией, так как кабельная промышленность Америки (фирмы General Cable Corporation, General Electric Co) уделяет много внимания кабелям со сжатым газом.

В настоящее время в Европе и Америке в промышленной эксплуатации находятся 200—225 км жил кабелей со сжатым газом разных конструкций на напряжение от 15 до 132 кВ, причем применение получили кабели давления и газом наполненные кабели (с предварительно пропитанной изоляцией, с дренажной изоляцией и газовыми камерами и кабели типа SMD); газом пропитанные кабели (бумажная изоляция которых не пропитывается изолирующей жидкостью) и кабели с газовыми камерами и им подобные пока не получили практического применения.

Развитию кабелей со сжатым газом способствуют, во-первых, экономические соображения, основанные на том, что ряд тонких технологических операций (специальная очистка масла от химических загрязнений и газа, дополнительная глубокая вакуумная сушка после освинцования, специальные мероприятия для высококачественной пропитки и др.) и, особенно, вспомогательная аппаратура и устройства, необходимые для надежной эксплуатации (баки давления, баки питания и др.), приводят к сравнительно высокой стоимости линий маслом наполненного кабеля.

Кроме того, в ряде случаев при эксплуатации маслом наполненных кабелей имели место неприятности: легкоокисляемое масло, находясь в сравнительно сильном тепло-электрическом поле, становилось (образование медных и свинцовых мыл), что приводило к заметному ухудшению некоторых основных электрических характеристик всей изоляции.

В некоторых конструкциях кабелей со сжатым газом исключена возможность стекания пропиточного состава при работе на вертикальных или сильно-наклонных трассах при высокой температуре изоляции (температура жилы порядка 75—100° С) и поэтому они представляют собой наиболее подходящие типы кабелей для прокладки на любую высоту или глубину.

При прокладке в проходах или туннелях, где вопрос

пожарной безопасности имеет особое значение (например в туннелях метрополитена), кабели со сжатым газом имеют преимущество перед кабелями других типов. Если вследствие пробоя кабеля или по каким-либо другим причинам возникнет пожар, то наличие минерального масла в изоляции кабеля может способствовать его развитию и распространению. В кабелях же со сжатым газом применяется азот, который не горит и не поддерживает горения.

Производство конструкций кабелей со сжатым газом, получивших наибольшее распространение, не требует новых установок или специальных технологических операций и вполне может быть налажено на существующем у нас оборудовании кабельных заводов, предназначенном для изготовления массонаполненных кабелей. Оборудование наших кабельных цехов позволяет освоить кабели давления и газом наполненные кабели с дренированной изоляцией. При этом необходимо, конечно, подчеркнуть, что, если производство кабелей со сжатым газом потребует только некоторых организационно-технических мероприятий, то разработка и организация производства концевых и соединительных муфт для таких кабелей потребует значительных усилий.

Имеющийся к настоящему времени опыт эксплуатации кабелей со сжатым газом дал вполне удовлетворительные результаты. Многие конструкции этих кабелей вполне надежны, обладают хорошими электрическими, тепловыми и механическими характеристиками и могут быть применены для подземных сетей самого высокого напряжения (220 кВ и выше). В литературе встречаются сведения лишь о небольшом количестве легко устранимых неисправностей, имевших место в работающих линиях кабелей со сжатым газом. Например, известно, что, вследствие плохо выполненной защиты труб первого проложенного в Англии кабеля давления, трубы подвергались электролитической коррозии; в проложенных в Копенгагене кабелях давления наблюдались механические повреждения труб близ стыков, вызванные относительно большим продольным перемещением кабелей и т. п.

Интересные данные о приблизительной стоимости газом наполненных (с предварительно-пропитанной изоляцией), маслом наполненных и массонаполненных кабелей приведены в таблице (Л. 2).

Напряжение кВ	Тип кабеля	Сечение жил мм ²	Стоимость 1 км фунтов стерлингов	Номинальная мощность MVA	Стоимость 1 MVA на 1 км фунтов стерлингов
33	Массонаполненный . . .	193,5	3 292	20,3	162
33	Газом наполненный . . .	193,5	3 292	23,0	143
33	Газом наполненный . . .	258	3 609	27,5	131
33	Маслом наполненный . . .	258	4 375	27,5	159
66	Газом наполненный . . .	258	4 823	54	89
66	Маслом наполненный . . .	258	5 687	55	103
132	Газом наполненный . . .	161,3	5 905	77	76,5

Как следует из данных этой таблицы: 1. Стоимость 1 MVA газом наполненного кабеля на 33 кВ с жилами сечением 193,5 мм² на 11,7% меньше, чем такого же массонаполненного. 2. Стоимость 1 MVA газом наполненного кабеля на 33 кВ с жилами сечением 258 мм² на 17,5% меньше, чем такого же маслом наполненного. 3. Стоимость 1 км газом наполненного кабеля на 66 кВ с жилами сечением 258 мм² на 15,2% меньше, чем такого же маслом наполненного, а стоимость 1 MVA на 13,7%. 4. Стоимость 1 MVA газом наполненного кабеля на 132 кВ (с жилами сечением 161,3 мм²) на 14% меньше, чем стоимость 1 MVA кабеля на 66 кВ (с жилами сечением 258 мм²), а последняя на 32% меньше, чем стоимость 1 MVA кабеля на 33 кВ (с жилами того же сечения).

Приведенная калькуляция имела немалое значение при принятии решения о расширении существующей в одном из районов Англии кабельной 33 кВ сети массонаполненного кабеля путем прокладки газом наполненного кабеля на то же напряжение.

Для расширения своей распределительной сети в районе Hampton Road американская фирма Virginia Electric and Power Co с июля 1943 г. включила в эксплуатацию газом наполненные кабели на 38 кВ и 20 000 кВА (Л. 3). Расширение этой сети было вызвано потребностями военного времени, и в целях экономии дефицитных материалов и труда существовавшую подземную сеть массонаполненных

кабелей дополнили газом наполненными кабелями низким давлением (с дренированной изоляцией).

Несомненно, что наше энергетическое хозяйство настоятельно потребует от кабельной промышленности освоения разных конструкций кабелей со сжатым газом, которые найдут себе успешное применение в сетях от 10 кВ до 120 кВ и выше.

Литература

1. G. B. Shanklin. Low — Medium — and High — Pressure Gas — Filled Cable. El. Eng., oct., 1942.
2. B. Calvert. A Gas — filled cable system, JIEE, Nov., 1943.
3. F. W. Smith. One gas — filled Cable Instead of two „solid“. El. World, Nov., 1944.

Кандидат техн. наук И. А. СЫРОМЯТНИКОВ

Наркомат электростанций СССР

Об улучшении технологии и расширении научно-исследовательской базы кабельной промышленности

Проф. С. М. Брагин в своей статье рассматривает вопросы технического развития кабельной промышленности. Эти вопросы являются безусловно весьма актуальными не только для кабельных заводов, но и для эксплуатации энергосистем.

С своей стороны мы считаем необходимым внести некоторые дополнительные требования к кабельной промышленности, недостаточно освещенные в статье проф. С. М. Брагина.

Необходимо провести большую работу по улучшению технологии при изготовлении кабелей на заводах. Значительное число повреждений кабелей безусловно вызвано дефектами, допущенными при производстве кабелей. Этому в значительной степени способствует действующий ГОСТ на кабели, в котором не оговорено число совпадений и разрывов лент и тому подобные дефекты. Опыт эксплуатации показал, что для прокладки в траншеях кабели типа САД оказались непригодными и поэтому нужно возобновить выпуск бронированных кабелей типа СБ и СП. Силовые кабели без наружных защитных металлических оболочек, применяемые за границей, непосредственно в земле не прокладываются, а укладываются в трубах или блоках. Для вертикальных прокладок эксплуатация настоятельно требует кабелей с осушенной изоляцией типов СБВ и СПВ.

Кабельная промышленность должна поставлять комплектно с кабелями всю необходимую арматуру и в первую очередь трехфазные муфты для наружных и внутренних установок, в том числе и для кабелей с большой разностью уровней, с компенсацией расширения заливочного компаунда. Необходим выпуск створных трехфазных соединительных муфт, а также тройниковых муфт.

Кабельные заводы должны разработать стандартные конструкции сухих концевых разделок для трехфазных и однофазных кабелей как для внутренней, так и для наружной установок. Ввиду широкого распространения скрытых проводок необходимо усилить выпуск проводов марок ПРТО и ПР-500.

Кабельные заводы не дают основных характеристик выпускаемых ими кабелей. Такой важный вопрос для эксплуатации, как допустимые нагрузки, до настоящего времени разрешался чисто расчетным путем без экспериментальной проверки, что является совершенно недопустимым.

Кабельные лаборатории должны совместно с лабораториями энергосистем вести работу в направлении изыскания новых способов профилактических испытаний кабелей, разработки портативных переносных установок для испытания кабелей в эксплуатации, определения допустимых нагрузок, изыскания новых, более совершенных заливочных компаундов для муфт и т. п.

Значительное число повреждений кабелей в эксплуатации вызывается коррозией. Поэтому вопросу улучшения защиты от коррозии кабельные лаборатории должны уделить большое внимание путем изыскания новых видов пропиток и обмазок. Улучшение защиты от коррозии позволит значительно увеличить продолжительность жизни кабеля.

Новые конструкции кабелей должны быть спроектированы таким образом, чтобы не усложнять их эксплуатацию. Это требование является обязательным. Совершенно неприемлемы, например, кабели маслостатического типа для осу-

дествения связи мощных генераторов с трансформаторами. Как правило, длина этих кабелей незначительна, порядка одной строительной длины, и поэтому более целесообразно в этом случае применение обычных кабелей. Большое значение для эксплуатации электросетей представляют масляные и бумажные кабели на напряжение 110 кВ, при помощи которых может быть осуществлен глубокий ввод высокого напряжения в крупные города. В этом случае усложнение эксплуатации оправдывается тем, что при применении глубокого ввода значительно снижаются потери в сетях и достигается экономия цветного металла.

В заключение необходимо выразить пожелание, чтобы кабельная промышленность расширила свою научно-исследовательскую базу путем развития заводских лабораторий и кабельных лабораторий в научно-исследовательских институтах. Эти лаборатории, работая в тесном контакте с энергосистемами, позволяют значительно увеличить надежность работы кабельного хозяйства нашей страны.

Для обсуждения и разрешения ряда важнейших вопросов производства и эксплуатации кабельных изделий и проводов необходимо создать широкую конференцию работников кабельной промышленности и эксплуатационных организаций.

Инж. В. А. ЛЯМИН и инж. С. А. БАЖЕНОВ
Московская кабельная сеть

Эксплуатация кабельных сетей и требования к электропромышленности

Доктор технических наук проф. С. М. Брагин справедливо отмечает в своей статье о техническом развитии кабельной промышленности исключительно большое значение для нашего народного хозяйства силовых кабелей низкого и среднего напряжения, потребность в которых очень велика.

Необходимо, безусловно, учитывать, что для изготовления кабелей идет остро-дефицитное сырье (медь, свинец, бумага, джут), и поэтому всякое изменение конструкции или внедрение заменителей, способствующее экономии указанных материалов, должно стимулироваться. С другой стороны, необходимо учитывать, что количество кабельных аварий и вызываемых ими простоев промышленности еще до сих пор значительно, и это дорого обходится народному хозяйству, иногда в несколько раз превышая стоимость кабеля вместе со стоимостью его прокладки. Интересно здесь будет, кстати, сказать, что прокладка даже в довоенное время обходилась в два-три раза дороже самого кабеля. Все это делает особо серьезными вопросы, предопределяющие конструктивные изменения кабелей и их развитие. Между тем, в кабельной промышленности, именно к силовым кабелям среднего и низкого напряжения (может быть потому, что сложилась известная «привычка» к этому массовому виду продукции) установилось несколько пренебрежительное отношение.

За последнее время конструктивные изменения силовых кабелей шли у нас главным образом по линии «отказов» от излишних запасов электрической и механической прочности путем уменьшения толщин (бумаги, свинцовой оболочки, брони), от верхнего джута и пр. Все эти изменения, вызываемые необходимостью экономии ценного стратегического сырья, на определенном этапе развития в большинстве случаев являлись правильными.

Однако, необходимо отметить, что в направлении внедрения новых качественных материалов или разработки новых конструкций, способствующих улучшению эксплуатации и кабелей и кабельных муфт нашей кабельной промышленности, почти ничего не сделано. В этом отношении статья С. М. Брагина, выдвинувшего целый ряд новых проблем, касающихся улучшения качества кабелей, является своевременной и полезной.

Статистика кабельных аварий и поврежденных кабелей при профилактических испытаниях показывает, что основными причинами кабельных аварий и повреждений, если не считать дефектов заводского изготовления и отдельных частных случаев в эксплуатации, являются: а) механические повреждения (смятия и сквозные), — около 40% всех повреждений непосредственно с кабелями, б) изломы кабельной изоляции при крутых изгибах, во время прокладок или

перекладок, в) коррозия химическая или блуждающими токами. Значительное количество аварий происходит с кабельными муфтами, — около 50% всех аварий с кабельными линиями.

Все эти виды повреждений, несмотря на ряд мероприятий организационного и технического характера, предпринимаемых эксплуатирующими организациями, повторяются из года в год (изменяясь лишь в количествах); игнорировать их при определении конструктивного развития кабелей никак нельзя.

С точки зрения механической прочности кабелей (может быть не столько в отношении сквозных пробоев, сколько в отношении смятий), интересным является поставленный автором вопрос о замене свинцовой оболочки кабеля алюминиевой. Последняя также повидимому обещает быть более устойчивой и в отношении коррозии. Вопрос о замене железной брони менее прочными органическими покрытиями (фибровыми лентами), как следует из вышеприведенных данных эксплуатации, противоречит требованиям безаварийной работы в наших условиях.

Работником кабельной промышленности и промышленности строительных материалов следовало бы комплексно проработать вопрос о целесообразности внедрения у нас, по примеру Америки, прокладок кабелей в дактах (блоках), для чего предусмотреть соответствующий тип канализации и кабеля, с учетом данных американской эксплуатации. Насколько известно, в Америке, кабели, прокладываемые в дактах, все же повреждаются от коррозии блуждающими токами и от изломов при протяжках. После опытной прокладки и эксплуатации нескольких таких линий и учета стоимости их монтажа и эксплуатации, можно было бы решить вопрос о массовом внедрении этого способа в наших условиях.

С той же точки зрения совершенно необдуманным шагом является выпуск нашей кабельной промышленностью для прокладки непосредственно в земле кабелей марки САД без брони с «усиленной» против коррозии изоляцией поверх свинца. Опыт прокладки этих кабелей в Москве показал явную непригодность этих кабелей в городских условиях для прокладки как в земле, так и в железных трубах. В результате чего дальнейшее внедрение этого кабеля в МКС Мосэнерго запрещено.

Интересным является поставленный автором вопрос об улучшении стойкости кабелей против коррозии путем применения комбинированной оболочки из резины и свинца.

К сожалению, автором ничего не сказано о путях улучшения кабельной изоляции при работе ее на излом, при крутых изгибах кабеля и в особенности при низких температурах, на что, как нам кажется должно быть обращено особое внимание при разработке новых конструкций кабеля.

Совершенно правильно и своевременно автором поднят вопрос об упрощении существующего способа монтажа кабельных муфт, сложность монтажа которых, в особенности соединительных, служит главной причиной их высокой аварийности в эксплуатации.

Помимо метода стиренизации, кратко описанного автором, следовало бы поставить вопрос об изучении и внедрении в практику метода «холодных заливок». В этом отношении интересную работу проводит в настоящее время ВЭИ совместно с Московской кабельной сетью. В Московской кабельной сети по способу ВЭИ залито несколько муфт в действующих 6 кВ линиях и имеется уже годичный опыт их эксплуатации. Помимо упрощения работы преимущество холодных заливок заключается в малом проценте усадки (около 1%). Компаунд холодной заливки состоит из двух жидкостей, которые при смешивании вступают в реакцию, образуя пластичное изоляционное вещество (массу). Состав, главными частями которого являются битум и трансформаторное масло, весьма дешев и недефицитен. Особенностью соединительных муфт, залитых по этому способу, является то, что пропитка кабеля, проникая вдоль жил в кабель, образует с частью заливки, вокруг них, в центральной части муфты, жидкую фазу, плотно охватываемую пластичной массой собственно заливки, при этом каких-либо пустот или раковин, не заполненных массой, жидкой или пластичной, совершенно не наблюдается.

Работы по изучению этого вида заливок и их улучшение в настоящее время продолжаются.

! Способ разработан руководителем лаборатории ВЭИ Н. И. Соколовым

В юбилейном комитете

12 января 1945 г. состоялось первое пленарное заседание Комитета, на котором был намечен ряд мероприятий по проведению 50-летия.

Торжественное заседание, посвященное 50-летию, состоится 7 мая 1945 г. Пятьдесят лет назад, 7 мая 1895 г. А. С. Попов сделал в Русском физико-химическом обществе доклад «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям». Здесь Александр Степанович впервые публично продемонстрировал свой грозоотметчик. Этот доклад А. С. Попов закончил историческими словами:

«В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его сможет быть применен к передаче сигналов на расстояние при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией».

Этот день является днем изобретения радио. Впервые в истории А. С. Попов продемонстрировал на докладе схему, достаточно чувствительную для приема отдаленных сигналов. Хотя эта схема и состояла из многих в отдельности известных элементов, но представляла собой оригинальную комбинацию их. А. С. Поповым были применены высокочувствительный когерер и созданная им приемная антенна, чтобы добиться повышения дальности действия аппаратуры.

На торжественном заседании 7 мая 1945 г. будет прочитан доклад «50 лет радио», в котором будет освещен весь исторический путь радиотехники от момента ее зарождения до наших дней.

К юбилейным дням приурочивается открытие Всесоюзной научно-технической конференции. Одно из пленарных заседаний конференции посвящается обзору развития основных разделов радиотехники от Попова до наших дней; другое заседание будет посвящено современному применению средств радио в народном хозяйстве, в промышленности и других отраслях; третье пленарное заседание заслушает доклады: «Радио в Отечественной войне», который сделает член комитета, маршал связи И. Т. Пересыпкин, «Радиосвязь и радиовещание в СССР» — зам. народного комиссара связи СССР А. Д. Фортушенко, «Радиопромышленность СССР».

В последующие дни будут работать секции конференции по вопросам: распространения радиоволн, передатчиков, радио-приема, антенн, электронных и ионных приборов, телевидения, ультракоротких, дециметровых и сантиметровых волн, нелинейной радиотехники, радио по проводам и электроакустики. На заключительном заседании конференция заслушает

резюмирующие секций и доклад, подводящий итоги работ конференции и намечающий перспективы на будущее. Продолжительность конференции намечена в 3—4 дня. Труды конференции будут изданы сборником.

Академия наук СССР готовится выпуск ко дню 50-летия юбилейных изданий. Первый том уже сдан в набор (см. о нем отдельное сообщение в настоящем номере). На втором томе «А. С. Попов и изобретение радио» в настоящее время идет работа. Главным редактором этого тома комитет утвердил члена-корреспондента АН СССР А. И. Берга. Во втором томе будут напечатаны исторические документы, которым будет предшествовать вступительная глава А. И. Берга. Третий том «50 лет радио» будет составлен и выпущен несколько позднее.

Юбилейная выставка, отображающая не только изобретение радио, но весь 50-летний путь развития радиотехники, будет открыта в Москве в Политехническом музее, где уже началась подготовительная работа.

В Ленинграде выставка откроется в восстанавливаемом Центральном музее связи, который реконструирует и расширяет имеющийся в музее кабинет А. С. Попова. Кроме того, выставки будут открыты в Военном музее связи (Москва) и в Военно-морском музее в Ленинграде.

Комитет наметил также серию публичных докладов, лекций и выступлений для широкой аудитории. Основных тем лекций две: «А. С. Попов и современная радиотехника» и «Радио в Отечественной войне». Лекции будут проводиться в Москве, в Ленинграде и в других городах. Непосредственное участие в организации таких лекций принимает лекционное бюро Комитета по делам высшей школы при СНК СССР.

На заседании комитета маршал связи И. Т. Пересыпкин доложил план юбилейных мероприятий по Красной Армии, а адмирал Л. М. Галлер — по Военно-Морскому Флоту.

Мероприятия по отдельному плану будет проводить Всесоюзный радиокomitee при СНК СССР, о чем докладывают на заседании комитета председатель ВРК тов. А. А. Пузир.

Комитет утвердил Ленинградскую группу в качестве филиала комитета. Председателем Ленинградского филиала комитета является заслуженный деятель науки и техники, член-корреспондент АН СССР, проф. М. А. Шателен.

В заключение пленум комитета утвердил рабочее бюро, осуществляющее работу в промежутки между пленарными заседаниями, оргбюро Всесоюзной научно-технической конференции, а также прессбюро.

От Фарадея до Попова

В Академии наук СССР подготовлен к печати сборник (около 40 печ. листов) первоисточников, характеризующих подготовительный этап в создании той научной базы, на которой возникло радио. Сборник составлен доктором физико-математических наук С. М. Рытовым под редакцией академика **Л. И. Мандельштама**, предпославшего сборнику большую и обстоятельную вводную статью.

Этот сборник явится первым томом трехтомника: «Радио и его изобретение», которым Академия наук СССР в ряду других юбилейных изданий отметит знаменательную дату в истории современной культуры — 50-летие со дня изобретения радио А. С. Поповым. Радио, как и вся электротехника, могло появиться только на определенном уровне развития физики, и серьезное изучение этой важнейшей области современной техники должно начаться с глубокого знакомства с теми изысканиями, которые расчистили почву изобретателям, создавшим современную радиотехнику.

Для составления этого тома была предпринята большая работа, были просмотрены и отобраны важнейшие, ставшие ныне классическими, сочинения по электричеству.

Сборник разбит на 6 разделов: I. Фарадей. Максвелл. Герц. II. Колебательный разряд. III. Волны вдоль проводов. IV. Когерер, униполярная проводимость, эффект Эдисона, V. Свободные волны. VI. Высказывания об опытах Герца и беспроводной связи.

Само название первого раздела показывает его значение. Он и по объему занимает более половины текста

сборника. Из сочинений Фарадея сюда вошли соответствующие выдержки из XI, XII, XIII, XIV и XIX серий его знаменитых «Экспериментальных исследований по электричеству». Кроме того помещены еще две другие работы Фарадея: «Мысли о лучевых колебаниях» (письмо Фарадея к своему другу Ричарду Филиппсу, редактору журнала «Philosophical Magazine») и «О физических линиях магнитной силы».

Максвелл представлен в сборнике шестью статьями: «О фарадеевских линиях силы», «О физических линиях силы», «Динамическая теория электромагнитного поля», «О действии на расстоянии», «Эфир» и выдержки из «Трактата об электричестве и магнетизме».

Из работ Герца в сборник вошли: «Исследования по распространению электрической силы» (вводный обзор), «О весьма быстрых электрических колебаниях», «Из работы и-ча В. Фон Бецольда», «Исследования электрических разрядов» (предварительное сообщение), «Об электродинамических волнах в воздухе и об их отражении», «Силы электрических колебаний, рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла», «О лучах электрической силы», «О соотношении между светом и электричеством».

Этот раздел снабжен целым рядом дополнений: Дж. Е. Эйри «Замечания по поводу статьи д-ра Фарадея о лучевых колебаниях»; В. Вебер и Р. Кольрауш «О количестве электричества, которое протекает при гальваническом токе через поперечное сечение цепи»; В. Томсон «Атмосферное электри-

ство» (отрывок из лекции в Королевском институте); речь проф. Г. Дж. Смиса в Британской ассоциации (отрывок); А. Пуанкаре «Электричество и оптика» (введение); Н. Умов «Уравнения движения энергии в телах»; Фитцджеральд «Об энергии, теряемой вследствие излучения переменными электрическими токами»; Дж. Г. Пойнтинг «О переносе энергии в электромагнитном поле».

Во втором разделе: «Колебательный разряд» помещены следующие статьи: Дж. Генри «Колебательный заряд»; Г. Гельмгольц «О сохранении силы» (отрывок); З. Томсон «О переходящих электрических токах»; П. Блатерн «Об индуцированном токе побочной батареи»; В. Федерсен «Материалы к познанию электрической искры»; К. Федерсен «Об электрическом волнообразном движении»; К. Федерсен «Об электрическом разряде лейденской банки»; А. Обербек «О подобном резонансу явлении при электрических колебаниях»; В. Бьеркнес «О затухании быстрых электрических колебаний».

Третий раздел: «Волны вдоль проводов» содержит статьи: И. Физо и Е. Гунель «Исследование скорости распространения электричества»; В. Сименс «Измерение скорости распространения электричества в подвешенных проводах»; О. Лодж «О теории громоотводов»; О. Лодж «Предохранение зданий от молний»; Э. Лехер «Исследование электрических резонансных явлений»; Р. Блондло «Экспериментальное определение скорости распространения электромагнитных волн»; Р. Блондло «О новом способе передачи электрических волн вдоль металлических проводов и о новом расположении приемника».

Раздел IV состоит из статей: П. С. Мункаф Розеншельд «Опыт над свойством твердых тел проводить электри-

чество»; Ф. Кальцески-Онести «Об электропроводности металлических опилок»; Э. Бранли «Изменения проводимости под различными электрическими воздействиями»; Э. Бранли «О проводимости не сплошных проводящих веществ»; Ф. Браун «О прохождении тока через сернистые металлы»; «Явление в лампе Эдисона»; В. Г. Прис «Об особом поведении ламп накаливания при сильном накале»; Дж. А. Флеминг «Об электрическом разряде между электродами при различных температурах в воздухе и в высоком вакууме».

В разделе «Свободные волны» помещены статьи: Э. Томсон «Передача энергии без проводов»; О. Лодж и Дж. Говард «Об электрическом излучении и его концентрации с помощью линз»; Л. Больцман «Об опытах Герца»; А. Риги, «Опыты Герца с колебаниями малых длин волн»; П. Н. Лебедев «О двойном преломлении лучей электрической силы»; Э. Резефорд «Магнитный детектор электрических волн и некоторые случаи его применения».

Последний, VI раздел состоит из отрывков и выдержек видных научных авторитетов 90-х гг. об опытах Герца и о возможности беспроводной связи. Сюда вошли статьи: О. Д. Хвольсон «Опыты Герца и их значение», В. Крукс «Некоторые возможности применения электричества», Н. Тесла «О колебательных явлениях при высокой частоте», О. Лодж «Творение Герца».

Подготовленный Академией наук сборник преследует прежде всего историко-научные цели. Но он вместе с тем будет восприниматься подготовленным читателем — электротехником, физиком, радиотехником — как увлекательная повесть о гигантском труде большого количества ученых — исследователей, чьими усилиями был воздвигнут фундамент, для изобретения радио.

О некоторых статьях и заметках изобретателя радио А. С. Попова

Александр Степанович Попов оставил мало печатных трудов. Он был постоянно увлечен экспериментальной работой, был перегружен педагогическими занятиями и не зафиксировал в письменной форме несомненно многих ценных достижений его напряженной творческой деятельности.

Биографы А. С. Попова отмечают, что его ученики не раз говорили о необходимости опубликовывать сведения о результатах тех или иных опытов. Александр Степанович соглашался, но чаще всего ограничивался устными сообщениями в научных обществах. Ученики А. С. Попова записывали его лекции и размножали их литографским способом. Таких курсов, читанных в Минном офицерском классе в Кронштадте и в Электротехническом институте, вышло несколько. Эти записи должны несомненно содержать много интересных данных. На своих лекциях А. С. Попов не мог не делиться со слушателями мыслями и достижениями своей творческой работы и несомненно знакомил их с результатами своих смелых опытов, но судьба некоторых из этих литографированных курсов крайне печальна. В настоящее время упорные их поиски в ленинградских библиотеках остались безрезультатными. Возможно, что отдельные экземпляры остались все же в Кронштадте или у слушателей А. С. Попова и естественно, что хранить эти, повидному, уникальные книги, следует особенно тщательно.

В связи с исполняющимся в 1945 г. пятидесятилетием открытия радио А. С. Поповым Комиссия по истории физико-математических наук при Отделении физико-математических наук Академии наук СССР обратилась в Библиотеку Академии наук СССР с просьбой составить возможно полный перечень изданных трудов А. С. Попова и литературы о нем.

При подготовке этой библиографии сотрудники библиотеки обратились прежде всего к напечатанным спискам трудов А. С. Попова. Эти списки публиковались дважды: в «Журнале Физико-химического общества» (1906, т. XXXVIII, часть физическая, отд. I, вып. I, стр. 12—13) и в книге С. Кудрявцева (Скайфа) «Рождение радио», изданной к сорокалетию изобретения беспроводного телеграфа. Эти два списка почти что идентичны по своему содержанию. Во втором из них учтено пятнадцать оригинальных трудов А. С. Попова, семь изданий, составленных его учениками (записи лекций и т. п.), и три книги, вышедшие под редакцией Александра Степановича. Для проверки полноты этих списков библиотекой был начат просмотр ряда специальных журналов и серий. При этом уже на первой стадии работы удалось убедиться, что существующие списки могут быть значительно дополнены.

Отметим несколько забытых работ А. С. Попова. В «Про-

токолах 4 совещательного съезда железнодорожных электротехников», происходившего в Одессе в 1897 г., помещен доклад А. С. Попова «О телеграфировании без проводов». В «Известиях Минного офицерского класса», почти что не сохранившихся в полных комплектах, обнаружены следующие материалы: «Об индукционных весах Юза» (1884, вып. 13), «Программа повторительных чтений по дифференциальному и интегральному исчислениям в Минном офицерском классе» (1885, вып. 15). Содержание ряда сообщений по вопросам электричества помещено в журнале «Русского физико-химического общества», как например «О волномерах», служащих для измерения длины электромагнитных волн или для определения периода электрических колебаний (1905, т. XXXVII). Изложение сообщения «О получении с помощью резонатора Удена токов большой частоты» помещено в журнале «Всемирное техническое обозрение» (1901, № 7). В книге адмирала Макарова «Ермак во льдах» помещено письмо А. С. Попова с описанием работы его аппаратов во время работ по спасению осевшего во льдах броненосца «Адмирал Апраксин».

Особое место в выступлениях А. С. Попова в печати занимают его статьи и письма, помещенные в газетке «Новое время», в «Петербургской газете» и в Кронштадской газете «Котлин». В них он говорит об аппаратах Г. Маркони, обращает внимание Морского ведомства на значение беспроводного телеграфа и подтверждает свой приоритет в качестве изобретателя радио.

Несомненный интерес представляют также краткие упоминания в печати о выступлениях А. С. Попова с докладами и лекциями. Библиотека Академии наук СССР в составляемой ею библиографии предполагает собрать эти упоминания и расположить их по датам выступлений А. С. Попова. Этот раздел библиографии, а также следующий, состоящий из указаний об участии Александра Степановича в научной и общественной жизни (в работе съездов, комиссий, обществ и т. п.), даст материал для характеристики и разносторонней работы ученого, отнюдь не замкнувшегося в рамках своего кабинета, а постоянно применявшего свои достижения в практической жизни.

Надо полагать, что материалы библиографии, составляемой библиотекой Академии наук СССР, помогут всестороннему освещению жизни и деятельности и освоению литературного наследия одного из крупнейших русских физиков, изобретателя радио, Александра Степановича Попова.

А. М. Лукомская и К. И. Шафрановский

Библиотека Академии наук СССР

А. С. Попов на Колумбийской выставке в 1893 г.

Когда летом 1893 г. в Чикаго открылась Всемирная выставка, морское ведомство решило послать в Америку А. С. Попова. На докладе главного командира кронштадтского порта вице-адмирала Казнакова управляющий морским министерством написал резолюцию: «В Чикаго на выставку командировать коллежского ассессора Попова».

На Всемирной Колумбийской выставке¹ в Чикаго были представлены важнейшие отрасли электротехники — электрическое освещение, электротяга и передача на расстоянии электрической энергии. Здесь демонстрировались самые разнообразные генераторы тока, в том числе динамо Эдисона. Здесь же всеобщее любопытство посетителей вызывали электрические агрегаты Марселя Депре.

Попов приехал в Америку 7 июня 1893 г. и почти сразу же выехал из Нью-Йорка в Чикаго. Ему хотелось поскорее увидеть выставку, осмотреть экспонаты ее электротехнического отдела.

«...Проезд через океан,—писал он жене,—я совершил молочною, на зависть многим моим спутникам. Я совсем не пострадал от морской болезни, если не считать некоторого неприятного ощущения в первый вечер от качки, на другой день пути... Так как ни о каком утомлении у меня нет и речи, то я рассчитываю завтра же двинуться в Чикаго. Нет ни малейшей охоты оставаться в Нью-Йорке и где бы то ни было. Я поставил себе целью, как можно скорее, хотя и не торопясь, исполнить свое дело и сколько возможно увидеть все полнее...»:

Целые дни проводил Александр Степанович Попов в павильонах выставки. Он подолгу осматривал новые электрические приборы, аппараты и машины. Так, его очень, например, интересовали экспонаты изобретений Феррариса, Тесла и Доливо-Добровольского, которым на выставке было отведено особое место.

Здесь, на Колумбийской выставке, произошла встреча двух виднейших русских электротехников А. С. Попова и М. О. Доливо-Добровольского. Как известно, деятельность Доливо-Добровольского, который еще в студенческие годы вынужден был эмигрировать из царской России, протекала за границей.

Жизнь в Америке, казалось, должна была захватить Попова: новая обстановка, люди, впечатления. Да и пробыл то здесь он совсем еще немного. Но Александр Степанович начинал уже тосковать. 16 июня он пишет домой:

«...Живу день за днем: то чувствую подъем духа, то унываю и скучаю. Обыкновенно на выставке увлекаюсь делом, а дома вечером и ночью одна тоска. С одной стороны, меня тянет поскорее на родину, с другой — все-таки хочется извлечь все, что можно, из поездки столь дальней и трудной...»:

Александр Степанович Попов не ограничивался посещением выставки, а периодически ездил также на заводы, в научные лаборатории и учебные заведения.

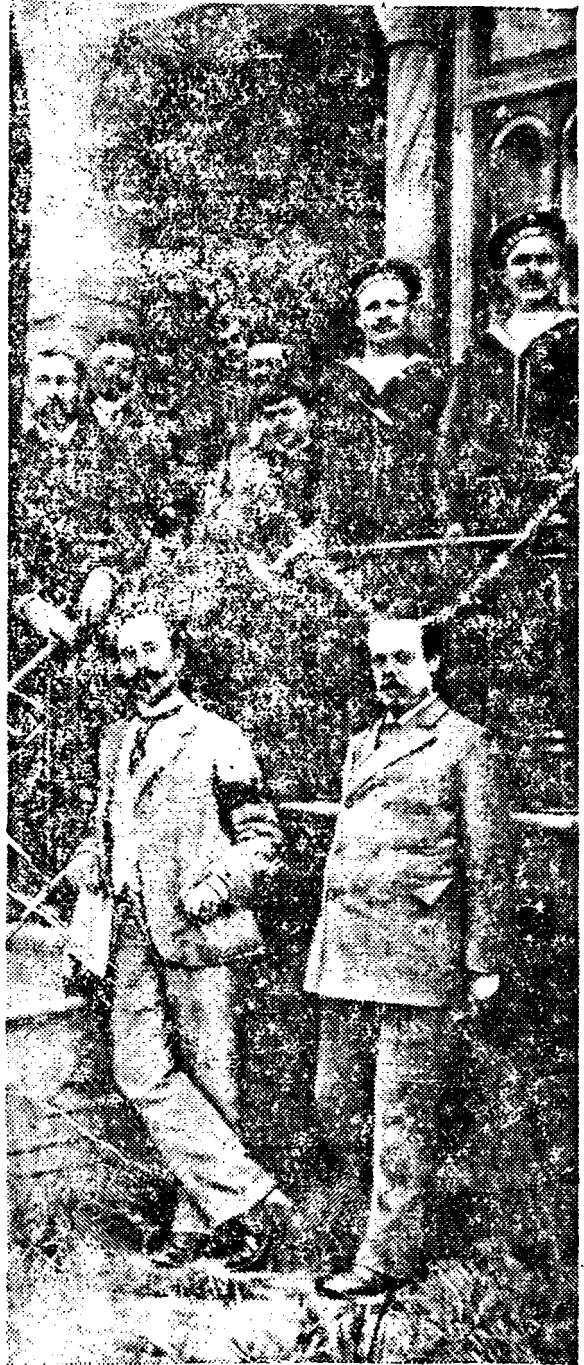
«В Чикаго,—писал он жене 21 июня 1893 г.,—с сегодняшнего дня я останусь еще дней 10 или 8, смотря по путешествию, которое изберу отсюда в Нью-Йорк... В Нью-Йорке почти наверное попаду в мастерские Эдисона. Может быть съезжу в Филадельфию, где также очень большой завод электротехнической компании, сегодня иду в университет и электротехнический институт...».

4 июля 1893 г. Александр Степанович возвратился из Америки. Он охотно стал рассказывать о всех новостях и делиться впечатлениями.

«... Из того, что он говорил по возвращении,—вспоминает проф. В. К. Лебединский,—мне запомнилось его особенное увлечение нашумевшим тогда телеаутографом Грея². Прибор Грея принадлежал к разряду так называемых автографических телеграфов, воспроизводивших точную копию передаваемого рисунка или почерка.

Увлечение Попова телеаутографом не было случайным. Давно затаенная мысль о телеграфировании без проводов попрежнему не оставляли его в покое. Особенно серьезно стал он думать об этом после поездки в Америку.

В 1893 г. в Америке уже делались попытки передачи сигналов на расстоянии. Известный электротехник Тесла «на станции отправления поднял на высокой мачте изолированный проводник, снабженный на верхнем конце некоторою емкостью в виде металлического листа; нижний конец этой проволоки соединялся с полюсом трансформатора высокого напряжения



А. С. Попов (справа) и М. О. Доливо-Добровольский в Чикаго на Колумбийской выставке 1893 г.

и большой частоты. Другой полюс трансформатора был присоединен к земле. Разряды трансформатора были слышны на станции приема в телефон, включенный в землю и высоко поднятый провод...»³.

Вопросом телеграфирования без проводов занимался и английский инженер Вильям Прис. На всемирном электротехническом конгрессе, который состоялся одновременно с выставкой в Чикаго, Прис сделал доклад о некоторых достигнутых в этом отношении результатах с помощью электромагнитной индукции.

Но все это не могло удовлетворить русского ученого. Александр Степанович знал, с каким рвением в крупнейших лабораториях мира физики производят опыты с электрическими лучами Герца. Этой области исследований и практическому применению электромагнитных волн для целей связи Попов придавал первостепенное значение и этой задаче он посвятил все дальнейшие годы.

Г. И. Головин

¹ Выставка была названа «Колумбийской», так как была приурочена к празднованию 400-летия со дня открытия Колумбом Америки в 1492 г.; ² «Электричество» № 4, 1925.

³ А. С. Попов. Телеграфирование без проводов, 1899.



Л. И. МАНДЕЛЬШТАМ
1879—1944

27 ноября 1944 г. после тяжелой продолжительной болезни скончался академик Л. И. Мандельштам, выдающийся физик, один из крупнейших радиофизиков и основоположников научной радиотехники, лауреат премий Менделеева, Ленина и Сталина. Ниже публикуются выступления академиков С. И. Вавилова и Н. Д. Папалекси, посвященные памяти Л. И. Мандельштама.

Памяти академика Л. И. Мандельштама

Из выступления академика С. И. ВАВИЛОВА

Леонид Исаякович Мандельштам прожил замечательную жизнь, которая была подвигом, победной борьбой за новые пути для следующих поколений. Такие жизни не даром прожиты, они осуществляют неуклонное развитие человеческого гения.

Природа одарила Л. И. совсем необычным, прозорливым, тонким умом, сразу замечавшим и понимавшим то главное, мимо чего равнодушно проходило большинство. Так была понята флуктуационная сущность рассеяния света, так появилась идея об изменении спектра при рассеянии света, ставшая основой открытия комбинационного рассеяния. Так возникли бесчисленные теоретические и технические догадки в области радио.

Этой тонкостью, несхожестью с общепринятым, отличался анализ Л. И. всегда — на лекциях, на семинарах, в специальных работах. И вместе с тем Л. И. не стремился блистать оригинальностью, он вместе с Рэлеем и Лоренцом оставался классиком до последней возможности, уступая только бесспорной неизбежности.

Поразительна сдержанность суждений Л. И., их скромность и осторожность. Эти качества во многом определили совершенство его выступлений и статей. Научное наследство Л. И. останется в основной его части примером прочности подлинных научных истин.

Вместе с тем Л. И. Мандельштам никогда не был узким специалистом, не замечавшим и не хотевшим замечать окру-

жающего. Широта его интересов в области науки и культуры вообще была удивительной. Он был тонким знатком не только многих сторон истории науки, но истории в широком смысле. Чувство историзма и развития было вообще глубоко свойственно всему мировоззрению Л. И. Он глубоко любил искусство, литературу и музыку, обнаруживая и здесь своеобразие своей натуры.

Наряду с этим Л. И. обладал еще одним редким человеческим качеством, непреклонной моралью, честностью, принципиальностью и безграничной добротой. Моральные черты с особой ясностью отразились в том настоящем, глубоком советском патриотизме, который Л. И. проявил в тревожные годы первых лет Отечественной войны и последовавшую за этим эпоху побед нашего морально правого дела против аморального, обезумевшего врага.

Глубоко скорбя о потере Л. И. Мандельштама, мы должны помнить о ценности и плодотворности прожитой им жизни, об оставшемся блистательном научном наследстве Л. И., об его идеях, которые еще надолго останутся руководящими для многих советских ученых, об его учениках, которые передадут идеи и стиль учителя новым поколениям.

Славное и доброе имя Л. И. Мандельштама не умрет в советской стране и на всем свете до тех пор, пока будет жив хоть один физик с пониманием истинного, большого и прекрасного в науке.

Мир праху замечательного ученого, учителя и человека.

О деятельности академика Л. И. Мандельштама в области радиоп физики и радиотехники¹

Академик Н. Д. ПАПАЛЕКСИ

Со смертью действительного члена Академии наук СССР Леонида Исааковича Мандельштама, имя которого может быть поставлено в ряд с крупнейшими физиками современности, не только мировая физика лишилась одного из виднейших своих представителей, но и радиоп физика и радиотехника понесли исключительно тяжелую утрату.

С именем Леонида Исааковича связан ряд фундаментальных открытий в области физики, обусловивших коренные сдвиги в науке, а также возникновение новых областей техники. Открытие явления комбинационного рассеяния света, теория микроскопа, исследование флукуационного рассеяния света, теория нелинейных колебаний, открытие новых видов резонанса, обобщение и углубление понятия резонанса, исследование распространения радиоволн, фундаментальные работы в области радиотехники, новая область техники—радиогеодезия, новый вид генерации электромагнитной энергии—параметрические машины.

Один из пионеров на заре развития радиотелеграфии, Л. И. вместе с тем является одним из основоположников научной радиотехники.

Молодому поколению радиофизиков и радиотехников, выросших в эру радиолампы и обусловленную ее появлением новую эпоху развития радио, я думаю, совершенно незнакомо то весьма существенное участие, которое принимал Л. И. в годы младенчества и отрочества радио. Вряд ли я ошибусь, если скажу, что и радиофизикам старшего поколения неизвестны многие ранние работы Л. И. Мандельштама, явившиеся ценным вкладом в развитие радио.

Незнакомы, вероятно, также и многие работы Л. И. более последнего и самого последнего времени. Исключительная скромность Л. И., а бы сказал, природное отвращение к саморекламе и доходившая до болезненности требовательность к качеству своих публикаций, в значительной мере являются причиной этому.

Л. И. был прежде всего замечательный физик, физик—мыслитель, в котором на редкость гармонично сочетался исключительный дар глубокого логического анализа с изумительно тонким экспериментальным чутьем. В то же время Л. И. обладал поразительным пониманием практической стороны науки и даром замечательного изобретателя. Все эти качества Л. И. определили характер его творчества в области радио и обусловили его выдающиеся достижения.

Работы Л. И. в области радиоп физики и радиотехники начались в 1900 г. и продолжались до самого конца его жизни. Лишь сравнительно небольшая по числу (30), но основная по научной значимости часть нашла свое выражение в научных статьях или докладах. Гораздо большая часть заключается в многочисленных (около 60) патентах и авторских свидетельствах, а многие весьма плодотворные и глубокие мысли и предложения выражены в работах его сотрудников и учеников.

Работы Л. И. касаются самых разнообразных разделов радиоп физики и радиотехники. Эти работы могут быть несколько условно, но, как мне кажется, целесообразно разделены по следующим группам:

1. Методика высокочастотных измерений и высокочастотные измерительные приборы.
2. Теория антенн и радиоустройств.
3. Вопросы генерации и детектирования.
4. Учение о резонансе, охватывающее собой уточнение и расширение понятия резонанса, приведшее к эволюции понятия резонанса и к открытию новых видов резонанса.
5. Учение о модуляции. Новые методы радиотелефонной и радиотелеграфной модуляции.
6. Расширение понятий регенерации и обратной связи (параметрическая регенерация, активная, реактивная обратная связь).
7. Общая теория колебаний. Развитие теории нелинейных колебаний. Новые виды возбуждения колебаний.
8. Вопросы распространения радиоволн. Создание новой интерференционной методики исследования распространения радиоволн, которая позволила измерить скорость его в действительных условиях с наибольшей до сих пор известной

точностью, а также сделала возможным развитие новой отрасли радиотехники—радиогеодезии.

Уже этот список основных направленных работ Л. И. в радиоп физике и радиотехнике достаточно ярко свидетельствует о необычайной широте научного диапазона Л. И. в этих областях. Необходимо особо подчеркнуть, что, как правило, все эти достижения не рождались внезапно, как *deus in machina*, а являлись результатом глубокого анализа физической сущности явлений и широкого обобщения их. Я могу здесь подробно останавливаться на изложении хотя главных из этих работ. Мне, на долю которого выпало большее счастье в течение более сорока лет работать совместно с Л. И. в области колебаний и радио, хотелось бы затронуть лишь некоторые, мало известные ранние работы Л. И., также более поздние, которые не были опубликованы и являлись предметом патентов и авторских свидетельств.

Следует кратко напомнить, каково было состояние радиотелеграфии к началу научной деятельности Л. И., т. е. к 1900 г. После первых опытов, проведенных в 1895—1896 гг., положивших начало возникновению радиотелеграфии, развитие радио первое время шло чисто эмпирически. Физическая сторона процессов в радиопередатчике и радиоприемнике была в то время еще совершенно неясна, что сильно затрудняло и на первых порах почти полностью тормозило развитие радио. Достаточно сказать, что у пионеров этой новой области вначале даже не было никаких представлений о длине волны, излучавшейся простым передатчиком, и поэтому и они считали, что имеют дело с волнами Герца, какие излучаются осциллятором Риги, образованными шариками искрового промежутка. Антенна же по их представлению служила лишь для подводки герцевых волн в пространство.

Для физиков ясно, конечно, было, что необходимым условием обеспечения дальнейшего прогресса в радиотелеграфии и первоочередной задачей является создание методов высокочастотных измерений и прежде всего измерения длин волн. Напомню, что в то время кроме искромера и грубого воздушного электрического термометра Рисса никаких высокочастотных измерительных приборов не существовало.

Первая работа Л. И., представленная им в качестве докторской диссертации, и была посвящена разработке методики измерения и контроля частоты электрических колебаний, основанной на зависимости полного электрического сопротивления от частоты. Уже в этой первой работе Л. И. проявились свойственные ему качества теоретика, экспериментатора и изобретателя. Л. И. оригинально подошел к решению этой задачи, применив дифференциальную схему и нулевой метод, причем в качестве индикаторным был выбран им самим сконструированный двойной термометр Рисса, что позволило устранить ряд ошибок. Л. И. дал теорию этого метода и экспериментально показал ее полную применимость.

Существенным этапом в развитии радио, значение которого полностью признается и отмечается и зарубежной литературой по истории радио, явилось первое изобретение Л. И., так называемая «Слабая связь», сделанное совместно с Г. Брандесом. В то время была введена сложная схема Брауна, идея которой, как известно, заключалась в разделении функций генерации и излучения электрических колебаний, осуществляемом применением как в передатчике, так и в приемнике связанного с антенной замкнутого колебательного контура. Для повышения эффективности радиоустройства по сложной схеме тогда стремились сделать связь контура с антенной как можно сильнее. Л. И., участвовавший в 1902 г. в испытаниях на Балтике этих новых радиоустройств, был неудовлетворен полученными результатами, так как ему было ясно, что принципиально эти устройства могут дать гораздо больше. В результате проведенного им теоретического анализа Л. И. пришел к совершенно парадоксальному для того времени выводу, что не усиление, а наоборот ослабление связи должно привести к улучшению приема и одновременно к повышению его селективности, что и подтвердили опыты.

Уже первые работы в области радио и первое его изобретение «Слабая связь», вошедшие немедленно в практику, доставили Л. И. широкую известность в кругах специалистов, а своими последующими теоретическими работами он

¹ Из сообщения акад. Н. Д. Папалекси на заседании Всесоюзного научного совета по радиоп физике и радиотехнике 26 декабря 1944 г., посвященном памяти акад. Л. И. Мандельштама.

Он скоро приобрел заслуженный авторитет в области новой радиотехники. Из этих работ я хотел бы упомянуть теорию сложного передатчика, в которой

1903 г. он выяснил существенный для того времени, но тогда совершенно еще неясный, вопрос о наимыгоднейшем месте связи антенны с колебательным контуром, а также почил понятие коэффициента связи в этом случае и роль заземления. В своей полемике с Флемингом в 1907 г. Л. И. выяснил физическую причину направленного действия согнутой антенны Маркони. С именем Л. И. связана методика получения тождественных затухающих колебаний с любой заданной разностью фаз, которая легла в основу первых опытов направленной радиотелеграфии с помощью интерференции адисволн в 1904—1905 гг.

Чрезвычайно много сделал Л. И. в высокочастотной измерительной технике: создание в 1909 г. нового, гораздо более чувствительного, чем метод Бьеркнеса, метода измерения частоты и затухания электрических колебаний и нового высокочувствительного прибора—индукционного динамометра, а также (в 1911 г.) ряда приборов, прямо показывающих частоту, затухание, емкость, самоиндукцию и др. Следует особо подчеркнуть активное участие Л. И. (в 1913 г.) в создании и осуществлении первого метода абсолютного измерения силы поля с помощью рамки. Особо важное принципиальное значение имеет сформулированная Л. И. в 1914 г. впервые теорема взаимности в радиотелеграфии для точечных источников излучения. В 1916—1917 гг. уже в Петрограде Л. И. был указан первый абсолютный метод градуировки волномеров.

Особый размах и глубину приобрели исследования Л. И. в этой области после Великой Октябрьской социалистической революции—сюда относится развитие методов и разработка приборов для измерения глубины модуляции, для определения мощности ламповых передатчиков, и, наконец, создание нового радиоинтерференционного метода измерения скорости распространения радиоволн и расстояний.

Радиотехника обязана Л. И. новыми видами радиотелеграфной и радиотелефонной, так называемой параметрической модуляции, примененной между прочим на первой построенной в 1925 г. нашими инженерами в Тегеране мощной радиостанции; высокоселективными приемными устройствами с кварцем, примененными в Бутовском радиоприемном центре; эффективными схемами стабилизации частоты и многим другим.

Однако наиболее фундаментальными и научно-важным достижением Л. И. является развитие теории колебаний и, в частности, теории нелинейных колебаний. Выражаясь образно, колебания пронизывают все многообразное научное творчество Л. И. и являются как бы его лейт-мотивом. При развитии теории нелинейных колебаний Л. И. руководился стремлением найти не только и не столько подходящий математический аппарат для количественного решения конкретных вопросов, выдвигаемых радио и другими областями физики, сколько отыскать физически возможно более адекватное и математически строгое выражение для колебательных процессов в нелинейных системах, в общем смысле слова и особенно для автоколебаний. В знаменитых работах Пуанкаре и Ляпунова, относящихся к небесной механике, такой аппарат в скрытом виде уже имелся. На основе его в работах связанной с именем Л. И. нелиней-

ной школы и была развита теория нелинейных колебаний. Эта теория привела к новым видам резонанса, к открытию новых способов возбуждения колебаний (автопараметрическое, гетеропараметрическое, асинхронное), а также к чрезвычайно важному углублению и обобщению самого понятия резонанса. Важным практическим выводом этой теории явились также параметрические машины.

Следует упомянуть, что доклады об этих работах были сделаны на Международной конференции о нелинейных колебаниях в Париже в 1933 г., а подробный доклад был представлен Конгрессу международного научного радиофизического союза (IRSI) в Лондоне в сентябре 1934 г.

Исключительно ценный вклад внес Л. И. в учение о модуляции, в котором он с исчерпывающей ясностью осветил и углубил понятие модуляции. Может быть уместно здесь заметить, что уже в 1908 г. у Л. И. была полная ясность в вопросе о модуляции и он в своих лекциях весьма наглядными опытами демонстрировал спектр колебания, модулированного по амплитуде.

В моем кратком выступлении я лишен возможности остановиться даже на отдельных глубоких исследованиях Л. И., но уже из того немногого, что я сказал, вполне ясна фундаментальность и огромная ценность работ Л. И. как для научной, так и для практической радиотехники. Сейчас еще даже трудно полностью оценить все значение работ Л. И. и еще рано подводить итоги его выдающимся достижениям. Многие щедро рассеянные им весьма плодотворные идеи еще долго будут приносить ценные плоды для науки и техники. С большой горестью мы ощущаем огромную утрату, понесенную радиофизикой со смертью этого исключительного ученого, который ушел от нас преждевременно, полный творческих сил и глубоких идей.

Несмотря на тяжелую болезнь, омрачившую последние годы его жизни, Л. И. до самого конца не переставал очень много работать, а также уделял очень много времени молодежи. В самое последнее время Л. И. взял на себя тяжелый труд по подготовке материалов для сборника «Из предистории радио», который будет издан в связи с ознаменованнием 50-летия изобретения радио, и написал к нему замечательное предисловие. Эта самая последняя работа Л. И., как и первая его научная работа, посвящена вопросам радио, интерес к которому оставался у Л. И.: живым всю его жизнь и в развитии которого вообще и в нашей стране в особенности он сыграл столь выдающуюся роль.

Одним из организаторов и первым председателем нашего Радиосовета, Л. И. Манделъштам, хотя по состоянию своего здоровья и редко участвовал в наших заседаниях, очень много сделал для его организации, направлял его деятельность в первые, самые трудные годы его существования и внимательно следил за его развитием.

Образ Л. И., как ученого и мыслителя, неотделим от Л. И., как человека исключительных душевных качеств. На редкость скромный, высоко принципиальный и высокогуманный, Л. И. относился к людям с исключительной доброжелательностью, деликатностью и вниманием и вызывал во всех знавших его особое уважение и любовь. Л. И. был не только замечательным ученым и исследователем, но, по прекрасному образному выражению глубоко почитаемого всеми нами академика А. Н. Крылова, он, как человек, был праведник.

Буквенные обозначения общетехнических и основных электротехнических величин

Всесоюзный комитет стандартов при СНК СССР в 1942 г. утвердил два стандарта буквенных обозначений. Один из них — ГОСТ 1493-42 — охватывает величины, которые могут быть отнесены к числу общетехнических (за исключением величин из области электротехники).

Второй стандарт — ГОСТ 1494-42 — касается основных величин, относящихся к области электротехники.

Оба эти стандарта составлены на базе проектов международных единых буквенных обозначений, к моменту возникновения мировой войны в основном согласованных между национальными комитетами стандартизации и другими учреждениями ряда стран.

Как ГОСТ 1493-42, так и ГОСТ 1494-42 утверждены в качестве рекомендуемых для применения в учебной и справочной технической литературе, в промышленной документации, в практике преподавания и т. д.

Рекомендуемые буквенные обозначения в ГОСТ 1493-42 размещены в двух графах: «Основные» и «Запасные». В первой графе помещены обозначения, которые должны применяться преимущественно. Применение запасных обозначений допускается лишь в тех случаях, когда соответствующее основное обозначение использовано уже для другой величины.

В качестве запасных обозначений латинского алфавита могут применяться строчные буквы вместо указанных в стандарте прописных и соответственно прописные вместо строчных, если такая замена не может вызвать недоразумения.

Аналогичное размещение буквенных обозначений предусматривает ГОСТ 1494-42. В примечаниях к этому стандарту кроме вышеприведенных разъяснений и допущений указано также следующее:

«Мгновенные значения электродвижущей силы, напряжения тока и мощности обозначаются соответствующими строчными буквами: *e*, *u*, *i*, *p*. Действующие (эффективные) значения электродвижущей силы, напряжения и тока, а также среднее значение мощности обозначаются соответствующими прописными буквами: *E*, *U*, *I*, *P*».

Ввиду большого значения установления единых буквенных обозначений и в целях более широкого ознакомления общественности с рекомендуемыми ГОСТ обозначениями, редакция журнала «Электричество» сочла необходимым опубликовать эти обозначения.

Редакция просит читателей присылать замечания по поводу рекомендуемых обозначений, чтобы эти замечания могли быть учтены при предполагаемом в 1945 г. пересмотре ГОСТ.

Основные электротехнические величины

№ по пор.	Наименование величин	Обозначения		№ по пор.	Наименование величин	Обозначения	
		Основные	Запасные			Основные	Запасные
1	Вектор Пойнтинга (мощность на единицу поверхности)	<i>S</i>		28	Потенциал векторный	<i>A</i>	
2	Восприимчивость магнитная и электрическая	<i>χ</i>		29	Потенциал электрический	φ	
3	Емкость электрическая	<i>C</i>		30	Поток электрического смещения; поток электрической индукции	Ψ	Ψ
4	Заряд; количество электричества	<i>q</i>		31	Поток магнитный	Φ	
5	Заряд электрона	<i>e</i>		32	Проводимость активная	<i>g</i>	
6	Индуктивность; коэффициент самоиндукции	<i>L</i>		33	Проводимость полная	<i>y</i>	
7	Индуктивность взаимная; коэффициент взаимной индукции	<i>M</i>	$L_{i,k}$ <i>i, k</i> — текущие числа	34	Проводимость полная (комплексное выражение)	$y = g - jb$	
8	Индукция магнитная	<i>B</i>		35	Проводимость магнитная	<i>G</i>	
9	Коэффициент затухания (во времени)	δ		36	Проводимость реактивная	<i>b</i>	
10	Коэффициент рассеяния (магнитного)	σ		37	Проводимость удельная	γ	
11	Коэффициент связи	<i>k</i>		38	Проницаемость диэлектрическая; постоянная диэлектрическая	ϵ	
12	Коэффициент электрического сопротивления (температурный)	<i>a</i>		39	Проницаемость магнитная	μ	
13	Масса магнитная	<i>m</i>		40	Разность потенциалов	<i>u</i>	<i>e</i>
14	Мощность активная	<i>P</i>		41	Сдвиг по фазе между током и напряжением; разность фаз напряжения и тока	φ	
15	Мощность кажущаяся	<i>S</i>		42	Сила магнитодвижущая	<i>F</i>	
16	Мощность реактивная	<i>Q</i>		43	Сила тока; ток	<i>i</i>	
17	Намагниченность; интенсивность намагничивания	<i>J</i>		44	Сила электродвижущая	<i>e</i>	<i>u</i>
18	Напряжение электрическое	<i>u</i>	<i>e</i>	45	Смещение электрическое; электрическая индукция	<i>D</i>	
19	Напряженность электрического поля (электрическая сила)	<i>E</i>	<i>K</i>	46	Сопротивление активное	<i>r</i>	
20	Напряженность магнитного поля	<i>H</i>		47	Сопротивление магнитное	<i>R</i>	
21	Плотность заряда линейная	τ		48	Сопротивление полное	<i>z</i>	
22	Плотность заряда объемная	ρ		49	Сопротивление полное (комплексное выражение)	$z = r + jx$	
23	Плотность заряда поверхностная	σ		50	Сопротивление реактивное	<i>x</i>	
24	Поляризация	<i>P</i>		51	Сопротивление удельное	ρ	
25	Постоянная распространения волны	$\gamma = ja + \beta$		52	Угол диэлектрических потерь	δ	
26	Постоянная сдвига фазы	α		53	Фаза начальная	ψ	φ
27	Постоянная затухания	β		54	Частота	<i>f</i>	ν
				55	Частота угловая	ω	
				56	Число витков обмотки	w	<i>n</i>
				57	Число фаз	<i>m</i>	

Общетехнические величины

№ по порядку	Наименование величин	Обозначения		№ по порядку	Наименование величин	Обозначения	
		Основные	Запасные			Основные	Запасные
1	Валентность	n		34	Напряжение касательное	τ	
2	Вес	G		35	Напряжение нормальное	ν	
		С индексом, если необходимо оговорить среду		36	Объем	V	
3	Вес атомный	A		37	Освещенность	E	
4	Вес молекулярный	M		38	Период	T	
5	Вес относительный	d	γ	39	Плотность	ρ	
6	Вес удельный; объемный	γ		40	Площадь	F	S
		С индексом в случае необходимости		41	Постоянная времени	τ	
7	Время	t	τ	42	Постоянная газовая	R	
8	Высота; глубина	h		43	Постоянная Планка	h	
9	Давление $\frac{P}{F}$	p		44	Поток свеговой	Φ	
10	Диаметр	d		45	Поток тепловой	Φ_s	
11	Длина	l		46	Путь	s	l
12	Длина волны	λ		47	Работа	A	W, L
13	Количество света	Q		48	Радиус	r	
14	Количество теплоты	Q		49	Расстояние фокусное	f	
15	Коэффициент вязкости динамический	μ	η	50	Сила	P, F	Q, R
16	Коэффициент вязкости кинематический	ν		51	Сила света	I	
17	Коэффициент линейного расширения	α		52	Скорость линейная	v	ω, u
18	Коэффициент объемного расширения	β		53	Скорость света	c	
19	Коэффициент полезного действия	γ	η	54	Скорость угловая	ω	
20	Коэффициент преломления	n		55	Температура	t или t°	θ
21	Коэффициент теплоотдачи	α		56	Температура абсолютная	T или T°	Θ
22	Коэффициент теплопередачи	k		57	Теплоемкость	C	
23	Коэффициент теплопроводности	λ		58	Теплота парообразования скрытая	r	
24	Коэффициент трения качения	k		59	Теплота скрытая	L	
25	Коэффициент трения скольжения	f		60	Теплотворная способность; теплотворность	Q	H
26	Масса	m		61	Угол плоский	α, β, γ	
27	Модуль сдвига	G		62	Угол телесный	ω	
28	Модуль упругости	E		63	Удлинение относительное	ϵ	δ
29	Момент инерции	J		64	Ускорение линейное	a	j
30	Момент сечения статический	S		65	Ускорение силы тяжести	g	
31	Момент сопротивления	W		66	Ускорение угловое	ϵ	θ
32	Момент силы	M		67	Частота	f	ν
33	Мощность	N, P		68	Число оборотов в единицу времени	n	
				69	Ширина	b	
				70	Энергия	W	A, E
				71	Энергия внутренняя	U	
				72	Энергия кинетическая	T	
				73	Энергия потенциальная	Π	
				74	Энергия свободная	F	
				75	Энтальпия; теплосодержание	I	
				76	Энтропия	S	

ХРОНИКА

Итоги научно-технического совещания по автоматизированному электроприводу в Академии наук СССР

Проведенное Институтом автоматики и телемеханики Академии наук СССР в Москве 11—15 декабря 1944 г. широкое научно-техническое совещание по автоматизированному электроприводу имело целью подвести итоги современного состояния и наметить пути дальнейшего развития в этой области техники. Всего на совещании было заслушано 45 докладов. Количество участников в отдельные дни на пленарных заседаниях доходило до 250—300 человек, участники принадлежали к 65—70 различным организациям, наркоматам, научно-исследовательским институтам, высшим учебным заведениям, заводам.

Совещание было открыто членом-корреспондентом АН СССР, генерал-майором инженерно-технической службы, проф. В. И. Коваленковым, который во вступительном слове обрисовал исключительное значение автоматизированного электропривода для современной техники и охарактеризовал программу и объем работы совещания.

Доклад «О современном состоянии и задачах развития техники электропривода» был сделан доктором техн. наук, проф. В. К. Поповым. Проф. Попов наметил основные научно-технические и производственные задачи в области электропривода, деля их на

5 групп: 1. Теоретические и экспериментальные изыскания. Сюда относятся: а) дальнейшее обобщение теории электропривода; б) дальнейшее теоретико-экспериментальное исследование переходных режимов электрифицированных агрегатов и изучение законов изменения параметров электроприводов и механизмов; в) моделирование физических явлений в электрифицированных производственных агрегатах; г) изучение условий работы схем с амплитудами, следящих электроприводов ионных электроприводов, электроприводов с регуляторами и т. п.; д) анализ устойчивости и колебаний электроприводов; е) решение нелинейных задач электропривода. 2. Изучение и проектирование комплексных электрифицированных агрегатов, включая анализ вопроса о выборе рода тока на кораблях и самолетах. 3. Производство новых типов двигателей, приспособленных по своей конструкции, механическим и электромагнитным параметрам к рабочим машинам с значительным расширением номенклатуры. 4. Производство автоматической аппаратуры, как контакторно-релейной, так и ионно-электронной. 5. Вопросы эксплуатации электропривода; систематическое собиранье эксплуатационных данных для последующего усовершенствования конструкций электродвигателей и аппаратуры. Совещание в резолюции отметило пра-

важность принципиальных путей развития в СССР теории и практики электрического привода, намеченных в общем докладе проф. В. К. Попова

Доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов в докладе «Электромашиностроение в свете обеспечения задач современного электропривода» охарактеризовал направления, в которых развивалось электромашиностроение в области электропривода за последнее десятилетие и подчеркнул необходимость анализа серий электродвигателей, выпускаемых нашими заводами, в первую очередь короткозамкнутых двигателей, предназначенных для повторно кратковременного режима работы с большой частотой. Отмечена также необходимость производства специализированных типов двигателей, конструктивно сращенных с исполнительными механизмами, острая потребность в двигателях со специальными характеристиками, многократных короткозамкнутых двигателях, двигателях постоянного тока с широким регулированием поля, коллекторных двигателях малой мощности, амплитудных, двигателях для бытовых целей.

Доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров в докладе «Прогресс электрических машин и автоматизированного электропривода» показал, что эффективное развитие электропривода в СССР может идти лишь при тесном контакте в работе заводских инженеров конструкторов и инженеров, занимающихся вопросами эксплуатации электродвигателей.

Председатель технического совета, член коллегия Наркомата электропромышленности СССР инж. А. И. Бертинов осветил вопрос о состоянии и перспективах развития аппаратуры автоматики для электропривода. Он указал, что все заводы сильноточной промышленности делятся на две большие группы: а) заводы-поставщики отдельных изделий; б) заводы, поставляющие комплектные электроприводы для разных отраслей промышленности. Эти заводы, разрабатывая современные системы электропривода, должны глубоко изучать соответствующие технологические процессы, работу механизмов и специфические условия работы электрооборудования. Восстановление производства электроприводов будет сочетаться с модернизацией элементов и заменой устаревших конструкций как двигателей, так и аппаратуры современными. Для разрешения ряда общих задач НКЭП намечает организацию Центрального конструкторского бюро по электроприводу.

Поскольку вопросы устойчивости и колебаний электропривода имеют исключительное значение для производственных процессов, к ним было привлечено большое внимание совещания. Академик В. П. Никитин, кандидат техн. наук, доц. Н. П. Куницкий и профессор В. К. Туркин доложили произведенный ими анализ устойчивости переходных процессов электроприводов постоянного тока. Они разработали также аналитический метод рассмотрения переходных процессов шунтового двигателя при регулировании его скорости изменением потока возбуждения. Нелинейность процессов потребовала введения новых функций, таблицы которых были разработаны математическим институтом АН СССР. Приведенный докладчиками анализ, а также материалы других докладчиков наглядно показали, что аналитическое решение ряда весьма важных вопросов электропривода ограничивается недостаточным развитием теории нелинейных дифференциальных уравнений. Совещание признало необходимым поставить перед Институтом математики АН СССР вопрос о составлении таблицы для решения широко используемых в современной теории электропривода алгебраических уравнений 5-й степени методом эллиптических функций.

Академик Н. Н. Лузин доложил о методе приближенного интегрирования (академика С. А. Чаплыгина), приложимом ко всякому дифференциальному уравнению 1-го порядка без каких-либо ограничительных предположений. Серия пар кривых, выводимых методом академика Чаплыгина и охватывающих искомую интегральную кривую, обладает чрезвычайной быстротой приближения.

Исследование сложных электрифицированных производственных агрегатов требует тщательного анализа вопросов устойчивости и выяснения условий отсутствия колебаний электроприводов. При изучении подобных вопросов в наиболее сложных случаях существенное значение приобретает моделирование физических явлений и анализ переходных процессов с помощью эквивалентных схем замещения. Доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров в своем докладе показал простейшие случаи построения эквивалентных схем замещения с одной и несколькими степенями свободы и обрисовал

пути развития и дальнейшие возможности использования эквивалентных схем замещения.

Доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров в своем втором докладе, касавшемся больших колебаний электрических двигателей, показал, что подобные задачи, как правило, приводятся к нелинейным дифференциальным уравнениям. Большие колебания могут возникать: 1) в схемах следящего электропривода; 2) в схемах с элементами обратной связи; 3) при пуске некоторых электроприводов; 4) в схемах синхронизированного электропривода с ударной нагрузкой, как следствие эффекта самораскачивания; 5) при толчках нагрузки синхронизированного электропривода и т. д. Инженерное решение подобных задач возможно с помощью лабораторных схем, моделирующих процесс; метода приближенных вычислений; машин, решающих нелинейные дифференциальные уравнения. Доклад иллюстрировался примером решения задачи для синхронных двигателей.

Доктор техн. наук, проф. Л. И. Гутенмахер доложил о сконструированном им в Энергетическом институте им. Кржижановского АН СССР электрическом интеграторе, дающем возможность моделирования и анализа явлений в электромагнитных схемах с учетом полей рассеяния, токов Фуко и температурных режимов элементов электропривода. Доклад сопровождался фильмом, показывающим конструкцию интегратора и условия работы с ним.

Совещание обратило внимание на необходимость дальнейшего углубленного изучения нелинейных задач электропривода (реактивный статический момент, влияние насыщения машин и аппаратов, влияние реакции якоря, нелинейность характеристик ионно-электронных аппаратов, учет зоны нечувствительности, запаздывания).

Генерал-лейтенант инженерно-авиационной службы академик Н. Г. Бруевич в докладе «Об основах точности механизмов» отметил значение теории точности механизмов для приборостроения и обеспечения массового и серийного производства и дал анализ вопроса о точности механизма как в отношении ошибок положения, так и перемещений механизма. Им даны выражения для среднего и предельного значения ошибки механизмов и показана функциональная зависимость между ошибкой механизма и первичной ошибкой. Поскольку электропривод, внедряясь в рабочие машины, меняет их кинематику, заменяя механические звенья электрическими, работы академика Бруевича должны быть базой для сравнения точности механических и электромеханических звеньев электрифицированных рабочих агрегатов.

Генерал-майор инженерно-авиационной службы, академик В. С. Кулебакин в обширном докладе обрисовал все значение автоматизированного электропривода для современных самолетов. Было указано на исключительное расширение применения электропривода в авиации. На последних наиболее мощных американских самолетах число электроприводов достигает 200. В соответствии с этим мощности самолетных генераторов повышаются от 10—20 kW до 100 kW. Доклад обращает внимание производственных организаций на необходимость тщательного приспособления механических и электромагнитных параметров двигателей к исполнительным механизмам и тщательного выбора передаточных чисел в целях ускорения операций. В. С. Кулебакин рекомендует постановку широких научно-исследовательских работ по изучению поведения комплексных электрифицированных агрегатов в действительных условиях разнообразных режимов нагрузки, развитие конструкторских работ по созданию более совершенных двигателей: с высокой надежностью в эксплуатации, с уменьшенным весом, уменьшенными габаритами, повышенным к. п. д.

Доклад академика К. И. Шенфера и кандидата техн. наук П. А. Свириденко анализировал различные схемы рекуперации энергии при испытаниях авиационных двигателей и показал преимущества схемы с асинхронными машинами, разработанный докладчиками в Энергетическом институте АН СССР по сравнению со схемой, применяемой в США, как в отношении к. п. д. так и диапазона скоростей, при котором происходит рекуперация.

Начальник технического отдела Глазэлектромонтажа Наркомата по строительству СССР инж. Я. М. Бальшам в докладе по вопросам электропривода в связи с задачами восстановления разрушенных районов, ознакомил совещание с характером тех повреждений, которые были нанесены немецко-фашистскими варварами энергетическим узлам и электротехническим установкам нашей промышленности. Предстоящий объем восстановительных работ был иллюстрирован на примерах Макеевского металлургического завода и Ижорского завода им. Кирова. В

В докладе рассмотрены основные направления в деле восстановления электропривода: 1) металлургических агрегатов Сталинграда, Донбасса и Ленинграда; 2) кранового электрооборудования; 3) металлообрабатывающей промышленности; 4) организация восстановительных работ. Во всех случаях восстановление сочетается с реконструкцией электроустановок на новой технической основе.

Профессор Б. И. Доманский в своем сообщении обосновывал необходимость проведения работ по установлению стандартных обозначений и нумерации элементов в схемах автоматики. При этом, по его мнению, в основу следует положить систему, принятую Американским институтом инженеров-электриков, так как этим значительно облегчится необходимое в будущем установление международного стандарта. Совещание подтвердило целесообразность такого предложения, а также решило просить Всесоюзный Комитет Стандартизации при СНК СССР включить в свой план работ разработку проекта ГОСТ: «Электрический привод — основные определения и обозначения».

В докладе М. Г. Чиликина, зам. директора Московского Энергетического института им. Молотова, освещены задачи подготовки кадров инженеров в области электропривода в высшей школе. Как докладчик, так и резолюция совещания считают, что в деле организации специальных кафедр по электроприводу и электрооборудованию промышленных предприятий советская высшая школа опередила высшую техническую школу за границей, где вообще нет таких специальных дисциплин, как «Основы теории электропривода» и «Управление электроприводами». Совещание в своем решении признало, что подготовка специалистов по электрооборудованию промпредприятий должна концентрироваться только в политехнических и энергетических вузах с достаточной энергетической базой.

Указанными докладами исчерпывается список докладов, поставленных на пленарных заседаниях.

Первая секция была посвящена теоретическим вопросам электропривода и новым типам привода. Проф. В. К. Попов в своем докладе «Обобщение теории автоматизированного электропривода» подчеркнул значение упрощения и ускорения решения многочисленных разнородных задач электропривода, ставящихся промышленностью, транспортом и боевой техникой. В докладе дана классификация переходных режимов, охватывающих все производственные машины, все электрические типы двигателей, все возможные режимы работы, различные принципиальные типы автоматической аппаратуры прерывистого и непрерывного действия при различных кинематических связях между двигателем и рабочей машиной, а также намечена схема общей теории автоматизированного электропривода. Совещание признало предложенную проф. Поповым классификацию переходных режимов электрифицированных агрегатов и структуру общей теории электропривода рациональными и рекомендовало вести дальнейшую углубленную работу в этом направлении.

Проф. Е. В. Нитусов коснулся вопросов определения индуктивности в электроприводах постоянного тока и влияния индуктивности на протекание переходных процессов.

Инж. Н. А. Тищенко доложил о методах определения передаточного числа в электроприводах, влияющего существенно на быстроту переходных процессов электропривода, а стало быть и на производительность операций рабочей машины. Им рассмотрен выбор передаточного числа с учетом изменения момента двигателя в переходных процессах, что до сих пор не производилось.

Инж. Л. В. Корнюшин показал способы исследования коэффициентов дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы электропривода, с целью использования этих коэффициентов в качестве критериев, определяющих характер протекания во времени процессов в взаимно-связанных физических системах (механической, электромагнитной, тепловой, гидравлической). При этом на базе 2-й формы уравнений Лагранжа получается уникальная форма дифференциальных уравнений описывающих переходные процессы, и их интегралов. Выводы иллюстрированы упрощенным методом расчета переходных процессов шунтового двигателя постоянного тока.

Доклад кандидата техн. наук А. А. Булгакова показал большое значение обратной связи в электроприводе вообще и в частности, в следящем. Применение обратных связей дает возможность осуществить режимы сложного управления многодвигательными электроприводами в ча-

стности, в функции параметров технологических процессов и дает также новые возможности замены в исполнительных механизмах чисто механических связей электрическими.

Инж. И. В. Уткин охарактеризовал современное состояние теории асинхронного пуска синхронных двигателей и детально разобрал условия разбега этих двигателей в случае возбуждения, наугад приключенного к обмотке возбуждения. Схема обеспечивает достаточно плавный пуск с интенсификацией процесса впадения в синхронизм.

Кандидат техн. наук, доц. М. А. Гаврилов, изложив основные положения алгебры логики, показал возможности математического анализа структуры автоматических схем. Метод дает способ построения схем с гарантией отсутствия обходных контуров.

Кандидат техн. наук доц. Б. С. Сотсков доложил методике проектирования и обеспечения надежности контактов в аппаратах контактно-релейной автоматике. Серия докладов была посвящена современному электромагнитному аппарату — амплидину. Амплидин ускоряет переходные процессы в электроприводе, обеспечивает им плавность и существенно уменьшает потребность для двигателей аппаратуры автоматического управления.

Академик В. С. Кулебакин сделал сообщение по вопросу о кинетике возбуждения амплидина при холостом ходе при пренебрежении влиянием токов Фуко и реакцией якоря от действия короткозамкнутых витков. Процессы были охарактеризованы соответствующими линейными дифференциальными уравнениями. В докладе показано, что максимум скорости изменения напряжений амплидина зависит главным образом от постоянной времени возбуждения амплидина в цепи управления. Постоянная времени возбуждения определяется мощностью, поглощаемой в цепи управления, скоростью вращения и конструктивными параметрами. Так как в амплидинах имеется возможность достигать больших скоростей напряжения, то в приводах, питаемых амплидинами, процессы могут происходить с большими ускорениями, которые при соответствующей компенсации получаются мало зависящими от нагрузок и маховых моментов вращающихся частей.

Кандидат техн. наук, доц. М. И. Романов, рассматривая амплидин, как линейную систему, показал удобства применения тензорного анализа для рассмотрения стационарных и переходных процессов амплидина. Операторная матрица сопротивления для обобщенного амплидина, составленная докладчиком, охватывает все линейные дифференциальные уравнения, характеризующие переходные процессы. Докладчиком были продемонстрированы осциллограммы переходных процессов амплидина, снятые в лабораторном автоматизированного электропривода Института автоматики и телемеханики АН СССР. Исследования показали малую инерционность амплидина, большой коэффициент усиления (до 10^4), высокую чувствительность, устойчивость работы и достаточную надежность.

Кандидат техн. наук Ц. Л. Гольтраф рассмотрела, от каких факторов зависит коэффициент усиления амплидина. Она рассказала о своей работе над изготовлением амплидина из нормальной машины ПН и о своих теоретических и экспериментальных исследованиях амплидина.

Кандидат техн. наук Н. П. Куницкий рассмотрел структуру схем автоматизированного электропривода с амплидинами. В докладе были разобраны как более простые, так и более сложные случаи.

Инж. А. М. Розенталь доложил о работах по схемам реверсивных прокатных станков с амплидинами. Были рассмотрены особенности структуры схемы. Интересно приведенное сопоставление количества элементов автоматической схемы привода блуминга в двух вариантах: по старой схеме требуется 58 шт. разного рода контакторов, реле и быстродействующих регуляторов, а по схеме с амплидинным управлением — только 12 шт.

Совещание отметило особую актуальность разработки переходных процессов электроприводов с амплидинами.

Ряд докладов был посвящен ионному электроприводе и ионно-электронной автоматике в электроприводе.

Ст. научный сотрудник Ф. И. Бутаев рассказал о работах ВЭИ с регулирующими ртутными выпрямителями, вентиляльным двигателем, вентиляльным каскадом.

Современное состояние ионного привода доложено инж. Ю. А. Сабининым. Он доложил о разработанной в Ленинградском политехническом институте им. Калинина им и проф. В. К. Поповым методике рассмотрения переходных режимов ионного электропривода.

Показано, как меняется коэффициент мощности регулируемых двигателей разных электрических типов при разном характере статического момента. В докладе были разобраны особенности структуры американского стандартного нонного привода—типа «Таймотроль» мощностью 3,75—2,0 кВт с обратной связью.

Кандидат техн. наук Б. Е. Телишевский охарактеризовал применение нонно-электронной автоматики для управления электроприводом. В частности им показаны преимущества разработанного в Институте автоматики и телемеханики АН СССР электрического фазо-импульсного метода регулирования среднего тока тиристорных.

Кандидат техн. наук Д. В. Зернов рассмотрел возможности, которые может дать для автоматики электропривода электронно-лучевая трубка. Управление тиристорами посредством электронно-лучевой трубки, а также фазо-импульсным методом демонстрировалось в лаборатории Института автоматики и телемеханики.

Доцентом А. В. Фатеевым была обрисована фотоэлектрическая система управления электроприводом с использованием фотоэлектрической следящей системы, управляемой посредством записи на киноплёнке. Последовательно записанные на плёнке, заранее задуманные, производственные операции передаются в схему управляемого двигателя или двигателей. В результате обеспечивается изменение скорости движения управляемого механизма по трем координатным осям.

Во второй секции совещания были рассмотрены вопросы применения электропривода в разных областях техники, вопросы эксплуатации и задачи электропромышленности в деле развития техники автоматизированного электропривода.

Доктор техн. наук, проф. С. А. Пресс заострил внимание на необходимости пересмотра системы нормирования электродвигателей для повторно-кратковременного режима работы и установления наиболее рациональных методов выбора электродвигателей по нагреву для этих режимов.

Проф. Е. В. Нитусов рекомендовал надлежащим образом учитывать законы изменения постоянной времени паза и законы изменения эквивалентных по нагреву величин.

Доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов дал анализ вопросов электропривода прокатных станов холодной прокатки и изложил особенности схемы, предлагаемой им для надлежащего обеспечения производственного процесса. Особенность работы подобных станов заключается в наличии упругой связи нескольких двигателей прокатываемым материалом.

Исключительно широко распространившиеся за последние годы микродвигатели были охарактеризованы в докладе доктора техн. наук, проф. Б. С. Чечет. Он рассмотрел универсальные однофазные микродвигатели и с расщепленной фазой, репульсионные двигатели, конденсаторные реактивные синхронные двигатели различных типов.

Проф. Б. П. Апаров в своем сообщении рассмотрел свойства мелких электродвигателей с постоянными магнитами, применяемых на самолетах.

Доцентом Д. Л. Оршанским была охарактеризована исключительная потребность в измерительных приборах для автоматизированного электропривода, которая сейчас имеет место.

Инж. С. А. Хусид ознакомил с опытом эксплуатации автоматизированных электроприводов на Магнитогорском металлургическом заводе. Доклад показывает, насколько важно для электромашиностроительных заводов учитывать эксплуатационный опыт при конструировании новых машин и аппаратов.

Инж. В. П. Белов и доцент К. В. Урнов охарактеризовали номенклатуру электродвигателей и аппаратов, необходимых для обеспечения автоматизированного электропривода.

Инж. В. С. Тулиным были обрисованы перспективы развития электропривода в горном деле.

Доктор техн. наук, проф. В. А. Трапезников разобрал основные свойства разработанной им системы гидроэлектрического привода.

Доцент Г. В. Одинцов доложил итоги своих работ по созданию электромагнитных муфт переменного тока. Первые образцы муфт должны быть подвергнуты производственному испытанию.

Кандидат техн. наук А. В. Храмой рассмотрел технико-экономические предпосылки автоматизации электропривода в промышленности и в военном деле. Он показал, как автоматизация электропривода обусловила реконструкцию современной машины-орудия в агрегат кинематически независимых рабочих элементов со своими двигателями и тем самым частично свела к нулю управление станком к проблеме управления двигателями.

Совещание в своей резолюции наметило: 1) пути научных теоретических и экспериментальных исследований в области электропривода, 2) производственные задачи, стоящие перед электромашиностроительными и электроаппаратными заводами в деле обеспечения автоматизированного электропривода нужной номенклатурой двигателей и аппаратов управления, 3) задачи отдельных наркоматов в обеспечении промышленности СССР наиболее совершенными электроприводами.

Бюро Отделения технических наук АН СССР одобряет предложения совещания об издании его трудов и об организации Комиссии по автоматизированному электроприводу при ОТН АН СССР.

Доктор техн. наук, проф. В. К. Попов

Научно-технические конференции Ленинградского политехнического института им. Калинина

Краткий обзор

Политехнический институт им. Калинина в Ленинграде в суровые 1942—1943 гг. был действующим предприятием—выполнял исследования и давал продукцию, необходимую непосредственно для нужд города и фронта. Одновременно научная и учебная жизнь продолжалась в Ташкенте, где находилась часть коллектива института.

Политехнический институт за время войны провел три научно-технических конференции: в сентябре 1943 г. и в июле 1944 г. — в Ташкенте и в сентябре 1944 г. — в Ленинграде.

Первая научно-техническая конференция коллектива ЛПИ сыграла большую роль в постановке важнейших научно-технических проблем, связанных с работой института в Узбекской ССР.

Вторая научно-техническая конференция была призвана подытожить работы института перед отъездом его из Ташкента в Ленинград. Дальнейший план научно-исследовательских работ ЛПИ в Ленинграде должен был явиться во многих направлениях продолжением работ, начатых в период пребывания института в Средней Азии, так как в итоге этих работ выдвинулись проблемы, имеющие не только местное, но и значительно более общее и принципиальное значение. Из

59 докладов, заслушанных на конференции, 9 докладов были посвящены темам, связанным с электротехникой.

Вторая конференция была открыта сообщением заслуженного деятеля науки и техники, члена корреспондента Академии наук СССР, проф. М. А. Шателена о формах преподавания в высших технических школах. Непрерывный рост науки и техники вызывает необходимость сообщить студентам все большее количество сведений. Поэтому возникает необходимость изыскивать такие формы преподавания и использовать их так, чтобы в установленное время студенты могли усвоить те сведения, которые необходимы для советского инженера достаточно широкого профиля. Основные формы преподавания следующие: а) лекции и б) всякого рода самостоятельные работы студентов, как-то: проектирование, лабораторные занятия, производственная практика, а также участие студентов в научных исследовательских работах, под руководством профессоров.

Лекции могут быть одним из самых эффективных средств умственного общения профессора со студентами, которые должны получать этим путем сведения по самой существенности изучаемой дисциплины. Число часов лекций в день желательно довести до двух, в крайнем случае до трех.

Самостоятельные занятия имеют своей задачей не только научить студента применять полученные теоретические знания на практике, но и развивать в нем способность и склонность к самостоятельному мышлению. От производственной практики надо требовать, чтобы она приучала студента к сознанию ответственности за всякое поручаемое ему дело. Возможность организации факультативных занятий всех видов должна быть обеспечена для студентов всех курсов.

Необходимо, чтобы темы дипломных заданий были достаточно широко, прорабатывались глубоко и были тесно увязаны с преддипломной практикой студента.

Для наилучшей подготовки инженера наиболее подходящей формой в настоящее время является курсовая система на первых двух курсах и предметная — на старших.

Доктор техн. наук, проф. Н. Н. Щедрин свой доклад посвятил вопросу о признаках статической устойчивости системы двух станций, которая в основном определяется характеристиками стационарного режима работы, характеристиками потребителей энергии, параметрами цепей системы возбуждения синхронных генераторов, параметрами устройств регулирования скорости и мощности первичных двигателей.

Оценка статической устойчивости в предположении постоянства потока, сцепляющегося с целью возбуждения, должна быть дополнена двумя критериями, которые относительно легко вычисляются, если известны угловые и частотные характеристики системы. Автор показал, что при известных допущениях исследование устойчивости системы двух станций с учетом влияния всех основных факторов вполне возможно.

Член корреспондент Академии наук СССР М. П. Костенко рассмотрел вопросы моделирования электрических машин при изучении устойчивости параллельной работы электрических систем. Для ускорения и облегчения расчета статической и динамической устойчивости электрических систем, приведенных к нескольким станциям, приходится прибегать к ряду допущений, снижающих точность полученных результатов. Проверка влияний этих допущений на результаты расчетов и ускорение получения ответов для различных вариантов при исследовании устойчивости систем могут быть получены на лабораторных моделях, осуществленных в виде вращающихся электрических машин. При выполнении таких лабораторных моделей необходимо правильно выразить в относительных значениях следующие параметры: синхронное индуктивное сопротивление по продольной и поперечной оси, переходное индуктивное сопротивление по тем же осям; активное сопротивление стартовой цепи, постоянную времени цепи возбуждения, параметры электрических цепей и приемников, постоянные инерции станций преобразованной системы и характеристики первичных двигателей. При проектировании систем обычного порядка и при условиях исследований процессов устойчивости в существующих системах лабораторные машины должны быть спроектированы с учетом возможности подбора их параметров в диапазоне, соответствующем реально встречающимся случаям.

Доклад доктора техн. наук, проф. В. К. Попова касался вопросов обобщения теории автоматизированного электропривода. В целях начального выявления производственных возможностей электропривода автор предложил следующую схему построения общей теории автоматизированного электропривода:

1. Механические свойства рабочих машин — орудий.
2. Механические характеристики электродвигателей.
3. Принципиальные условия устойчивости электрифицированных рабочих агрегатов.
4. Механические переходные режимы электроприводов.
5. Электромеханические переходные режимы электропривода.
6. Теплоэлектромеханические переходные режимы.

Доктор техн. наук, проф. Л. М. Пиотровский рассмотрел метод наложения перегревов в применении к трансформаторам. Приравнявая допускаемый по маслу перегрев арифметической сумме перегревов масла от нагрева стали и меди и решая полученное уравнение относительно нагрузочного тока, автор получил формулу, определяющую перегрузочную способность трансформатора. Как показал опыт, метод наложения перегревов в отношении вращающихся машин себя оправдывает. В отношении же трансформаторов, для которых этого опыта не было, необходимо было исследовать тепловое поле в баке трансформатора при различных режимах работы и различных способах охлаждения. Теоретическое исследование этого вопроса затрудняется тем, что при изменении температуры мас-

ла меняется также его вязкость. В условиях принудительной циркуляции масла метод наложения перегревов практически оправдывается, но при естественной циркуляции он принципиально неправилен. Метод наложения перегревов практически был проверен на трех объектах; правильность исходных решений в основном этим была подтверждена, хотя результаты опыта все же не могут считаться исчерпывающими.

Доктор техн. наук, проф. Л. Р. Нейман и инж. Г. Р. Лулов рассмотрели вопросы вентиляции крупных гидрогенераторов на основе произведенных исследовательских тепловых испытаний гидрогенераторов СВ $\frac{750}{60}$ 40 и СВ $\frac{750}{75}$ 40 зонтичного типа, с подачей охлаждающего

воздуха снизу под колесо ротора, а также по материалам подробных исследований вентиляции одного из этих генераторов. При различных режимах были детально изучены поля скоростей охлаждающего воздуха, поля давлений и поля температур и произведены измерения расходов воздуха в различных зонах вентиляционной системы. Ряд дефектов вентиляционной системы относится к недостаткам монтажа генератора. Так, в результате предпринятых мер температуру охлаждающего воздуха удалось снизить с 40,7°C до 22,2°C, что привело к снижению температуры наиболее горячей точки обмотки генератора с 107,2°C до 90,0°C при номинальном режиме. Авторы показали необоснованность предложения завода закрыть отверстия между спицами ротора, так как к наиболее нагретой части обмотки воздух поступает главным образом через эти отверстия и через каналы в теле ротора. Произведенные исследования помогли значительно облегчить работу генераторов в тепловом отношении и дали основание поставить вопрос о повышении их номинальной мощности. Авторы рекомендуют заводам систематически обследовать вентиляцию выпускаемых крупных гидрогенераторов в условиях их эксплуатации, на основе разработанной ими методики.

Доклад доктора техн. наук, проф. И. М. Постникова был посвящен рациональным геометрическим соотношениям в электрических машинах. Для учебной цели с методической стороны давно назрела необходимость установления наглядных и общих законов, позволяющих быстро выбрать вариант конструкций, близкий к оптимальному. Такие законы, несомненно, окажутся полезными и для конструктора завода. Автором в результате обобщения методики расчета был получен ряд соотношений и кривых, позволяющих решать наиболее быстрым путем наглядно и обоснованно ряд основных задач при конструировании электрических машин как постоянного, так и переменного тока.

Рассматриваются следующие задачи:

- а) Выбор невыгоднейшей скорости вращения машины постоянного тока и числа полюсов при заданной мощности, при невыгоднейших геометрических соотношениях, дающих минимальный расход материалов на 1 kW мощности при заданном к. п. д.
- б) Выбор невыгоднейшего числа полюсов при заданной скорости вращения и невыгоднейших соотношений диаметра и длины машины, дающих минимум расхода материала при заданном к. п. д.
- в) Аналогичные задачи для машин переменного тока.
- г) Рациональный выбор числа пазов и геометрии зубцовой зоны машины в связи с выбором типа обмотки.

Доктор техн. наук, проф. П. Л. Калантаров предложил пути рационализации уравнений электромагнитного поля. Предложенная Хевисайдом рационализация этих уравнений весьма желательна, так как в результате ее геометрические коэффициенты типа четыре «ли» занимают свое естественное место. Уравнения электромагнитного поля могут быть рационализированы путем изменения понятия о некоторых величинах, причем единицы измерения всех величин будут одни и те же и при обычной и при рациональной форме уравнений.

Доктор техн. наук, проф. Л. Р. Нейман сообщил о предложенном им совместно с инж. Н. А. Голубинской специальным трансформаторе тока, обладающем тем свойством, что результаты измерения при помощи него теоретически полностью не зависят от наличия сколь угодно сильных посторонних переменных магнитных полей, а также от положения контура с измеряемым током в окне трансформатора. Предложенный новый трансформатор при полном сохранении свойств пояса Роговского может быть осуществлен любых размеров и, следовательно, в его обмотке может быть получена значительная э. д. с. Такой трансформатор был предложен для измерения тока и мощности в сложной систе-

ме шни, рассчитанных на силу тока порядка десятков и сотен тысяч ампер, например, в подводе к электрическим печам; трансформатор может быть сделан съемным, аналогично клеммам Дитце. Трансформатор такого типа может быть также использован в лабораториях высокого напряжения в качестве трансформатора тока.

Кандидат техн. наук, Д. В. Васильев сообщил о разработанном им методе учета влияния на характеристики сельсинов тока холостого хода и его изменения с изменением нагрузки. Для вычисления погрешности в величине обратной э. д. с. и вращающего момента в случае пренебрежения влиянием тока холостого хода предлагаемая формула позволяет установить для данного конкретного случая практически целесообразность учета влияния тока холостого хода. Формула эта может быть использована как поправочный коэффициент к ранее предложенной формуле для момента с учетом влияния первичных параметров.

Задачей третьей научно-технической конференции было подвести некоторые итоги работы Политехнического института, в героический период блокады Ленинграда и ознакомить широкую инженерно-техническую и научную общественность с полученными результатами. К конференции профессора и преподаватели института представили 43 доклада, из которых свыше 10 докладов на темы, связанные с электроэнергетикой.

Доктор техн. наук, проф. М. Д. Каменский выступил на конференции с двумя сообщениями.

Первый его доклад касался режимов работы электрических сетей энергосистем, обеспечивающих минимальные потери энергии. Автор предложил подразделить электрические сети на два вида — симметричные и несимметричные. Симметричные сети характеризуются постоянством отношения активного сопротивления к реактивному для всех участков сети:

$$\frac{r_1}{x_1} = \frac{r_2}{x_2} = \frac{r_3}{x_3}$$

и т. д.; несимметричные сети этому условию не удовлетворяют.

Естественному распределению нагрузок в сети отвечает условие одинаковых напряжений на станциях; в несимметричной сети вынужденное распределение нагрузок, соответствующее минимуму потерь, получается только при неравенстве напряжений на электростанциях. Рассмотренные автором свойства сетей и возможности, даваемые продольным и поперечным регулированием, позволяют по новому поставить весь комплекс вопросов о наилучшем распределении нагрузок между станциями системы и более рационально использовать располагаемые мощности электростанций как в части их активных, так и реактивных составляющих.

Во втором докладе доктор техн. наук, проф. М. Д. Каменский изложил метод повышения устойчивости работы электрических станций с первичными двигателями, не имеющими регуляторов скорости. Рассмотрен типичный случай работы блокстанции переменного тока небольшой мощности, не имеющей вовсе регулятора или же снабженной регулятором, не обеспечивающим постоянства числа оборотов в минуту, что весьма неблагоприятно отражается на работе электродвигателей. За время войны и блокады появилось много подобного рода блокстанций, имеющих целью резервирование электрооборудования предприятий. Автор указал возможный путь избежать неблагоприятных результатов во многих случаях и всегда, когда работа блокстанций вызвана лимитированием энергии, если при холостом ходе блокстанций синхронизировать их с сетью системы и работать в дальнейшем параллельно с последней. В докладе излагаются научные основы и технические условия применения этого метода.

Доцент Н. Н. Крачковский сообщил в своем выступлении о новейших тенденциях в области повышения надежности передачи электроэнергии, в том числе созданием надежных в механическом отношении и обладающих высокой грозоупорностью линий передачи путем автоматического повторного включения, а также применением дугогасящих устройств в нейтральной трансформаторов.

Значительные преимущества «блочной» системы передачи электроэнергии, получившей в последние годы широкое распространение за границей при напряжении 132—230 кВ, должны быть учтены при восстановлении и сооружении новых высоковольтных сетей в Союзе ССР.

Доклад проф. В. П. Иванова был посвящен вопросам борьбы с потерями электроэнергии в хозяйстве электроснабжения заводов. Автор показал, что в подстанционно-сетевом хозяйстве экономии энергии в основном определяют условия эксплуатации, а не

«технологии», как это имеет место на участках заводов электропотребления. Так, пересмотр мощности установленных трансформаторов в эксплуатации может быть рекомендован только при длительном и резком несоответствии оптимального и реального режимов — при среднеквадратичных нагрузках установленной единицы, составляющих 30—40% от ее номинальной мощности.

Доцент В. В. Кезевич в докладе по технико-экономическим вопросам при сооружении электрических сетей в восстанавливаемых районах и районах, показал особенно большое решающее значение экономических расчетов. Так выбором оптимального числа питательных пунктов можно до 30% уменьшить капитальные затраты в сооружения, не снижая при этом технических и эксплуатационных качеств сети. При проектировании линий электропередачи не очень большой длины автор рекомендует проводить расчеты на минимум затраты метал. На период восстановительных работ должны быть сохранены действующие сейчас указания об ограничении резервирования питания.

Доклад доктора техн. наук, проф. С. И. Зилитенкевича был посвящен классификации и вопросам терминологии электрических токов как f . Рациональная терминология электрических токов может быть создана только на основе их исчерпывающей классификации разработанной на строго математических принципах, устраняющей всякую неясность и спорность словесных толкований. Первичными критериями для построения разработанной классификации принимаются два отношения, вытекающие из зависимости $i = f(t)$, определяемые для любых двух отсчетов времени в рассматриваемом интервале времени и оцениваемые с точки зрения их знака:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{f(t_1)}{f(t_2)} \geq 0$$

и

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{f'(t_1)}{f'(t_2)} \geq 0$$

Все периодические токи подразделяются кроме того так в соответствии с результатами их разложения в ряд Фурье. Предложенная автором система классификации электрических токов одновременно является и системой классификации электрических напряжений.

Доктор техн. наук, проф. М. М. Михайлов рассмотрел в своем докладе развитие электрических конденсаторов в годы Отечественной войны. Прогресс современного конденсаторостроения, указывает автор, выражается как в совершенствовании конструкций и создании новых типов конденсаторов, так и в развитии производства самих конденсаторов.

Бумажные конденсаторы предназначены для работы главным образом на низком постоянном (выпрямленном) напряжении; для этого типа конденсаторов перешли на тонкую семимикронную и на металлизированную бумагу, а также новые пропитывающие вещества: олеовакс, с диэлектрической проницаемостью до 20 и канифольно-масляный компаунд 80/20.

Для конденсаторов с жидкой и полужидкой пропиткой еще до войны предлагался сволт и хлорированный дифенил, которые с успехом могут быть заменены касторовым маслом, а также уже получившим распространение вазелином.

В области слюдяных конденсаторов, для контуров высокой частоты низкого напряжения, значительное применение получает серебряная слюда. Этого типа конденсатор в фарфоровом цилиндре, залитый кварцебитумным компаундом, имеет уменьшенные в два-три раза габариты.

Применяются следующие основные типы керамических конденсаторов для области высоких напряжений и высоких частот: на основе двуокиси титана (тикондовые). — малого размера емкостью до 150—200 мкФ; термокомпенсированные — из титано-глиноземных и титано-магнезиальных масс: фарфоровые и тикондовые — на значение емкости до 5 000 мкФ и напряжения до 25 кВ и выше; мощные контурные конденсаторы из тальковых, глиноземистых и других масс с малым углом потери до 1,5°.

Серные конденсаторы могут применяться для ультракоротких радиотехнических отправительных устройств, а также для приборов высокочастотного нагрева мощностью до 50 кВА и более при волне порядка 20—30 м. Наиболее интересным является развитие высокочастотных газовых конденсаторов на мощность до 500 кВА в одной единице, использующих газы под значительным давлением.

Кандидат физико-математических наук Л. А. Сена выступил с докладом о механизме возникновения дуги при разрыве цепи. В отличие от распространенной термоэлектронной точки зрения на возникновение дуги автор объясняет появление электронной эмиссии наличием сильного поля, существующего до развития дуги. Для некоторых условий, отвечающих реальному автор, следуя своей теории, получил максимальную напряженность поля между контактами $E_m \approx 10^6 - 10^9$ В/см, т. е. поле, достаточное для обеспечения автоэлектронной эмиссии. С другой стороны, время начала расхождения контактов до момента, при котором напряженность поля достигает максимума $t_m \approx 10^{-10} : 10^{-7}$ сек. вполне достаточно для развития дуги. Наличие в цепи даже незначительных индуктивностей резко увеличивает скорость нарастания поля и делает предложенный механизм возникновения дуги еще более вероятным.

Доктор техн. наук, проф. А. А. Вульф изложил условия применения совмещенных векторных диаграмм для расчета режима электропередачи. Принцип

совмещения двух или более векторных диаграмм электрического расчета дает возможность углубленного исследования условий работы электропередачи. Автором излагается та сторона проблемы, которая нашла себе практическое применение в условиях военного времени 1942—1943 гг., когда требовалось получение быстрого ответа для сравнительно сложных схем передачи энергии, со случайным подбором трансформаций, с наличием параллельных ветвей и с другими особенностями, затрудняющими решение задачи.

На конференции кроме того заслушаны доклады кандидата техн. наук Д. С. Шавелева о повышении эффективности и модернизации Днепрогэс, проф. Ю. В. Баймакова о сопротивлении контактов между различными металлами и между металлами и угольными материалами, инж. Б. М. Рябова об исследовании габаритных промежутков линейной изоляции и доктора техн. наук, проф. М. М. Михайлова о заменителях высокоомных сплавов, типа константана и нихрома.

Н. К.

К 25-летию Военной электротехнической академии связи Красной Армии им. Буденного

Юбилейная научно-техническая конференция

В связи с исполнившимся 25-летием Военной Электротехнической академии связи Красной Армии им. С. М. Буденного, Народный Комиссар Обороны, Маршал Советского Союза И. В. Сталин поздравил профессорско-преподавательский состав и слушателей академии с 25 годовщиной и награждением Академии орденом Красного Знамени. «Желаю успехов в деле подготовки отличных офицеров и инженеров-связистов для Красной Армии», — писал в поздравлении товарищ Сталин.

В ноябре 1944 г. в Военной электротехнической Краснознаменной академии связи им. Буденного прошла научно-техническая конференция, посвященная 25-летию юбилею академии.

На пленарных и секционных заседаниях конференции было заслушано более 50 докладов. Доклады были посвящены преимущественно изложению результатов оригинальных работ научных работников академии в области теоретической и прикладной электротехники, электрофизики, техники радиосвязи и проводной связи и службы связи в Красной Армии.

На пленарных заседаниях конференции были заслушаны доклады об основных тенденциях развития техники и службы связи, о путях развития военной радиосвязи и телеграфной связи, о современных электровакуумных приборах для сверхвысоких частот и радиоволноводах. Результаты работ академии в области теоретической и прикладной электротехники и электрофизики были заслушаны и обсуждены в заседаниях электрофизической секции конференции. Кафедрой физики было представлено на конференцию 5 докладов, посвященных исследованию электрических свойств полупроводников.

В своем докладе «Физические процессы в твердых выпрямителях и новое их толкование», доктор техн. наук, проф. инженер-подполковник Д. Н. Наследов предложил согласующуюся с экспериментами новую точку зрения на механизм физических процессов в твердых выпрямителях, основанную на существенной роли эффекта сильного поля. В результате проведенного анализа автор разработал методику определения основных параметров выпрямителя, в частности толщины запирающего слоя, более простую и точную по сравнению с методом мостовых схем. В работе разработан вопрос о поведении запирающего слоя, играющего активную роль при выпрямлении, при разных напряжениях и температуре.

В своем втором докладе проф. Д. Н. Наследов предложил новый метод определения коэффициента диффузии в твердых телах, основанный на измерении изменения электропроводности полупроводника, вызванного диффундирующим веществом. Автору удалось показать, что в этом случае к твердому телу можно применить теорию диффузии Эйнштейна, Смолуховского. Данные измерения коэффициента диффузии ртуть в селен хорошо подтверждаются опытами, основанными на аналогии между явлениями теплопроводности и диффузии.

В докладе кандидата физико-математических наук, инженер-капитана И. Л. Козловского «Термоэлектрические свойства сплава селена с сурьмой» приведены экспериментальные данные исследования термоэлектродвижущих сил селена, содержащего примесь сурьмы. Показано, что в этом случае возникают большие термоэлектродвижущие силы, значительно превосходящие те, которые до сих пор были достигнуты.

В выступлениях было высказано пожелание о необходимости развития этой работы в направлении изготовления вакуумных термоэлементов повышенной чувствительности.

В докладе кандидата физико-математических наук, доц. А. Я. Вяткина «Вторичная электронная эмиссия полупроводников и сложных катодов» предложена теория этого явления, учитывающая взаимодействие первичных электронов со связанными электронами полупроводника. Методами волновой механики получено выражение для коэффициента вторичной электронной эмиссии. Предложена схема сложного катода и указана причина существования большой эмиссии. В выступлениях ряд положений автора был подвергнут критике. Было указано, что ряд вычислений автора основан на предположениях, нуждающихся в дополнительной экспериментальной проверке.

В своем втором докладе доц. А. Я. Вяткин предложил новый метод определения внутренних потенциалов металла, основанный на исследовании тонкой структуры кривой распределения вторичных электронов по энергиям.

Кафедрой теоретической электротехники было представлено на конференцию пять докладов, посвященных главным образом результатам исследования электромагнитного поля в ферромагнитных средах и методам расчета параметров катушек с железным сердечником.

В своем докладе «Электромагнитное поле, параметры и характеристики катушек с железным сердечником» доктор техн. наук, проф. инженер-подполковник Н. А. Лившиц на основе исследования электромагнитного поля при линейной трактовке задачи предложил методику расчета и определения эквивалентных параметров катушек с цилиндрическим и плоским сердечниками при однородном и неоднородном намагничивании. В докладе установлена методика определения комплексной магнитной проницаемости и ее составляющих при синусоидальной форме изменения напряженности или индукции магнитного поля. В результате этого получены расчетные соотношения и графики изменения проницаемости в случае, когда представляется существенным установить взаимосвязь между основными гармониками напряженности магнитного поля и индукции или между их действующими значениями. В результате выявления размагничивающего влияния токов Фуко и явления гистерезиса в их взаимосвязи определены эквивалентные параметры

катушки с учетом изменения напряженности магнитного поля и нелинейного изменения проницаемости магнитопровода вдоль его поперечного сечения.

Разработанная методика анализа позволяет исследовать магнитную цепь при наличии и отсутствии воздушных зазоров. Устанавливается влияние воздушного зазора, коэффициента заполнения и воздушной полости между обмоткой и магнитопроводом на закон распределения магнитодвижущей силы между воздушным зазором и магнитопроводом и определяются эквивалентные параметры катушки. Предложенный метод технического расчета и анализа магнитной цепи, с учетом магнитных потоков утечки и фазового сдвига их относительно основного потока и соотношения между проводимостями воздушных зазоров на концах магнитной цепи, позволяет найти ее параметры.

Инженер-подполковник К. А. Петрищев представил в своем докладе первую часть работы по исследованию в постоянном намагничивающем поле катушек с магнетитовыми сердечниками, широко применяемых в радиотехнике. В его докладе представлена картина поля катушки во всех областях однородной среды, не занятых током, а также предложен метод «частичных цилиндров», позволяющий изучить поле катушки в неоднородной среде при асимметричном расположении магнетитового сердечника.

Инженер-капитан Л. А. Цейтлин в своем докладе «Об определении среднего потенциала и емкости систем прямолинейных проводов» предлагает полученные им впервые выражения, связывающие потенциальные коэффициенты системы прямолинейных проводов, с одной стороны, и коэффициент само- и взаимной индукции, с другой стороны, а также дает простое решение задачи об определении потенциала и емкости системы прямолинейных проводов.

Кандидат техн. наук, доцент инженер-капитан П. Г. Горюцкий в своем докладе «К вопросу об аналитическом методе исследования явлений в первичной цепи магнето» дал физико-математическую трактовку процессов, происходящих в магнето.

В своем втором докладе «Переносный агрегат повышенной мощности с механическим накопителем энергии» проф. Н. А. Лившиц в результате анализа различных типов источников тока, преобразователей и накопителей энергии выявил целесообразность и необходимость накопления агрегатом питания кинетической энергии движущихся масс, с использованием ее во время рабочего режима. Спроектированный и сконструированный агрегат питания представляет собой специально разработанный генератор, приводящийся в движение рукой через редуктор. В качестве накопителя энергии использован маховик на валу, соединяющем генератор и редуктор. Результаты расчетов исследования и анализ установившихся режимов свидетельствуют о том, что сконструированный агрегат удовлетворяет требованиям, предъявляемым к его использованию в системах радиосвязи и управления.

В своем докладе начальник кафедры химии доктор техн. наук, профессор, генерал-майор инженерно-технической служ-

бы А. П. Окатов дал систематическое исследование механизма сульфатации пластин свинцовых аккумуляторов. В своих исследованиях базируется на многочисленных экспериментах, опубликованных в мировой литературе, проф. Окатов в своей работе ставит существенную роль зависимости свойств веществ от их структуры дисперсности, а также дает ряд обобщений в отношении процессов, происходящих на положительных и на отрицательных пластинах.

Доцент кафедры математики, кандидат физико-математических наук А. Г. Талдыкин в своем докладе «О теореме разложения в проблемах колебаний и о методе Фурье в математической физике» рассмотрел класс нормальных замкнутых ядер интегральных уравнений, обладающих полными системами собственных функций, и для них, пользуясь обобщением теорем Гильберта-Шмитта, доказал теорему разложения: в работе сформулированы общие замечания о возможности реализации метода Фурье в задачах математической физики.

Тщательному обслуживанию и рассмотрению были подвешены доклады радиотехнической секции. Наряду с докладами, посвященными рассмотрению специальных методов радиосвязи и расчету и испытанию радиоаппаратуры, ряд докладов имел общетеоретический и общетехнический интерес; к ним относятся доклады: доктора техн. наук, профессора, инженера-подполковника Н. Н. Крылова «Исследование процессов в нелинейных электрических системах», доктора техн. наук, профессора, инженер-подполковника А. Г. Аренберга «Рефракция ультракоротких радиоволн в тропосфере», доктора техн. наук, профессора, генерал-майора технических войск И. Г. Кларкина «Основания расчета параметров антенны» и доктора техн. наук, профессора М. О. Контарова «Обобщение метода зеркальных изображений, применительно к расчетам электрических магнитных полей».

На секции проводной связи были заслушаны доклады, посвященные анализу параметров, методов расчета и моделированию линейных устройств и телефонно-телеграфной аппаратуры.

В работе научно-технической конференции и обсуждении докладов принимали участие наряду с научно-техническими работниками академии видные ученые и ведущие инженеры ряда научно-исследовательских институтов, высших технических учебных заведений, заводов и главных управлений — области электротехники, радиосвязи и проводной связи. В этом смысле конференция сыграла важную роль, способствовала расширению и укреплению научных связей академии. Конференция установила, что за годы Отечественной войны научный коллектив академии добился существенных успехов как в области научно-теоретической работы, так и в области проектирования новых технических средств вооружения Красной Армии.

Доктор техн. наук, профессор, инженер-подполковник
Н. Л. ЛИВШИЦ

РЕФЕРАТЫ

Электротехника и электрохозяйство за границей

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

A. A. Turquist. Автоматическая работа гидрогенератора в качестве синхронного компенсатора. *El. World, comp.* 87—88, № 18, 1944.

В одной из энергосистем штата Миннесота (США) путем систематического применения четырех гидрогенераторов в качестве синхронных компенсаторов достигнута значительно более эффективное использование стока реки в течение маловодного сезона года, улучшено распределение напряжений в сети и осуществляется подача реактивной мощности к центру нагрузки системы, что способствовало снижению электрических потерь. При условии установления правильно режима возбуждения синхронной машины, как известно,

из рассмотрения V-образных кривых для синхронного компенсатора, всякое понижение напряжения на шинах гэс вызывает возрастание опережающего тока компенсатора, что способствует поддержанию напряжения.

Всасывающая труба 12 MW гидроэлектрического агрегата оборудована 8-дюймовым воздушным вентилем, который служит для предотвращения подсоса воды из нижнего бьефа в условиях работы генератора синхронным компенсатором: каждый вентиль снабжен затвором с масляным приводом автоматического действия. К стальным спиральным камерам двух других 6-MW агрегатов присоединено по два 4-дюймовых горизонтальных вентиля, предназначенных также автоматически освобождать от воды направляющий аппарат турбины.

Годы	До 1910	1910 — 1920	1920 — 1930	1930 — 1935
Вес в % . . .	100	75	52	27,5

Новым является блокирование воздушного вентили на выходящей трубе с направляющим аппаратом турбины: вентиль автоматически открывается, когда лопасти направляющего аппарата приводятся в положение закрытия. Непрерывное управление гидроагрегата от автоматического турбинного регулятора при каждом способе работы синхронной машины представляется существенной особенностью нового проекта.

Если при работе гидроагрегата в качестве компенсатора тока системы снижается на некоторую определенную величину, то под действием турбинного регулятора воздушный вентиль автоматически закрывается, направляющий аппарат турбины открывается, агрегат начинает работать генератором, в результате чего частота системы автоматически восстанавливается. В маловодный период года гидроагрегат может работать на протяжении часа, например, в течение 45 мин. в качестве синхронного компенсатора; остальные же 15 мин. он может гораздо эффективней быть использован как электрический генератор с турбиной, работающей при оптимальном открытии и при наивысшем к. п. д. Для такого режима агрегата достаточно располагать ограниченным суточным регулированием стока.

Кандидат техн. наук **И. А. КАРАУЛОВ**

1

Рост коэффициента использования мощности электростанций США в период войны. *El. World, Vol. 121, № 4, 1944.*

Крупную роль в росте электробаланса США во время войны сыграло сильное увеличение коэффициента использования установленной мощности станций. Если бы число часов использования электростанций осталось на уровне 1938 г., то, несмотря на огромный ввод мощностей (10 млн. kW в течение 5 лет), выработка в централизованном секторе электроснабжения в 1943 г. составила бы лишь 151 млрд. kWh, против фактически произведенных 221 млрд. kWh: 70 млрд. kWh было получено за счет роста использования мощности.

За период 1938—1943 гг. число часов использования тепловых станций возросло на 61,7%, гидростанций — на 32,5%, а в среднем — на 50,5%, как видно из таблицы.

Динамика числа часов использования мощности на электростанциях США

	1938	1939	1940	1941	1942	1943
Тепловые станции . . .	2 635	3 035	3 303	3 784	3 834	4 267
Гидростанции	1 143	3 916	4 137	4 283	5 076	5 483
Среднее	3 063	3 285	3 538	3 923	4 181	4 611

Однако необходимость максимального использования старого оборудования, а также применение топлива пониженного качества сказались на некотором ухудшении среднего к. п. д. станций. При средней теплотворной способности угля в 6 420 cal/kg удельный расход в условном топливе на станциях общего пользования составил в 1943 г. 0,558 kg/kWh по сравнению с 0,546 kg/kWh в 1942 г.

В. И. МИХАЙЛОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

M. M. Liwischitz. Основные задачи в области электрических машин. *El. Eng., стр. 47—56, № 2, 1944.*

Распространено мнение, что развитие электрических машин уже достигнуто наивысшей точки. Однако прогресс продолжается непрерывно и в наши дни, ряд вопросов, разрешение которых может привести к значительным усовершенствованиям, еще требует глубокого изучения.

Одна из основных задач электромашиностроения — уменьшение веса. Прогресс в этой области представлен в табл. 1, где даны снижения веса активных материалов шестиполусного асинхронного двигателя 1 000 л. с. 1 200 об/мин.

Для асинхронных машин основным вопросом в настоящее время следует считать борьбу с высшими гармониками, вызывающими перегрев при разбеге, добавочные потери и шум.

С точки зрения шума наиболее вредны усилия от взаимодействия статорных и роторных гармоник, так как они имеют частоту порядка 800—1 200 Hz, оказывающую наибольшее акустическое действие. Требуется также углубленного изучения весьма сложный вопрос о подсчете собственных частот колебания статора и станины для избежания резонанса с этими усилиями. В особенности велика вероятность резонанса при регулировке скорости, так как частоты усилий изменяются в зависимости от скорости вращения ротора.

Требуется изучения также и вопрос о регулировке скорости асинхронных двигателей, потому что существующие методы каскадных соединений имеют ряд недостатков. Каскад Кремера дает регулировку только вниз от синхронизма (30—40%). Каскад с коллекторной машиной, питаемой со стороны ротора, дает регулировку в обе стороны от синхронизма, но мощность машины, ввиду коммутационных ограничений не может быть больше 200 kVA. В каскаде с машиной Шербиуса коммутация более удовлетворительна, но для двухзонной регулировки требуется усложнение схемы преобразователем частоты. Широкая регулировка скорости возможна только в каскаде с синхронными машинами, требующем большой установленной мощности.

В области синхронных машин, в особенности машин с выступающими полюсами, основные задачи также в значительной степени связаны с высшими гармониками, вызывающими шум и телефонные помехи. Недостаточно изучен вопрос о расчете демпферной обмотки, в особенности при отсутствии осредняющих колец между полюсами (существующие методы дают точность не больше $\pm 15\%$). Вследствие этого задерживается усовершенствование в области пуска, устойчивости и борьбы с перенапряжениями при несимметричных коротких замыканиях.

В области машин постоянного тока попрежнему важной остается проблема коммутации, являющаяся проблемой не только электрической, но также и механической (конструкция щеткодержателей) и химической (щетки). Расчет дополнительных полюсов все еще недостаточно точен, так же, как и расчет само- и взаимной индуктивности короткозамкнутой секции. За последнее время было предложено несколько конструкций полюсов демпферов, уменьшающих э. д. с. самоиндукции при коммутации.

Для коллекторных машин переменного тока проблема коммутации также еще далеко не решена. В однофазных серийных двигателях дополнительные полюсы не могут компенсировать трансформаторную э. д. с. при неподвижной машине. В многофазных шунтовых, наиболее распространенных машинах, вообще нельзя установить дополнительные полюсы вследствие наличия вращающегося магнитного поля, — необходимы какие-то дальнейшие усовершенствования.

Из задач, общих для всех типов машин, можно считать относительно разрешенной задачу о дополнительных потерях в меди, которые теперь можно получить не выше 10% от основных потерь в меди. По потерям в железе трансформаторов достигнуты большие успехи путем применения стали холодной прокатки, дающей значительное повышение магнитной проводимости и уменьшение потерь в направлении прокатки.

Добавочные потери в железе плохо рассчитанного асинхронного двигателя (потери при вращении) могут быть в 6 раз больше, чем потери от главного потока.

Вентиляционные потери в большинстве машин еще могут быть значительно снижены. Проблема охлаждения далеко не решена. Недостаточно известны теплоперепады в изоляции и коэффициенты теплоотдачи. Для достижения равномерного нагрева по всему сечению машины следует еще решить целый ряд задач о наиболее выгодном направлении теплопотока, о наилучшем распределении теплоотдающих поверхностей и т. д. Например: невыгодно стремиться отдавать потери в меди главным образом через лобовые части, так как при этом окажутся перегретыми пазовые части обмотки; еще более невыгодно отдавать часть железных потерь через медь.

Представление об этих трудностях дает табл. 2 рассматривающая распределение и отвод потерь у типового синхронного генератора на 1 600 кВА.

Таблица 2

Потери	%	Теплоотдача	%
В железе	41	Тепло, переданное через железо в радиальном направлении	20
В меди (в том числе в пазах — 29,5% и в лобовых частях обмотки — 29,5%)	59	Тепло, переданное через поверхность вентиляционных каналов (в том числе тепло, переданное от обмотки железу, — 20%)	41
		Тепло, переданное от обмотки воздуху в вентиляционных каналах	8
		Тепло, переданное от лобовых частей обмотки воздуху	31
Итого	100		100

Правильное решение всех этих сложных вопросов может дать дальнейшее усовершенствование машины.

Кандидат техн. наук А. И. МОСКВИТИН

Автор статьи М. Liwischütz пользуется достаточной известностью, как авторитетный ученый—исследователь, заводской работник и педагог. М. Liwischütz, ныне член АИЕЕ, был вынужден эмигрировать из фашистской Германии в Америку.

Мнение об окончании прогресса и об изученности всех основных вопросов электрических машин можно было слышать и у нас. Исчерпывающий ответ по этому поводу был дан в статье академика К. И. Шенфера «Некоторые вопросы развития современного электромашиностроения» («Электричество» № 5—6, 1944). Реферлируемая статья не охватывает всех основных вопросов электромашиностроения. В ней не затронуты в частности, вопросы специального электромашиностроения, малой механизации, переходных режимов, механических и химических проблем токосяема и т. п. Тем не менее статья представляет значительный интерес.

А. М.

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА

Е. М. Dakin, W. A. Neill. Новая конструкция выключателя с воздушным дутьем на 132 кV. *El. Rev., стр. 364, № 3 486, 1944.*

Новый воздушный выключатель на 132 кV, построенный фирмой Ferguson Railin в Англии, имеет два разрыва, каждый из которых расположен на отдельной колонке. Между колонками находится разъединитель. Каждый разрыв выключателя состоит из двух трубчатых контактов, один из которых остается неподвижным, а другой отбрасывается сжатым воздухом, поступающим при отключении из баллонов через клапаны, расположенные у основания колонки. Трубчатые контакты (сопла) имеют со стороны выхода опорные электроды, на которые дуга выбрасывается потоком воздуха. При расхождении сопел между собой возникающая дуга немедленно захватывается потоком воздуха и выбрасывается на опорные электроды. Авторы подчеркивают большое значение для деионизации дугового столба во время прохода тока через нуль радиальной составляющей воз-

душного потока; кроме того указывается, что при такой работе отсутствуют в зоне деионизации источники металла, так как опорные точки дуги выносятся за пределы.

Выключатель, построенный с дугогасительными камерами (две камеры на 132 кV), был подвергнут испытаниям в лаборатории разрывных мощностей. При полном напряжении двумя разрывами отключался ток до 4 кА, а при соответственном снижении напряжения одним разрывом ток 8,3 кА. Авторы подчеркивают, что условия восстановления напряжения являлись при опытах весьма тяжелыми. В пересчете трехфазный режим отключаемая мощность составляет 1 500 MVA. При пониженном напряжении одним разрывом отключался ток до 16 кА. Учитывая, что в действительности в эксплуатации условия будут более легкими, чем это случилось в лабораторной схеме, авторы полагают возможным рекомендовать разработанный выключатель до 2 500 MVA.

Действие выключателя было также широко проверено при разрыве малых токов (20—400 А) при условиях, дающих основание считать возможным и безопасным отключение магнитизирующих токов трансформаторов на 132 кV.

В статье приводятся схемы, иллюстрирующие идею выключателя, фотографии внешнего вида одной фазы, а также детали разобранной камеры.

Доктор техн. наук, профессор Ю. В. БУТКОВ

В. Р. Barker. Высоковольтный выключатель сжатого воздуха. *Westinghouse Eng., стр. 8, № 1, 1943.*

Фирма Westinghouse опубликовала описание конструкции и результаты опытной эксплуатации нового воздушного выключателя с компрессором на 138 кV мощностью 1,5 MW. В верхней и нижней частях рабочей камеры выключателя расположены трубчатые неподвижные контакты. Внутри него неподвижного контакта движется подвижный контакт. При движении подвижного контакта вниз, при отключении выключателя, между ним и верхним неподвижным контактом растягивается дуга. В рабочей камере помещены изоляционные диски с центрально расположенными концентрическими отверстиями, через которые растягивается дуга. Сжатый воздух обдувает ее со всех сторон; горячие ионизированные пары рассеиваются дутьем и удаляются из камеры через жалюзи, расположенные по бокам колонки. Обволакивающую дугу поток холодного воздуха предотвращает заживание вловь.

Отключающий механизм состоит в основном из вертикального цилиндра и поршня, управляющего движением подвижного дугового контакта и второго поршня, двигающего разъединитель. Оба механизма — быстродействующие и пневматически заблокированы так, что цепь размыкается дуговым контактом, а замыкается разъединителем.

Компрессорная установка, служащая для питания выключателей сжатым воздухом, состоит из двух компрессоров и 71,3 ат с приводящими их электродвигателями и устройствами автоматического управления. Установка включает в себя батарею из 10 баллонов сжатого воздуха по 42,4 дм³ каждый. Из баллонов воздух проходит через редуцирующий вентиль, расширяется и подсушивается, а затем поступает в резервуары выключателя по 10 дм³, где сохраняется при нормальном рабочем давлении выключателя 25 ат.

Выключатель работает при любой погоде, разбивая лед толщиной до 12 мм.

При испытаниях выключатель хорошо отключал токи 8 900 А при 132 кV, при скорости восстанавливающегося напряжения в 3 190 V μ sec; 7 000 А при 88 кV и 2 670 V μ sec и 18 700 А при 66 кV и 2 600 V μ sec.

Кандидат техн. наук Г. С. БОРЧАНЦОВ

Г О С Э Н Е Р Г О И З Д А Т

Москва, Шлюзовая набережная, 10

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

- ГИДРОСИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ.** Описательный курс. Под ред. проф. д-ра техн. наук Т.Л. Золотарева. Допущено Комитетом по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебника для энергетических вузов. М.-Л., ГЭИ, 1944, ц. 20 руб., 261 стр.
- ГЛЫБОВСКИЙ И. И. и СОЛОПОВ С. Г.,** Машины и оборудование торфяного производства. Допущено ВКВШ при СНК СССР в качестве учебного пособия для техникумов. Утверждено ГУТР в качестве учебника для ремесленных и железнодорожных училищ. М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, 447 стр., тираж 5 000, цена без переплета 15 руб., в переплете 17 руб.
- * **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО № 6/214** Оргрэнс. Применение литого пенобетона для изоляции тепловых сетей. М.-Л., ГЭИ, 1944, 5 стр., бесплатно.
 - * **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО № 11/219** Оргрэнс. О мероприятиях по борьбе с износом дымоходов. М., ГЭИ, 1944, 6 стр., бесплатно.
 - * **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО № 17/225** Оргрэнс. О приспособлениях для насечки напильников и ножовочных полотен. М., ГЭИ, 1944, 15 стр., бесплатно.
 - * **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО № 21/229** Оргрэнс. Подвесной набивной свод из огнеупорного бетона. М., ГЭИ, 1944, 12 стр., бесплатно.
 - * **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО № 34/207** Оргрэнс. Об изготовлении цельносварных крышек насосов. М., ГЭИ, 1944, 4 стр., бесплатно.
 - * **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО № 38/246** Оргрэнс. Морозостойкий изолирующий компаунд для заливки концевых муфт наружной установки кабелей 3-10 кв. М., ГЭИ, 1944, 12 стр., бесплатно.
 - * **ИЗМЕРЕНИЕ** вибрации лопаток паровых турбин шлейфным осциллографом. Оргрэнс. М.-Л., ГЭИ, 1944, 29 стр., ц. 3 руб.
 - * **ИНСТРУКЦИЯ** по монтажу сухих концевых разделок силовых кабелей напряжением 1-10 кв. НКЭС СССР, Технический отдел. М.-Л., ГЭИ, 1944, 13 стр. + 1 вкл. л., ц. 1 р. 50 к.
- ИНСТРУКЦИЯ** по оперативному контролю за техническим состоянием и механическими потерями энергии в станочном оборудовании. (Издается в соответствии с постановлением ГОКО от 15/XI 1944 г.) (Государственная инспекция по промышленности и энергонадзору при НКЭС СССР). М.-Л., ГЭИ, 1944, 11 стр., ц. 60 коп.
- * **ИНСТРУКЦИЯ VI-I** по учету потерь активной и реактивной мощности и электроэнергии в сети районов МКС Мосэнерго (Московская кабельная сеть Мосэнерго). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 26, тираж 300, бесплатно.
 - * **ИНСТРУКЦИЯ** по уходу за щелочными кадмиево-никелевыми аккумуляторами. М.-Л., ГЭИ, 1944, 13 стр., бесплатно.
 - * **ИНСТРУКЦИЯ** по эксплуатации абонентского ввода теплосети для системы отопления (НКЭС СССР, Технический отдел). М.-Л., ГЭИ, 1944, ц. 1 р. 75 к.
 - * **КАТАЛОГ-ПРЕЙСКУРАНТ** отпускных цен на электрические машины. Вып. 1 (НКЭП СССР). М.-Л., ГЭИ, 1944, 123 стр., ц. 13 р. 50 к.
 - * **ОБСЛУЖИВАНИЕ И НАЛАДКА** работы гидрозолоудаления котельных пехов электростанций. Оргрэнс. М.-Л., ГЭИ, 1944, 18 стр., ц. 2 руб.
 - * **ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ** при эксплуатации электрических устройств станций и подстанций (НКЭС СССР, Технический отдел). М.-Л., ГЭИ, 1944, 79 стр., ц. 5 р. 25 к.
 - * **ПРИЕМКА, эксплуатация и ремонт** теплоизоляции на электростанциях. Изд. 2-е. Оргрэнс. М.-Л., ГЭИ, 1944, 40 стр., ц. 4 руб.
 - * **РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ** по прокладке силовых кабелей напряжением до 35 кв. НКЭС СССР, Технический отдел. М.-Л., ГЭИ, 1944, 59 стр., ц. 5 р. 50 к.
 - * **РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ** по эксплуатации брызгальных бассейнов (ВТИ). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 45, тираж 3 000, ц. 3 р. 25 к.
 - * **СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ** по обмену техническим опытом. Вып. 3. НКЭП СССР, Центральное бюро технической информации. М.-Л., ГЭИ, 1944, 38 стр. + 1 вкл. л., ц. 4 руб.
 - * **СБОРНИК** противоаварийных циркуляров (Технический отдел НКЭС), часть первая. Электрическое оборудование. М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 42, тираж 2 600, ц. 2 р. 50 к.
- СКОРОСТНОЙ МОНТАЖ** электростанций (материалы технической конференции Народного комиссариата электростанций СССР) под редакцией зам. наркома НКЭС И.И. Дмитриева. М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 115, тираж 2 000, ц. 18 руб. в переплете 21 руб.
- * **ТЕМНИК** рационализаторских предложений по торфяной промышленности. Вып. 1. М.-Л., ГЭИ, 1944, 46 стр., бесплатно.
 - * **ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ** на производство гидротехнических работ. Вып. 12. Возведение намывных плотин НКЭС Главгидроэнергострой СССР, Гидроэнергопроект. Отдел технической помощи. М.-Л., ГОИ, 1944, 33 стр., ц. 3 р. 25 к.
 - * **ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ** на восстановление барабанов паровых котлов помощью сварки (Технический отдел). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 12, тираж 2 500, ц. 1 р. 70 к.
 - * **ТИПОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ** о правах и обязанностях младшего дежурного подстанции НКЭС (Технический отдел). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 10, тираж 5 500, ц. 60 коп.
 - * **ТИПОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ** о правах и обязанностях дежурного инженера сетевого района (Технический отдел). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 19, тираж 4 000, ц. 70 коп.
 - * **ТИПОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ** о правах и обязанностях старшего дежурного подстанции (Технический отдел). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 22, тираж 5 500, ц. 1 руб.
 - * **ТИПОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ** о правах и обязанностях обходчика линий высокого напряжения (Технический отдел). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 12, тираж 4 000, ц. 60 коп.
 - * **ТИПОВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ** о службах связи электростанций сетевого района электросистемы (Технический отдел). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944, стр. 17, тираж 4 000, ц. 70 коп.
 - * **ЭКСПЛУАТАЦИЯ** и ремонт турбогенераторов (Технический отдел). М.-Л., Госэнергоиздат, 1944 г., стр. 154, тираж 6 000, ц. 10 руб.

ИЗДАНИЯ, ОТМЕЧЕННЫЕ ЗВЕЗДОЧКОЙ, В ПРОДАЖУ НЕ ПОСТУПАЮТ.